

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE**

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة سعيدة – د. الطاهر مولاي –

UNIVERSITÉ DE SAÏDA– Dr MOULAY TAHAR

Faculté de Technologie

Département de Génie Civil et d'Hydraulique



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **Diplôme de MASTER en Hydraulique**

Spécialité : Hydraulique Urbaine

**Par : Mohamed ouis
Abdelhak Chouli**

Traitement des eaux par polymères d'origine naturel

Soutenu, le 30 / 09 / 2020, devant le jury composé de :

M^{me}. Hakem. M

Président

M^{me} KIES Souad

Encadreur

M. Talbi. O

Examineur

Remerciements

Avant tout, nous louons et remercions infiniment **Allah** tout puissant de nous avoir accordé la Force, le courage, la patience et les moyens afin de pouvoir accomplir ce travail.

Notre gratitude s'adresse à **Mme KIES. S** pour son encadrement, son orientation, ses conseils, ses remarques et critiques et la disponibilité qu'elle a témoignée pour nous permettre de mener à bien ce travail.

Nous tenons à remercier tous les enseignants du département du Génie Civil et de l'Hydraulique (Faculté de Technologie, Université de Saida) qui nous ont aidés et qui ont contribué à notre formation durant la période de nos études universitaires.

Nous remercions Monsieur le président ainsi que, les honorables membres du jury qui nous ont font l'honneur de corriger et de juger notre travail.

Dédicaces

Je dédie cet ouvrage

**A ma maman qui m'a soutenu et encouragé durant ces années
d'études.**

Qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

**A mes frères, mes grands-parents et Ceux qui ont partagé avec
moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce
travail. Ils m'ont**

**Chaleureusement supporté et encouragé tout au long de mon
parcours.**

**A ma famille, mes proches et à ceux qui me donnent de l'amour et
de la vivacité.**

À mon encadreur Mme Kies. S pour son soutien et de sa patience.

**A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je
souhaite plus de succès.**

A tous ceux que j'aime.

Merci !

OUIS.M

Dédicaces

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut...

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, L'amour, le respect, la reconnaissance...

Aussi, c'est tout simplement que.

Je dédie cette thèse ...

À MES CHERS PARENTS

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez

Depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant Formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitte jamais assez.

Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive

CHOULIA

الملخص:

يتم جمع مياه الصرف الصحي ، سواء كانت منزلية أو صناعية ، بواسطة شبكة صرف صحي معقدة ليتم معالجتها في محطة معالجة على عدة مراحل قبل تصريفها في بيئة طبيعية. يتطلب تطهير مياه الصرف الصحي في المناطق الحضرية سلسلة من الخطوات ، بما في ذلك العلاجات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية. إلى جانب النفايات الكبيرة في مياه الصرف الصحي ، تعتبر المعالجة الفيزيائية والكيميائية من أهم الخطوات بسبب المواد المعقدة التي يصعب تثبيتها في عملية التخثر والشفط بإضافة مواد طبيعية أو كيميائية. يؤثر استخدام الأملاح المعدنية والبوليمرات الاصطناعية في معالجة المياه مخاوف بشأن عواقبها على صحة الإنسان والبيئة. اليوم ، يخطط مهندسو البيئة لاستبدال المنتجات التقليدية بمنتجات طبيعية أخرى أقل ضررًا للإنسانية.

تركز الأبحاث الحالية بشكل أساسي على البوليمرات ذات الأصل النباتي (المورينجا ، الأوليفيرا ، الإندوبا ، إلخ) والبوليمرات من أصل حيواني (الكيتين ، الشيتوزان). في هذا السياق ، دراستنا لإثبات فعالية سقوط الشيتوزان.

كلمات البحث : التعكر، شيتوزان، ملبد طبيعي، عملية التخثر والتلبد.

Résumé :

Les eaux usées, qu'elles soient domestiques ou industrielles, sont collectées par un réseau d'assainissement complexe pour être traitées dans une station d'épuration en plusieurs étapes avant d'être rejetées dans un milieu naturel. La désinfection des eaux usées urbaines nécessite une série d'étapes, comprenant des traitements physiques, chimiques et biologiques. Outre les gros déchets dans les eaux usées, le traitement physique et chimique est l'une des étapes les plus importantes en raison des substances en suspension difficiles à ancrer dans le processus de coagulation et de rinçage par ajout de substances naturelles ou chimiques. L'utilisation de sels minéraux et des polymères synthétiques dans le traitement de l'eau soulève des inquiétudes quant à leurs conséquences pour la santé humaine et l'environnement. Aujourd'hui, le génie de l'environnement envisage de remplacer les produits traditionnels par d'autres produits naturels moins nocifs pour l'humanité.

Les recherches en cours portent principalement sur des polymères d'origine végétale (moringa, oleifera, Indupa...) et les polymères d'origine animale (chitine, chitosane). C'est dans ce contexte que s'inscrit notre étude sur la démonstration de l'efficacité du chitosane.

Mots-clés : Turbidité, Bio-Floculant, Chitosane, Coagulation-Floculation.

Abstract:

Water cannot be considered just a commercial product, but it must be classified as a World Heritage that must be protected, defended and treated as such.

Sewage water, whether domestic or industrial, is collected by a complex sewage network to be treated in a treatment plant in several stages before being discharged into a natural environment. Urban wastewater disinfection requires a series of steps including physical, chemical and biological treatments. Besides the large waste in wastewater, physical and chemical treatment is one of the most important steps due to suspended materials that are difficult to anchor in the coagulation process and rinsing by adding natural or chemical substances. The use of mineral salts and synthetic polymers in water treatment raises concerns about their consequences for human health and the environment. Today, the environmental genius is thinking of replacing traditional products with other natural products that are less harmful to humanity.

And chitosan is one of the most natural materials for this purpose for its resistance to water treatment and it can play both coagulant and flocculent roles at the same time.

Keywords : Turbidity, Chitosane, Polyacrylamide, Bio-Flocculant, Coagulation-Flocculation.

TABLE DES MATIERES :

Introduction générale :	1
1 Chapitre I :Généralité sur les eaux usées.....	1
1.1 Introduction :	4
1.2 Définitions :	4
1.3 Origine des eaux usées :	4
1.3.1 Les eaux usées domestiques :	4
1.3.2 Les eaux usées industrielles :	5
1.3.3 Les eaux usées pluviales :	6
1.3.4 Les eaux usées agricoles :	6
1.4 La pollution des eaux usées :	6
1.4.1 Pollution physique :	7
1.4.2 Pollution thermique :	7
1.4.3 Pollution radioactive :	7
1.4.4 Pollution chimique :	7
1.4.5 Pollution par hydrocarbure :	7
1.4.6 La pollution due à des rayonnements radioactifs :	7
1.5 Les conséquences de la pollution :	8
1.5.1 Les conséquences sanitaires :	9
1.5.2 Les conséquences agricoles	9
1.6 Caractéristiques des eaux usées :	9
1.6.1 Paramètres physiques :	9
1.6.2 Les paramètres chimiques :	11
1.6.3 Paramètres bactériologiques :	15
1.7 Normes de rejet :	16

2	Chapitre II : Le traitement des eaux usées	18
2.1	Introduction :.....	18
2.2	Objectifs du traitement des eaux usées :	18
2.3	Les stations d'épuration STEP :.....	18
2.4	Les procédés d'épuration des eaux usées :.....	19
2.4.1	Le prétraitement des eaux usées :.....	19
2.4.2	Traitement primaire (traitement physico-chimique) :	22
2.4.3	Traitements biologiques	24
2.4.4	Traitement tertiaire :.....	29
2.5	Conclusion :	32
3	Chapitre III :Théorie de la coagulation-floculation.....	33
3.1	Introduction.....	33
3.2	Procédé de coagulation/floculation :	33
3.2.1	Les particules mise en jeu ; les colloïdes :	33
3.2.2	Les types des colloïdes :	33
3.2.3	Les suspensions colloïdales :	34
3.2.4	La loi de stokes :	35
3.3	La théorie de double couche :	35
3.3.1	Origine de la charge sur la surface.....	36
3.3.2	Théorie de Helmholtz :	36
3.3.3	Théorie de gouy-chapman :.....	36
3.3.4	Théorie de Stern :	37
3.3.5	Le potentiel zêta :	37
3.3.6	Mécanisme de la coagulation-floculation :	38
3.4	Les coagulants :.....	40
3.4.1	Les coagulants et aide coagulants conventionnels :	40
3.4.2	Les coagulants récents :	42
3.5	Les floculants :.....	43

3.5.1	Les types de flocculant	44
3.5.2	. Les principaux flocculants :.....	44
3.6	Les paramètres influençant l'étape de coagulation floculation :.....	46
3.6.1	Le pH :	46
3.6.2	Influence de la dose du coagulant :.....	47
3.6.3	La turbidité :.....	47
3.6.4	La température :	47
3.6.5	La vitesse d'agitation :.....	47
3.7	Conclusion :	48
4	Chapitre IV :Etude d'un caagulant naturel : le chitosane.....	49
4.1	Introduction :.....	49
4.2	Historique :.....	49
4.3	Origine du chitosane et de chitine :.....	50
4.4	Travaux antérieurs sur l'utilisation du chitosane en tant que coagulant pour le traitement des eaux usées :.....	51
4.4.1	Etudes de Murcott et Harleman (1991,1992,1993) :.....	52
4.4.2	Etude de Kawamura :[55]	53
4.4.3	Etude de Johnson et gallanger :[56].....	54
4.4.4	Autres études.....	54
4.5	Caractéristiques et propriétés physico-chimiques du chitosane et de la chitine :	55
4.6	Applications de la chitine et du chitosane :.....	56
5	Chapitre V : Méthodologie et description des essais	49
5.1	Introduction :.....	59
5.2	Dispositif expérimental (jar-test) :	59
5.3	Extraction du chitosane :.....	60
5.4	Protocole expérimental :	63
5.4.1	Essais de coagulation :.....	64

5.4.2	Etude de l'ajout du flocculant :	65
5.4.3	Etude l'ajout du bio-flocculant	65
5.5	Conclusion :	66
5.6	Conclusion générale :	67
6	Références bibliographiques :	68

Liste des tableaux :

Tableau 1-1: les différents types de polluant.	8
Tableau 1-2:les normes de rejets des eaux usées selon l’OMS.	16
Tableau 1-3 : les normes algériennes de rejet.	16
Tableau 3-1 : temps de décantation de différentes particules d’après la loi de stock.	34
Tableau 3-2 : les coagulants conventionnels utilisés dans le traitement des eaux [25].	40
Tableau 3-3 : les avantages et les inconvénients d’utilisation des coagulants chimiques	41
Tableau 3-4:les nouveaux coagulants utilisés dans le traitement des eaux.[25].	42
Tableau 3-5: avantages et inconvénients de l’utilisation des flocculant de type polymères.	45
Tableau 4-1 : taux de chitine dans les carapaces de crustacés.	50
Tableau 4-2: application du chitosane [50].	57

Liste des figures

figure 1-1:appareil de mesure de la turbidité (le turbidimètre).....	10
figure 1-2: appareil de mesure du ph (ph-mètre).	12
figure 1-3:appareil de la mesure de la conductivité (conductimètre).	13
figure 2-1:schéma fonctionnel d'une station d'épuration.	19
figure 2-2 : le fonctionnement du dégrillage.....	20
figure 2-3 : le descriptif du dessablage.	21
figure 2-4: le procédé du dégraissage, déshuilage.	22
figure 2-5: le processus de la décantation.	23
figure 2-6 : processus de coagulation-floculation.....	24
figure 2-7 : les mécanismes en jeu dans les bassins de lagunage naturel	25
figure 2-8: configuration du procédé lit bactérien.	26
figure 2-9: procédé du dispositif boue activée.....	28
figure 2-10 : dispositif du disque biologique.	29
figure 2-11 : schéma général de la nitrification/dénitrification.	31
figure 3-1 : potentiel électrique des particules colloïdales.....	38
figure 3-2 : adsorption et pontage à l'aide de polymères.	39
figure 3-3 : mécanisme de la coagulation floculation.....	39
figure 4-1:représentation de l'origine du chitosane.	50
figure 4-2 : démarche pour obtenir le chitosane.	51
figure 5-1: jar test utilisé dans les essais de coagulation-floculation.....	60
figure 5-2: extraction du chitosane.	62
figure 5-3: schéma expérimental.....	64

Liste des abréviations

CE : conductivité électrique.

CF : coliformes fécaux.

COT : carbone organique total.

DA : degré d'acétylation.

DBO : demande biochimique en oxygène.

DCO : demande chimique en oxygène.

DDA : degré de désacétylation.

ERI : eaux résiduaires industrielles

M.T.H : Maladies à transmission hydrique.

MES : matière en suspension.

MMS : matières minérales en suspension.

MO : matières organiques.

MVS : matières volatiles en suspension.

N: azote.

NGL: azote global.

NH₄: ammonium.

NO-2 (NO₂): azote nitrite.

NO-3 (NO₃): azote nitrate.

Norg : azote organique.

NTK : azote Kjeldahl.

NTU : unité néphélométrique de turbidité.

OMS : organisation mondiale de la santé.

P : phosphore.

PH : potentiel hydrogène.

PT: phosphore total.

STEP: station d'épuration.

TRT : taux de réduction de la turbidité.

μS : micro siemens

Introduction générale :

L'eau est une denrée de plus en plus rare en Algérie et de moins en moins renouvelable. Elle fait actuellement l'objet d'une exploitation concurrentielle entre les besoins de la population, ceux de l'agriculture et de l'industrie qui se disputent une disponibilité limitée. [1]

La question de l'approvisionnement en eau devient chaque jour plus préoccupante et cela pour plusieurs raisons particulièrement la démographie galopante et la sécheresse de plus en plus croissante. [2]

Avec moins de 600 m³ par habitant et par an, l'Algérie se situe dans la catégorie des pays pauvres en ressources hydriques, au regard du seuil de rareté fixé par la Banque Mondiale à 1000 m³ par habitant et par an. D'une superficie de 2,4 Millions de km², le territoire se compose d'une diversité géographique et climatique, du nord au sud, des régions côtières et littorales, une vaste étendue de hautes plaines semi-arides et un immense ensemble saharien au climat aride et hyper aride ; en outre .la répartition très inégale de la population, implique par ailleurs des pressions extrêmement disparates sur les ressources hydriques.

Partout sur la planète, le développement des activités humaines, domestiques ou industrielles, est tributaire de la ressource en eau. Cette diversité des usages induit une série d'impacts variés sur la qualité de l'eau.

Il existe pourtant un point commun, intrinsèquement lié à la nature de l'eau : qu'elle soit intégrée à la filière agroalimentaire ou qu'elle soit solvant universel, l'eau poursuit son cycle en rejoignant, tôt ou tard, la nappe, la rivière, le fleuve en y emportant ce dont on l'a chargée.

Le traitement ou l'épuration des eaux usées a donc pour objectif de réduire la charge polluante qu'elles véhiculent afin de rendre au milieu aquatique une eau de qualité, respectueuse des équilibres naturels et de ses usages futurs (pêche, loisir, alimentation, utilisation agricole ou industrielle, etc.) [3]

Dans les zones arides et semi-arides où l'eau constitue un facteur limitant de la production végétale et où les besoins liés à l'accroissement de la population et à l'accroissement du niveau de vie, le volume des eaux résiduaires produit augmente, de façon importante et continuera à augmenter régulièrement. On peut alors, considérer que les eaux résiduaires constituent, dans ces conditions, une source inépuisable. C'est d'ailleurs la seule

ressource en eau qui va croître dans l'avenir. Sa prise en compte est donc primordiale et sa valorisation doit en conséquence être intégrée dans les objectifs de développement durable à condition qu'elles soient épurées.

Face aux pénuries d'eau dans les dernières décennies et afin de préserver les ressources en eau ,encore saines , et la protection de l'environnement ainsi que la santé publique ,l'Algérie a adopté un programme riche en termes de traitement des eaux usées par la mise en service ces dix dernières années, de plus d'une centaine de stations d'épuration, qui ont pour rôle de concentrer la pollution contenue dans les eaux usées sous forme de résidus appelés boues, valorisable en agriculture et de rejeter une eau épurée répondant à des normes bien précises, qui trouve quant-à-elle, une réutilisation dans l'irrigation, l'industrie et les usages municipaux[4].

En fonction de la qualité de l'eau à traiter, des moyens de traitement disponibles et de la qualité des eaux voulues, les unités de traitement vont être composées de modules de plus en plus complexes, allant d'une simple unité de désinfection (eaux souterraines de faible turbidité) à plusieurs étapes successives et complémentaires (eaux de surfaces très turbides).

Aujourd'hui, le processus de traitement souvent utilisé est la méthode de coagulation-floculation-décantation, suivie d'une filtration et d'une désinfection [3].

La coagulation et la floculation sont deux techniques souvent appliquées conjointement, qui ont pour objectif principal, de rabattre la turbidité causée par les matières en suspensions, les colloïdes, les microorganismes et les virus. Le processus consiste à neutraliser par des coagulants les charges électrostatiques en surface des particules colloïdales et des matières en suspension dans l'eau, et à les agglomérer en gros floccs décantables gravitairement et rapidement.

Aujourd'hui, l'emploi des sels minéraux et des polymères synthétiques comme coagulants dans le traitement des eaux notamment potables est associé à certains risques. Ils augmentent la charge organique et peuvent ne pas être complètement éliminés une fois l'eau acheminée au consommateur. De plus il existe une incertitude sur leur effet toxique à long terme ainsi que sur leur effet cancérigène et mutagène chez les humains. La présence des polyacrylamides résiduels dans les eaux traitées peut causer des désordres neurologiques chez les humains [53]. Le Japon, l'Allemagne et les Pays-Bas ont adopté une réglementation

sévère interdisant l'utilisation des poly électrolytes synthétiques dans le traitement de l'eau potable [55],[53].

L'utilisation des polymères organiques naturels dans la coagulation-floculation a été étudiée et mise en pratique vers la fin des années 50 (Kawamura). Les polymères organiques peuvent être caractérisés par la nature chimique des monomères dont ils sont constitués, le poids moléculaire (105 à 107g/mole généralement) et le type de charge électrique qu'ils portent (neutre, négative ou positive). Ces polymères naturels sont utilisés depuis 2000 ans en Inde, en Afrique et en Chine pour clarifier l'eau. Ils peuvent être fabriqués à partir de graines, de feuilles et de racines de certaines plantes [55]. Ils présentent un intérêt particulier par rapport aux polymères synthétiques dans la mesure où ils ne comportent aucun danger pour la santé humaine contrairement aux polymères organiques de synthèse.

Les recherches en cours portent principalement sur des polymères d'origine végétale (*moringa, oleifera, Indupa...*) et les polymères d'origine animale (chitine, *chitosane*). C'est dans ce contexte que s'inscrit notre étude sur la démonstration de l'efficacité du chitosane dans le traitement des eaux usées à travers des essais au laboratoire, malheureusement notre expérimentation n'a pas pu être réalisée en raison des conditions sanitaires que traverse notre pays à l'instar des autres pays du monde

Notre étude est présentée sous forme de cinq chapitres consécutifs et complémentaires.

- Le premier chapitre rappelle les généralités sur les eaux usées urbaines (origine, composition, types et paramètres de pollution, normes de rejet)
- Le deuxième chapitre traite des différents procédés d'épuration des eaux usées (prétraitement, traitement primaire, traitement secondaire et tertiaire), que doivent subir les eaux usées avant d'être rejetées dans le milieu naturel.
- En introduction à l'étude expérimentale, la théorie du processus de la coagulation-floculation est présentée au troisième chapitre.
- Le quatrième chapitre est dédié presque entièrement au chitosane (origine, production, propriétés utilisation etc..).
- Le chapitre cinq décrit le volet expérimental, c'est-à-dire la méthodologie, le matériel et les produits utilisés dans les différents essais de laboratoire.

1 CHAPITRE I :

Généralités sur les eaux usées.

1.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous aurons une connaissance approfondie des eaux usées, de leurs définitions, de leurs origines, de leurs caractéristiques et de leur pollution.

1.2 Définitions :

Les eaux usées sont des eaux altérées par les activités humaines à la suite d'un usage domestique (eaux ménagères lessives, cuisine et bain ainsi que les eaux de vannes (WC)), industriel, artisanal, agricole ou autre.

Le terme des eaux usées résiduaire **EUR** ou eaux usées regroupe :

- ✓ Les eaux usées d'origine urbaine ou eaux usées domestiques.
- ✓ Les eaux usées d'origine industrielle et agricole.

1.3 Origine des eaux usées :

L'eau usée, appelées aussi eaux résiduaires urbaines (ERU), qui arrivent à la station d'épuration sont un mélange de plusieurs types d'eaux.

Généralement On peut classer comme eaux usées, les eaux d'origine urbaines constituées par des eaux ménagères voirie et les eaux pluviales. Peuvent s'y ajouter suivant les cas les eaux d'origine industrielle et agricole.

1.3.1 Les eaux usées domestiques :

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau et sont, essentiellement, porteuses de pollution organique :

- Eaux ménagères (salles de bains et cuisines) : elles sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques...
- Eaux-vannes (rejets des toilettes) : elles sont chargées de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux [5].

. La pollution journalière produite par une personne utilisant de 150 à 200 litres d'eau est évaluée à :

- a) De 70 à 90 grammes de matières en suspension
- b) De 60 à 70 grammes de matières organiques

- c) De 15 à 17 grammes de matières azotées
- d) 4 grammes de phosphore e) plusieurs milliards de germes pour 100 ml [6].

1.3.2 Les eaux usées industrielles :

Il est difficile de faire une classification complète de ces eaux en raison des différences importantes qui existent dans les rejets d'établissements industriels de la même branche d'activité (dilution, volume des polluants...)

Les principales activités industrielles polluantes sont les suivantes :

Activités à rejet minéraux :

- Industries d'extraction (minerais, charbon, sel)
- Industries de transformation (traitement de surface, laminage mécanique)
- Industries chimique (produit de base : Cl₂, K₂, CO₃, soude, potasse, acétylène).

Activités à rejets organiques :

a- Avec substances inhibitrices ou toxiques :

1. Féculeries
2. Cokeries
3. Pétrochimie
4. Carbonisation des bois
5. Distillation de goudrons

b- Sans substances inhibitrices :

1. Sucrieries
2. Laiteries, fromageries.
3. Conserveries
4. Brasseries, Distilleries. Abattoirs

Activités à rejets mixtes :

1. Cellulose et pâte papier
2. Textiles
3. Blanchisseries
4. Teintureries
5. Plastiques [7].

1.3.3 Les eaux usées pluviales :

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

-Le lessivage des sols et des surfaces imperméabilisées : les déchets solides ou liquides déposés par temps sec sur ces surfaces sont entraînés dans le réseau d'assainissement par les premières précipitations qui se produisent ;

-La remise en suspension des dépôts des collecteurs : par temps sec, l'écoulement des eaux usées dans les collecteurs du réseau est lent, ce qui favorise le dépôt de matières décantables. Lors d'une précipitation, le flux d'eau plus important permet la remise en suspension de ces dépôts [8].

1.3.4 Les eaux usées agricoles :

Ce sont des eaux qui ont été polluées par des substances utilisées dans le domaine agricole. Dans le contexte d'une agriculture performante et intensive, l'agriculteur est conduit à utiliser divers produits d'origine industrielle ou agricole dont certains présentent ou peuvent présenter, des risques pour l'environnement et plus particulièrement pour la qualité des eaux.

1.4 La pollution des eaux usées :

La pollution de l'eau est une dégradation physique, chimique, biologique ou bactériologique de ses qualités naturelles, provoquée par l'homme et ses activités. Elle perturbe les conditions de vie de la flore et de la faune aquatiques ; elle compromet les utilisations de l'eau et l'équilibre du milieu naturel.

La pollution de l'eau connaît différentes origines : naturelle, domestique, industrielle et agricole.

Naturelle : Comme les inondations ou les crues, les eaux traversent les zones riches en minéraux, elles traversent également des zones polluées.

Domestique : L'origine domestique concerne les eaux usées ménagères (salle de bains, cuisine, ...etc.), les eaux vannes (WC...etc.), ainsi que les eaux rejetées par les hôpitaux, commerces, ...etc.

Industrielle et agricole : engrais, pesticides, des produits chimiques tels que les métaux lourds, les hydrocarbures...etc. [9].

1.4.1 Pollution physique :

La pollution physique d'une eau usée est causée par la turbidité, la couleur, le pH [10].

1.4.2 Pollution thermique :

Les eaux rejetées par les usines utilisant un circuit de refroidissement de certaines installations (centrales thermiques, nucléaires, raffineries, aciéries.), l'élévation de température qu'elle induit diminue la teneur en oxygène dissous et accélère la biodégradation et la prolifération des germes [9].

1.4.3 Pollution radioactive :

La pollution des eaux par des substances radioactive pose un problème de plus en plus grave, a un effet direct sur les peuplements aquatiques en raison de la toxicité propre de ses éléments et des propriétés cancérigènes et mutagènes de ses rayonnements [9].

1.4.4 Pollution chimique :

Elle résulte des rejets chimiques, essentiellement d'origine industrielle, domestique et agricole. La pollution chimique des eaux est regroupée en deux catégories :

Organique (hydrocarbures, pesticides, détergents...).

Minérale (métaux lourds, cyanure, azote, phosphore...) [9].

1.4.5 Pollution par hydrocarbure :

On regroupe dans cette catégorie tout rejet de pétrole brut et ses dérivés (essence, huile, kérosène...etc.) [10].

1.4.6 La pollution due à des rayonnements radioactifs :

Elle représente la transformation d'un noyau atomique r spontanément en noyau d'un autre élément en émettant lors de cette transformations un rayonnement (rayon x ou gamma) ou une particule (alpha ou bêta).

Il se peut qu'il faille plusieurs transformations avant d'arriver à un noyau stable, on parle alors de chaîne de désintégration [1].

Le tableau ci-dessous regroupe les différents types de pollution, leurs natures ainsi que leurs sources.

Tableau 1-1: les différents types de polluant.

Type de pollution	La nature	La source
Thermique	Rejet d'eau chaude	Central électrique
Radioactive	Radio-isotope	Installation nucléaire
Fertilisants	Nitrates, phosphates	Agriculture, lessives
Métaux	Hg, Cd, Al, Ça, As	Industries, agriculture, Combustion
Pesticides	Insecticides, herbicides	Industrie
Détersifs	Agent tensio-actifs	Effluent domestique
Hydrocarbures	Pétrole brut et dérivés	Industrie pétrolière
Organiques Fermentescibles	Glucides, protides , lipides	Effluent domestique Agricoles
Pesticides	Insecticides, fongicides Herbicides	Industrie, agricultures

1.5 Les conséquences de la pollution :

Les conséquences écologiques de la pollution des ressources en eau se traduisent par la dégradation des écosystèmes aquatiques. Comme tout le milieu naturel, un écosystème aquatique dispose d'une capacité propre à éliminer la pollution qu'il subit : c'est sa capacité "d'autoépuration" cependant, lorsque l'apport de substances indésirables est trop important, l'élimination se fait d'une manière insuffisante.

1.5.1 Les conséquences sanitaires :

Les eaux usées peuvent avoir des conséquences sur la santé de l'Homme. La pollution de certaines couches hydriques, si elle a atteint des niveaux alarmants provoque des épidémies dues aux maladies à transmission hydrique (M.T.H) [11].

1.5.2 Les conséquences agricoles

L'eau est dans certaines régions, largement utilisée pour l'arrosage ou l'irrigation, souvent sous forme brute (non traitée). La texture du sol (complexe argilo-humique), sa flore bactérienne, les cultures et le bétail, sont sensibles à la qualité de l'eau. De même, les boues issues de traitement des eaux usées pourront, si elles contiennent des toxiques (métaux lourds) être à l'origine de la pollution des sols [11].

1.6 Caractéristiques des eaux usées :

L'évaluation globale de la qualité d'une eau usée s'appuie sur les paramètres suivants :

1.6.1 Paramètres physiques :

Dans ce sous chapitre nous passerons en revue les principaux paramètres physicochimiques analysés au cours de la partie expérimentale ainsi que les paramètres bactériologiques les plus rencontrés dans les eaux usées :

1.6.1.1 La température (T) :

C'est un paramètre souvent négligé dans les collecteurs urbains, mais qui devrait être plus souvent mesuré, surtout dans le cas de rejets industriels dans le réseau. Le fonctionnement de certains ouvrages d'épuration notamment les dégraisseurs, est sensible à des températures trop élevées ; ainsi la température dans tout le rejet doit être inférieure à 30°C [11]. Une température supérieure à 15°C favorise également le développement des micro-organismes dans les canalisations en même temps qu'elle peut intensifier les odeurs et les saveurs [12].

1.6.1.2 Les matières en suspension (MES) :

Les matières en suspension peuvent être d'origine minérale à savoir sable, limon, argile, etc., ou organique représentée par les produits de la décomposition des matières végétales ou animales, acides humiques ou fulviques par exemple. A ces composés s'ajoutent les microorganismes tels que les bactéries, les planctons, les algues et les virus. Ces substances sont responsables en particulier de la turbidité et de la couleur [14].

1.6.1.3 La turbidité :

La turbidité de l'eau est due à la présence de matériaux solides en suspension qui réduisent sa transparence. Elle peut être également provoquée par la présence d'algues, de plancton, de matière organique et plein d'autres substances comme le zinc, le fer, le manganèse et le sable, résultant du processus naturel d'érosion ou de rejets domestiques et industriels.

La turbidité a son importance dans le processus de traitement de l'eau. De l'eau avec une turbidité élevée, et selon sa nature, forme des flocons lourds qui décantent plus rapidement que ceux de l'eau à faible turbidité. Elle représente un indicateur sanitaire et une norme organoleptique de l'eau de consommation humaine [15].

- $NTU < 5 \Rightarrow$ eau claire.
- $NTU < 30 \Rightarrow$ eau légèrement trouble
- $NTU > 50 \Rightarrow$ Eau trouble.



Figure 1-1: appareil de mesure de la turbidité (le turbidimètre).

1.6.1.4 La couleur :

La couleur de l'eau provient de matières organiques, comme par exemple les substances humiques, les tanins mais également les métaux comme le fer et le manganèse ainsi que les résidus industriels fortement colorés. La couleur, dans les systèmes publics d'approvisionnement d'eau, est esthétiquement indésirable. Il est important de la mesurer, étant donné qu'une couleur élevée provoque son rejet par le consommateur et l'amène à chercher d'autres sources de suppression parfois beaucoup moins sûres [15].

1.6.2 Les paramètres chimiques :

1.6.2.1 Les matières volatiles en suspension (MVE) :

Elle représente la fraction organique de MES et sont obtenues par calcination de ces MES à 525°C pendant deux heures. La différence de poids entre MES à 105°C et MES à 525°C donne « la perte au feu » et correspond la teneur en MVS (en mg/l) d'une eau [11].

1.6.2.2 Les matières minérales :

Elles représentent le résultat d'une évaporation totale de l'eau, c'est à dire « extrait sec », constitue à la fois par les matières minérales en suspension et les matières solubles (chlorures, phosphates, etc.) [11].

1.6.2.3 Les matières décantables :

Elles sont composées des matières en suspension qui sédiment en deux heures dans une éprouvette [11].

1.6.2.4 1.6.2.4. Le potentiel hydrogène (pH) :

Le terme pH est la concentration d'ions hydrogène dans une solution. Dans l'eau, ce facteur est d'une importance exceptionnelle, en particulier dans les procédés de traitement. Dans les laboratoires de routine des usines de traitement, il est mesuré et ajusté si nécessaire pour améliorer la coagulation/ floculation ainsi que pour contrôler la désinfection de l'eau, la valeur du pH allant de 0 à 14. En dessous de 7 l'eau est considérée comme acide et au-dessus de 7 comme alcaline. L'eau au pH de 7 est neutre [15].



Figure 1-2: appareil de mesure du pH (pH-mètre).

1.6.2.5 L'oxygène dissous O₂ :

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 [16].

1.6.2.6 La conductivité électrique (CE) :

Se mesuré selon la norme française à l'aide d'un électrode spécifique (conductimètre) elle s'exprime en $\mu\text{S}/\text{cm}$ ou ms/cm , elle permet de définir le caractère minéral dessous du milieu. Le mesure de la conductivité au cours d'un procédé de traitement peut notamment permettre de suivre la minéralisation de l'effluent [16].



Figure 1-3: appareil de la mesure de la conductivité (conductimètre).

1.6.2.7 La demande chimique en oxygène (DCO) :

Elle représente la teneur totale de l'eau en matière organiques, qu'elles soient ou non biodégradables nous noterons cependant que certaines composées chimiques ne sont pas oxydées complètement par cette méthode, comme par exemple l'azote organique.

Le principe repose globalement aussi sur la recherche d'un besoin d'oxygène de l'échantillon pour dégrader la matière organique mais dans ce cas, l'oxydation est fournie par un oxydant puissant (le bichromate de potassium) [17].

1.6.2.8 La demande biochimique en oxygène (DBO₅) :

Elle représente la quantité d'oxygène dépensée par le phénomène d'oxydation chimique, d'une part la dégradation des matières organiques par voies aérobie, nécessaire à la destruction des composés organiques.

1.6.2.9 Rapport DCO/DBO₅ :

La DBO₅ d'une eau de surface non polluée varie entre 2 et 20 mg/l. Les mesures qui vont au-delà indiquent alors que l'eau est polluée. Le rapport DCO / DBO₅ donne un indice sur la provenance et l'origine de la pollution organique.

Les mesures se rapprochant de 1 du rapport DCO / DBO₅ indique une très bonne biodégradabilité (lait, yaourt).

De 1 à 2 : eaux usées provenant d'industries agroalimentaires, qui contiennent des éléments dont les bactéries raffolent, se traduisant par une DCO₅ élevée.

De 2 à 3 : eaux résiduaires urbaines.

De 3 à 4 : Eaux usées moins facilement biodégradable.

>4 : Effluent difficilement biodégradable [11].

1.6.2.10 L'azote :

L'azote est mesuré sous différentes formes, les types d'analyses dépendent des formes chimiques recherchées : on peut les diviser en deux grandes familles (pour ce qui concerne l'épuration) : l'azote réduit et l'azote oxydé.

Le premier correspond à l'azote organique que l'on trouve dans les eaux usées, provenant notamment des déchets métaboliques d'origine humaine.

L'azote oxydé se retrouve de façon marginale dans les eaux usées, il s'agit des nitrates (NO₃) et nitrite (NO₂), produit de la transformation chimique (oxydation) de l'azote réduit [18].

1.6.2.11 Le phosphore P :

Le phosphore est mesuré soit sous forme de phosphore total (Pt), soit sous forme de phosphates (norme NF). La recherche des fractions minérales et organiques permet de juger des conditions de traitement biologique des effluents et des risques liés à l'eutrophisation des eaux calmes [18].

1.6.3 Paramètres bactériologiques :

1.6.3.1 Escherichia coli :

C'est la bactérie peu ou pas pathogène de l'hôte normal de l'intestin et des voies excrétrices de l'homme, des animaux à sang chaud et peut-être même à sang froid. **E-coli** est un bon indicateur de contamination fécale d'origine récente liée à la présence humaine.

1.6.3.2 Les streptocoques :

Ils forment un groupe hétérogène de bactéries pathogènes dans les caractéristiques morphologiques et métaboliques sont identiques. Les streptocoques fécaux du type **D** sont choisis comme indicateur d'une pollution fécale plus ancienne, en raison de leur rémanence plus élevée dans le milieu [17].

1.6.3.3 Les salmonelles :

Ce sont des microorganismes pathogènes, issue des matières fécales d'individus déjà contaminés (être humaine ou animaux). La pathogénicité peut s'exprime sous forme soit de fièvres typhoïdes, soit de toxi-infections alimentaires. Ces dernières sont causées en très grandes majorité par les salmonelles.

La présence de cette bactérie dans l'eau de baignade est un indicateur de pollution fécales [17].

1.6.3.4 Les virus :

Les virus présents eux aussi en quantité dans les effluents urbains (poliovirus, adénovirus, hépatite A, etc.) mais y sont rarement recherchés. En revanche, ses analyses sont un peu plus fréquentes dans les eaux superficielles, bien que cela n'apporte pas beaucoup d'information supplémentaires par rapport au germes-tests.

1.6.3.5 Les parasites

Les parasites tels que les formes enkystées des amibes ou les œufs de ténia sont très rarement recherchés, l'ensembles des analyses à réaliser dans le cadre de la recherche d'une contamination bactériologique doit toujours s'interpréter avec précaution car le travail sur du

matériel biologique est excrément complexe et soumis aux variations inhérentes aux micro-organismes [17].

1.7 Normes de rejet :

La norme est représentée par un chiffre qui fixe une limite supérieure à ne pas dépasser ou une limite inférieure à respecter. Un critère donné est rempli lorsque la norme est respectée pour un paramètre donné. Une norme est fixée par une loi, une directive, un décret-loi.

Les normes internationales selon l'organisation mondiale de la santé pour les eaux usées sont réunies sur le tableau ci-dessous :

Tableau 1-2:les normes de rejets des eaux usées selon l'OMS.

Caractéristiques	Normes utilisées (OMS)
PH	6.5-8.5
DBO5	<30 mg/l
DCO	<90 mg/l
MES	<20 mg/l
NH ₄	<0.5 mg/l
NO ₂	1 mg/l
NO ₃	<1 mg/l
P ₂ O ₅	<2 mg/l
Température	<30°C
Couleur	Incolore
Odeur	Inodore

Le tableau (1-3) représente les valeurs limites maximales de la teneur en substances nocives des eaux usées au moment de leur déversement dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration selon les normes algériennes.

Tableau 1-3 : les normes algériennes de rejet.

Paramètres	Valeurs limites maximales(mg/L)
Azote global	150

Aluminium	5
Argent	0.1
Arsenic	0.1
Béryllium	0.05
Cadmium	0.1
Chlore	3
Chlore trivalent	2
Chrome hexavalent	0.1
Chromates	2
Cuivre	1
Cobalt	2
Cyanure	0.1
DBO ₅	500
DCO	1000
Etain	0.1
Fer	1
Fluorures	10
Hydrocarbures totaux	10
MES	600
Magnésium	300
Nickel	0.01
Nitrites	2
Phosphore totale	0.1
Phénol	50
Plomb	1
Sulfures	0.5
Sulfates	400
Zinc et composés	2

- Température : inférieur ou égal à 30°C
- pH : compris entre :5.5 et 8[14].

2 CHAPITRE II :

Le traitement des eaux usées

2.1 Introduction :

Le traitement des eaux usées est un processus utilisé pour éliminer les polluants des eaux usées. Ce processus comprend plusieurs étapes. Chacune de ces étapes vise à éliminer ou à réduire des polluants spécifiques. Dans ce chapitre, nous découvrirons chaque méthode et son objectif.

2.2 Objectifs du traitement des eaux usées :

L'assainissement, autrement appelé dépollution, a pour fonction de préserver la qualité de la vie en débarrassant les eaux usées de leur pollution, avant leurs retours dans le milieu naturel. L'apport au quotidien du service d'assainissement est donc considérable ; il a un rôle important dans la protection sanitaire des populations, grâce au traitement des eaux usées, les rivières ne se transforment pas en égouts. Avec des traitements encore plus complets, les eaux de baignade sont protégées de la présence de virus ou de bactéries qui peuvent propager des maladies.

De plus il permet une contribution décisive au maintien de la qualité de l'environnement et des activités liées à l'eau, qu'il s'agisse de tourisme (sites, rivières, plans d'eau, lieux de baignade, de pêche, etc.) ou de pisciculture, sans oublier que l'agriculture et l'industrie ont également besoin d'eau pour assurer leur développement.

2.3 Les stations d'épuration STEP :

Ce sont des installations destinées à épurer les eaux usées domestiques ou industrielles et les eaux pluviales avant leur rejet dans le milieu naturel.

Le but du traitement est de séparer l'eau des substances indésirables pour le milieu récepteur.

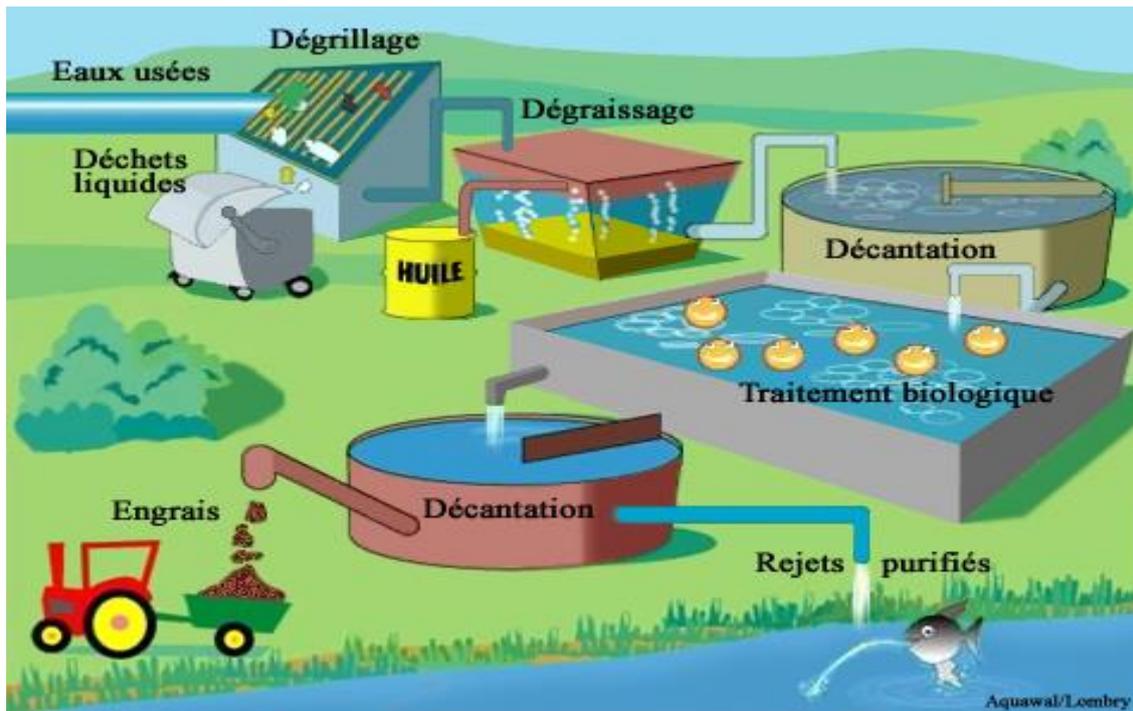


Figure 2-1:schéma fonctionnel d'une station d'épuration.

2.4 Les procédés d'épuration des eaux usées :

Selon le degré d'élimination de la pollution et les procédés mis en œuvre, plusieurs niveaux de traitements sont définis : les prétraitements, le traitement primaire et le traitement secondaire.

Dans certains cas, des traitements tertiaires sont nécessaires, notamment lorsque l'eau épurée doit être rejetée en milieu particulièrement sensible.

2.4.1 Le prétraitement des eaux usées :

Un prétraitement est nécessaire de manière à protéger le relèvement des eaux brutes, les conduites contre les obstructions et les autres appareils de traitement contre l'abrasion, et plus généralement pour éliminer tout ce qui pourrait gêner les traitements ultérieurs.

2.4.1.1 Le dégrillage

Le dégrillage consiste à enlever des déchets solides volumineux des eaux usées pour la protection de la station.

Leur efficacité par rapport aux déchets solides est déterminée par l'espace inter-barreaux.

- Parmi l'espacement des barreaux on distingue :
- Un pré dégrillage : espacement 30 à 100 mm
- Dégrillage moyen : espacement 10 à 25 mm
- Un dégrillage fin : espacement 3 à 10 mm [19].

Le nettoyage des grilles peut se faire soit d'une manière manuelle ou automatique.

➤ Grille à nettoyage manuel :

Ce type de grille est utilisé dans les petites stations. Elles sont droites, composées de barreaux ronds ou rectangulaires. Elles peuvent être montées verticalement ou inclinées (60° à 80° sur l'horizontale) pour faciliter le relevage des refus.

➤ Grille à nettoyage automatique :

On utilise ce type de nettoyage lorsque le volume des déchets à évacuer est important, en d'autres termes dans les grandes stations d'épuration. Le nettoyage se fait automatiquement à l'aide des râteaux, des peignes ou encore des brosses [20].

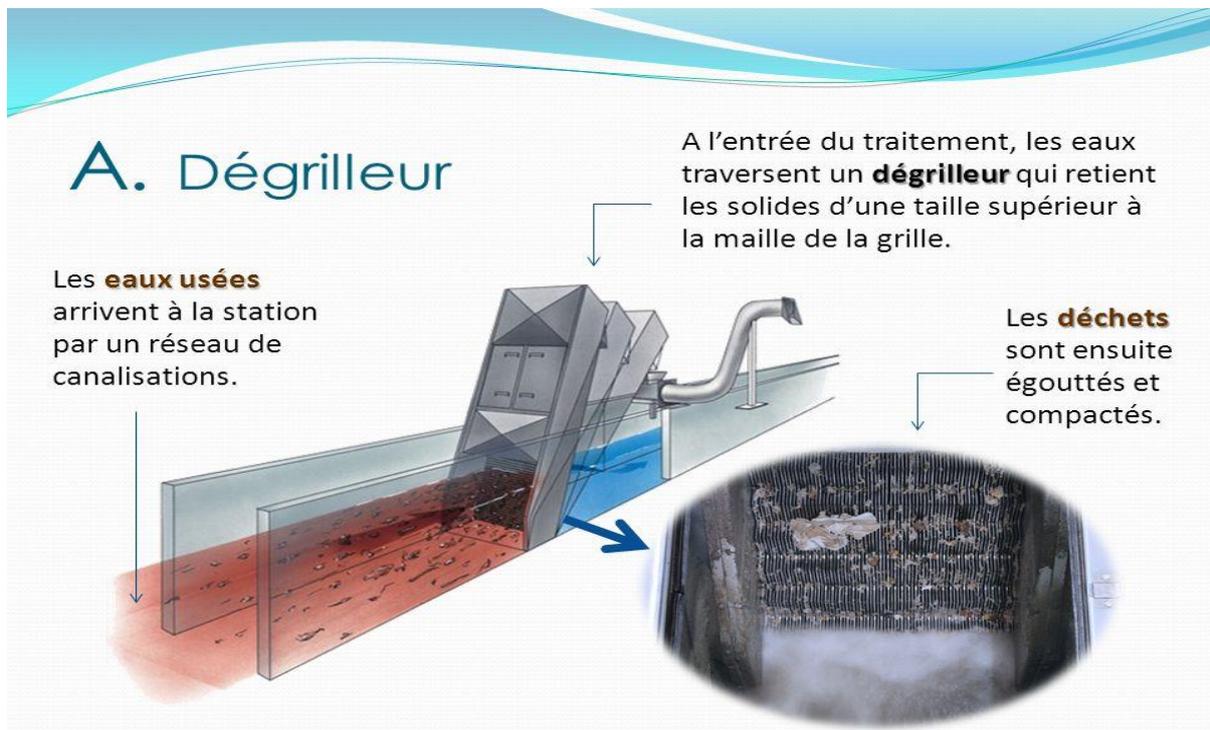


Figure 2-2 : le fonctionnement du dégrillage.

2.4.1.2 La dilacération :

Cette opération a pour but de broyer les matières solides et de les transformer en particules plus fines qui sont envoyées vers les décanteurs.

2.4.1.3 Le dessablage :

La technique de dessablage consiste à faire circuler l'eau dans une chambre de tranquillisation avec une vitesse constante de 0.3 m/s quel que soit le débit.

Le dessablage concerne les particules minérales de diamètre supérieur à 0.2 mm et de masse spécifique de l'ordre de 2.65 g/cm^3 , la sédimentation de ces particules est fonction de leur nature, leur forme, leur dimension et la viscosité du liquide dans lequel elles se trouvent.

Cette technique a pour but d'éviter le colmatage des canalisations (surtout si elles sont enterrées) ainsi que la protection de l'équipement à pièces tournantes de la corrosion [21].



Figure 2-3 : le descriptif du dessablage.

2.4.1.4 Degraissage-deshuilage :

Généralement le dégraissage utilisé a pour objet la récupération des huiles, des graisses et des hydrocarbures. On peut accélérer la récupération des graisses par flottation (insufflation des bulles d'air fines de diamètre inférieur à 1 mm avec un débit de $10 \text{ m}^3/\text{s}$ ou par coalescence) [22].



Figure 2-4: le procédé du dégraissage, déshuilage.

2.4.2 Traitement primaire (traitement physico-chimique) :

Le traitement primaire au sens strict est un traitement physico-chimique. Il est possible d'ajouter dans l'eau des agents coagulants et flocculants. On peut alors récupérer un grand nombre de particules en suspension par décantation ou flottation. (Boues physico-chimiques).

Cette étape permet d'éliminer 90% des particules et objets en suspension. Elle est commune à une très grande majorité des stations d'épuration. Mais il reste alors dans l'eau tout ce qui y est dissous : éléments azotés, phosphatés, composés actifs et des particules fines [23].

2.4.2.1 La décantation :

La décantation, processus essentiel du traitement primaire, est la méthode la plus fréquente de séparation de **MES** et des colloïdes pour but d'alléger la charge du traitement biologique ultérieur et d'éliminer 30 à 35% de la DBO₅, 60% de **MES**, 90% des matières décantables [24].

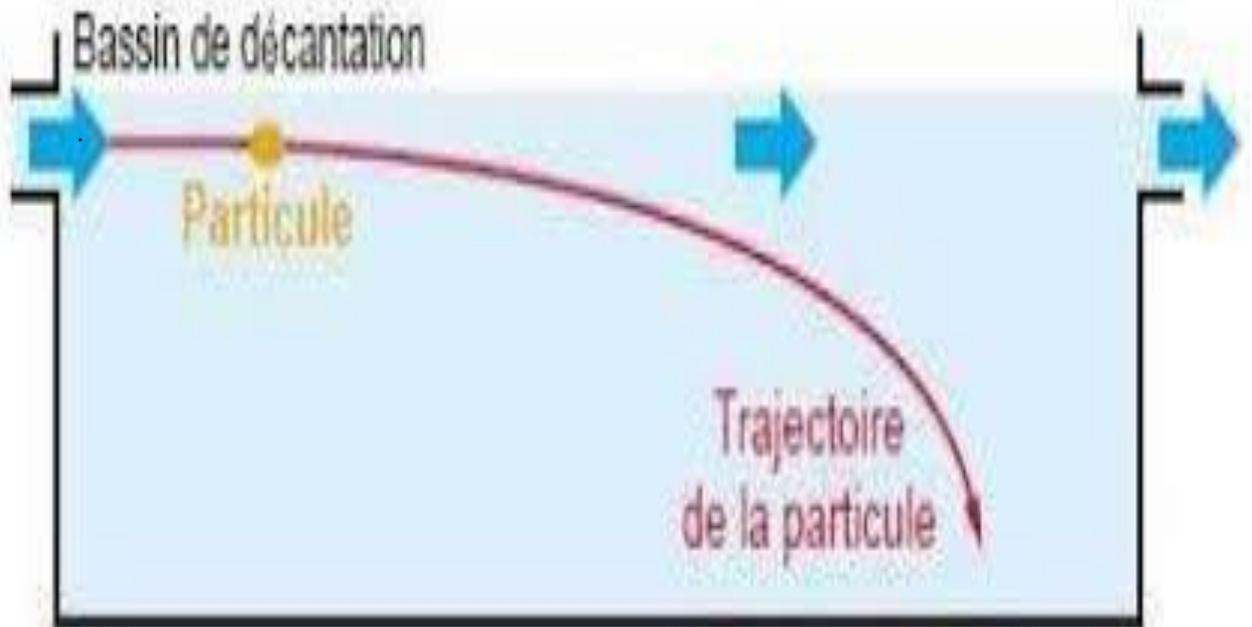


Figure 2-5: le processus de la décantation.

2.4.2.2 Coagulation -floculation

Il s'agit d'un processus d'élimination des colloïdes difficile à précipiter car leurs petites tailles varient de 1nm à 10 μm et portent une charge négative en général, ce qui ne facilite pas leurs éliminations. Ce procédé permet la déstabilisation de ces colloïdes en ajoutant des coagulants chimiques ou une source naturelle pour expédier ces colloïdes.

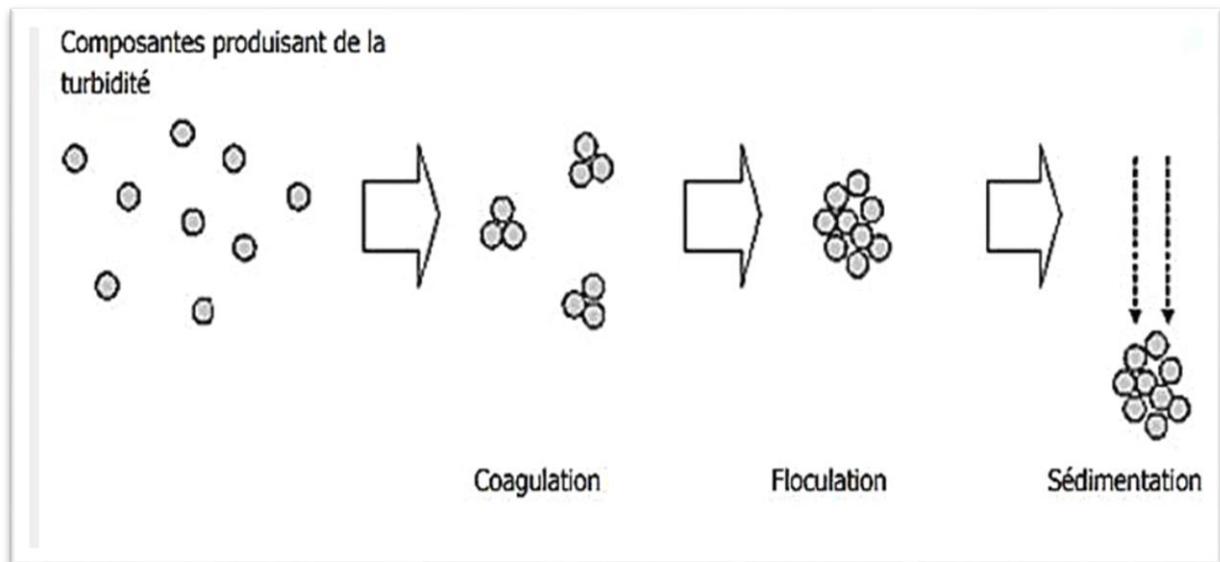


Figure 2-6 : processus de coagulation-floculation.

2.4.3 Traitements biologiques :

Les organismes qui provoquent des maladies (telle que le choléra, l'hépatite et autres... ;) en s'infiltrant dans les eaux usées sont le premier danger qui menace la santé humaine à grande échelle.

L'épuration biologique des eaux usées a pour but d'éliminer les matières organiques biodégradables, Cette élimination est confiée à des micro-organismes utilisant les matières organiques comme nutriments, La dégradation biologique peut se dérouler dans des conditions aérobies ou anaérobies.

Parmi les traitements biologiques, on distingue les procédés biologiques extensifs et intensifs.

2.4.3.1 Les procédés biologiques extensifs ou lagunage :

Le lagunage naturel est un procédé d'épuration qui a pour principe d'utiliser la végétation aquatique comme agent épurateur des eaux polluées. Les plantes aquatiques sont ici utilisées comme support aux colonies bactériennes, assurant l'épuration efficace de l'eau qui traverse lentement les colonies végétales installées.

Les éléments polluants comme le nitrate sont ainsi absorbés par les plantes pour restituer, en sortie de lagunage, une eau de bonne qualité.

Description de la technologie :

Le lagunage consiste à établir un écoulement lent par gravité des eaux usées dans plusieurs bassins de rétention (de 3 à 5) peu profonds (0,40 m à 1,20 m) en éliminant le risque d'infiltration dans les eaux souterraines [25].

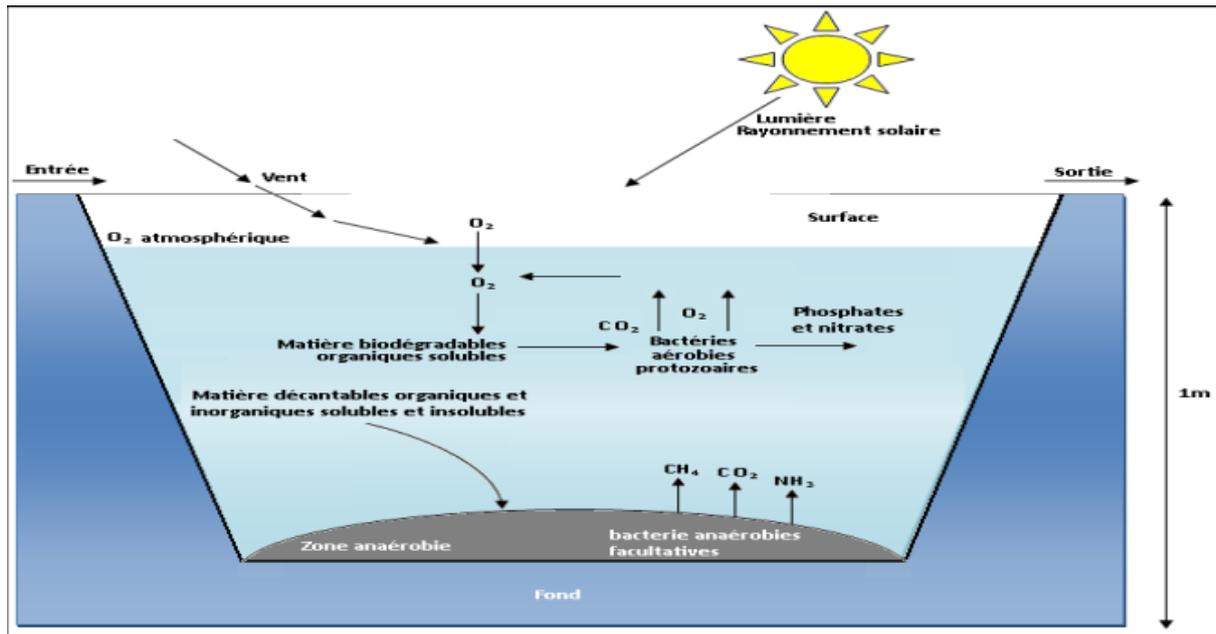


Figure 2-7 : les mécanismes en jeu dans les bassins de lagunage naturel

2.4.3.2 Les procédés biologiques intensifs :

Ce type de procédé nécessite de fournir suffisamment d'oxygène grâce à l'utilisation d'aérateurs ou de jets d'air pour que les micro-organismes puissent oxyder les matières organiques et les convertir en masse biologique et autres matières simples. Les méthodes courantes de traitement biologique comprennent :

- Les lits bactériens,
- Les disques biologiques,
- Les boues activées.

2.4.3.2.1 Les lits bactériens :

Les lits bactériens, appelés aussi lits ou filtres à ruissellement ont été utilisés pour le traitement biologique des eaux usées depuis près de 100 ans.

Leur principe de fonctionnement est de faire ruisseler l'eau à traiter, préalablement sur une masse de matériau (naturel ou plastique) servant de support aux micro-organismes. Les micro-organismes qui sont fixés sur le support éliminent les matières organiques par absorption des constituants solubles et en suspension.

Les lits bactériens sont des réacteurs biologiques à cultures fixées, non immergées, utilisant un matériau de contact traditionnel (pouzzolane, cailloux) [26].

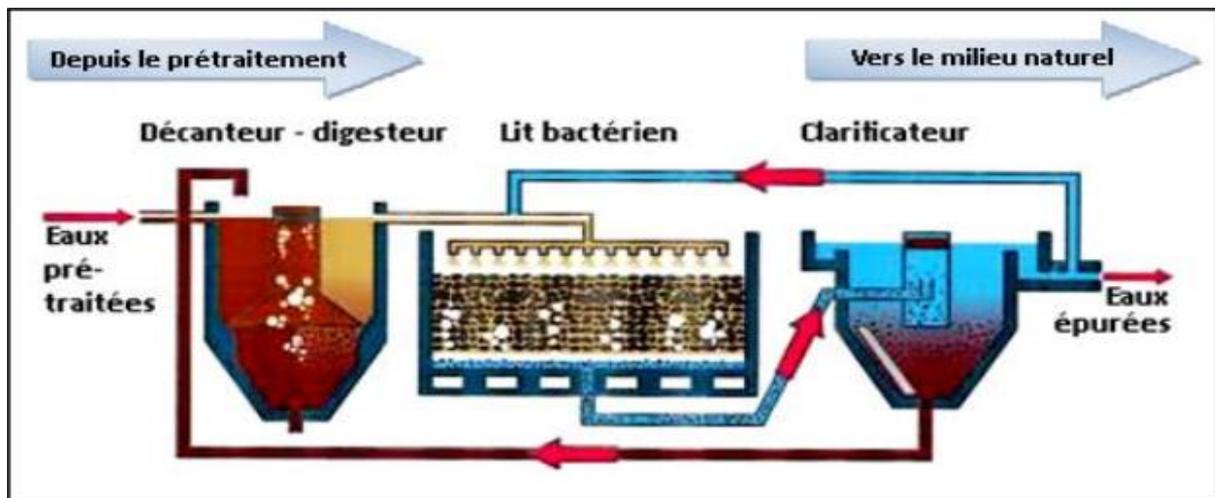


Figure 2-8: configuration du procédé lit bactérien.

2.4.3.2.2 La boue activée :

Cette méthode repose sur l'activation des bactéries présentes dans les eaux usées en émettant l'oxygène nécessaire à leur croissance et leur reproduction dans une cuve de ventilation située dans la station d'épuration. La multiplication des bactéries entraîne l'élimination de l'eau, de la matière organique dissoute et sa conversion en un matériau non dissous qui peut être déposé dans le bassin de sédimentation final du bassin d'aération de la station d'épuration. Cette méthode présente les avantages suivants :

- Elle est résistante aux charges organiques et hydrauliques soudaines.

- Elle peut fonctionner sur une large gamme de taux de charge organique et hydraulique.

-Elle présente une réduction significative de l'oxygénation de la DBO et des agents pathogènes (jusqu'à 99%).

-Elle offre une grande capacité d'élimination des nutriments.

-Elle peut être ajustée pour répondre aux spécifications et limites du drain.

La méthode à boue activées présente tout de même les inconvénients suivants :

-La consommation d'énergie est élevée et une source d'électricité permanente est nécessaire.

-Les coûts d'investissement et d'exploitation sont importants.

-Elle nécessite des travaux d'exploitation et de maintenance avec du personnel expérimenté.

-Elle est sujette à des problèmes chimiques et microbiologiques complexes.

-Elle nécessite une expertise en conception et construction.

-Les boues et les effluents sortants nécessitent un traitement et / ou une élimination adéquate [27].

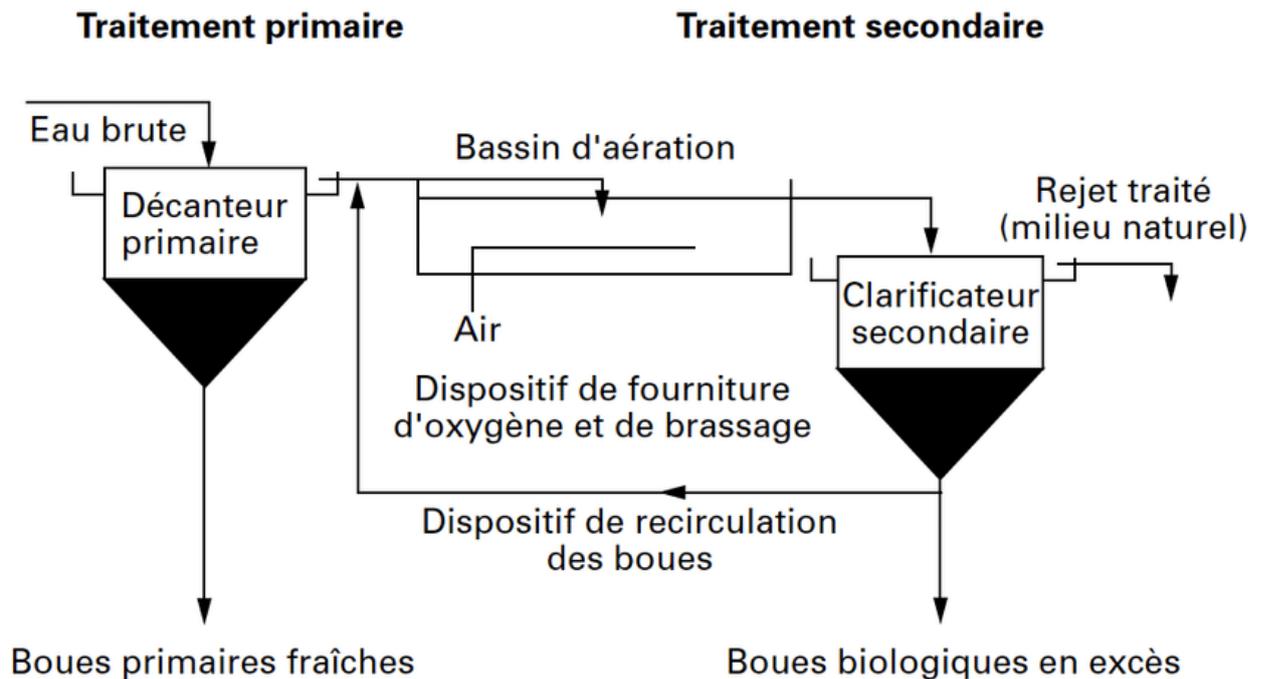


Figure 2-9: procédé du dispositif boue activée.

2.4.3.2.3 Le disque biologique :

La technologie Bio-disque est un procédé d'épuration mettant en jeu un traitement biologique aérobie à biomasse fixée. Les supports de la microflore épuratrice sont des disques partiellement immergés dans l'effluent à traiter et animés d'un mouvement de rotation pour assurer à la fois la mise en contact des bactéries avec l'effluent, leur oxygénation et le mélange.

> En phase immergée du cycle de rotation des disques, la biomasse fixée (fouling) prélève les matières organiques et azotées dans les eaux usées puis les digère et les dégrade.

> La phase émergée du cycle des disques permet aux bactéries de respirer.

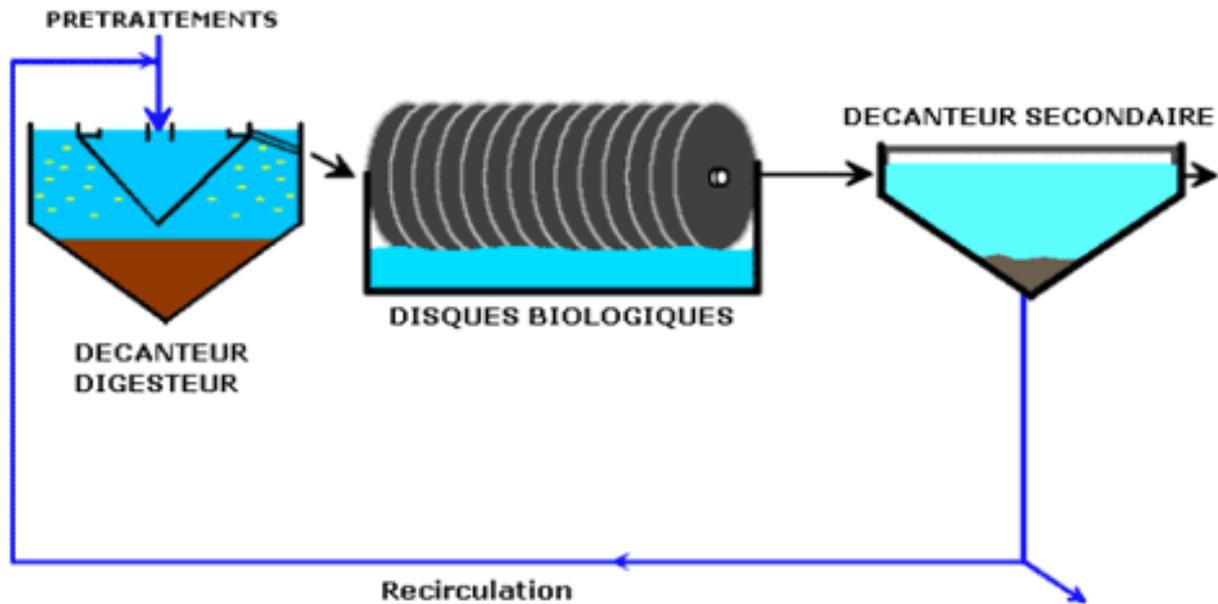


Figure 2-10 : dispositif du disque biologique.

2.4.4 Traitement tertiaire :

Le traitement tertiaire, que l'on dénomme aussi épuration complémentaire ou épuration avancée ou épuration de finissage, constitue un complément d'épuration des eaux usées pour régénérer ces eaux et adapter leur nouvelle qualité à l'usage qu'on veut en faire.

Lorsque l'eau épurée doit être rejetée en milieux particulièrement sensibles, tels que les lacs, étangs et rivières souffrant de phénomène d'eutrophisation, un traitement tertiaire est réalisé afin d'éliminer l'azote et le phosphore.

2.4.4.1 Le traitement de l'azote :

L'eau usée domestique contient de l'azote sous forme organique, des nitrites et des nitrates, mais principalement ammoniacale.

Pour une réutilisation des eaux traitées pour l'irrigation, il est judicieux de conserver les éléments nutritifs présents dans les eaux usées. Le concept alliant irrigation et fertilisation, nommé « Fert irrigation », prend actuellement de plus en plus d'ampleur. Le principe de réutilisation participe grandement à son développement.

Cependant, pour les autres utilisations (nettoyage des voiries par exemple), l'élimination de la pollution azotée et phosphorée est indispensable afin d'éviter tout risque d'eutrophisation [28].

2.4.4.2 Elimination de l'azote :

Dans les eaux résiduaires urbaines ainsi que dans de nombreuses eaux résiduaires industrielles, l'azote est essentiellement présent sous forme organique et ammoniacale, la mesure de toutes les formes d'azote correspond à l'azote total. Certaines stations d'épuration, sont conçues pour réaliser cette élimination.

2.4.4.3 La nitrification biologique :

Réalisée en phase aérobie dans les bassins d'aération, elle consiste à transformer l'ammoniaque en nitrates. Les micro-organismes jouent un rôle majeur dans ce procédé, Les micro-organismes responsables de la nitrification sont les Nitrosomonas et Nitrobacter, la nitrification se fait en deux étapes, la transformation de l'ammoniac en nitrite par oxydation. Puis l'évolution du nitrite (NO_2^-) en nitrate (NO_3^-). On parle de nitritation puis de nitratisation.

2.4.4.4 La dénitrification :

Réalisée dans des conditions d'anoxie (c'est à dire en absence d'oxygène), elle consiste à transformer les nitrates en azote gazeux. La dénitrification est le mécanisme anaérobie qui permet à un grand nombre de bactéries hétérotrophes de couvrir leurs besoins énergétiques à partir des nitrates lorsque l'oxygène dissous fait défaut. Pour faire simple, puisqu'elles manquent d' O_2 , ces bactéries sont obligées d'utiliser l'oxygène contenu dans les nitrates pour respirer. Elles respirent des nitrates. Et pour garantir une bonne dénitrification, il faut donc éviter d'avoir de l' O_2 dans les eaux à traiter [28].

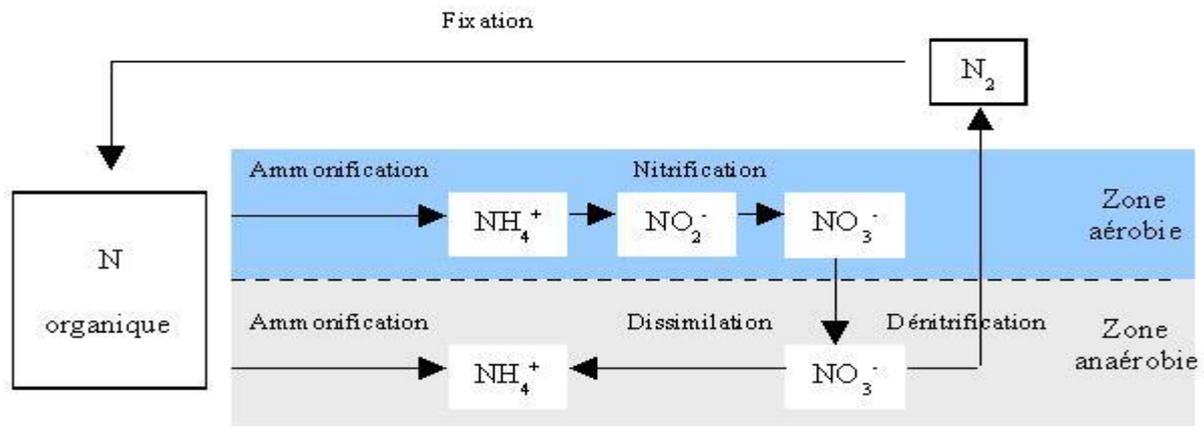


Figure 2-11 : schéma général de la nitrification/dénitrification.

2.4.4.5 Le traitement du phosphore (la de phosphatation) :

Le phosphore, généralement sous forme de phosphate, joue un rôle important dans l'eutrophisation des eaux de surface, entraînant une croissance excessive des algues, une faible teneur en oxygène et la mortalité des poissons. Afin de limiter l'eutrophisation,

Une dé phosphatation biologique peut être mise en place. La biomasse accumule alors le phosphore. Cette dé phosphatation est souvent couplée avec le traitement biologique secondaire. Un traitement physico-chimique peut aussi être effectué. Dans ce cas, un ajout de chlorure ferrique permet aux ions phosphates de former un précipité de phosphate de fer, qui est ensuite éliminé par une étape de séparation. La recherche sur des nouveaux procédés pour diminuer efficacement les concentrations en phosphore en vue de sa récupération a été très active ces dernières années. Par exemple, le procédé Actiflo de Veolia permet une précipitation quasi-totale du phosphore (95%) grâce à un procédé tertiaire de clarification à grande vitesse.

Le principe de ce traitement repose sur une précipitation du phosphore soluble par ajout d'un sel métallique (sel de fer, d'aluminium, ou de calcium). On obtient alors des précipités insolubles de phosphates métalliques séparés de l'eau par décantation [28].

2.4.4.6 La désinfection :

Il existe plusieurs moyens de désinfection pour les eaux usées : par chloration, par ozonation, par ultraviolets, par la température.

La désinfection consiste en une élimination durable des agents pathogènes de l'eau et elle est surtout pratique au chlore et à l'ozone.

L'ozone purifié est le premier et le meilleur à ce jour et il est très efficace et respectueux de l'environnement [29].

2.5 Conclusion :

Le traitement des eaux usées joue un rôle majeur dans la préservation de l'environnement et de la santé humaine, et dans l'exploitation optimale de la ressource en eau. Les chercheurs cherchent à trouver d'autres moyens pour l'amélioration de ce processus.

3 CHAPITRE III :

La théorie de la coagulation-floculation

3.1 Introduction :

La coagulation et la floculation sont des procédés courants du traitement de l'eau, pour l'élimination des substances en suspension indésirables présentes dans l'effluent. Cependant, ils peuvent être couramment adoptés pour désinstaller tout système de suspension. La coagulation implique l'utilisation d'une coagulation qui a la capacité de retirer la stabilité des particules précédemment chargées fixées dans la suspension. En revanche, dans le processus de floculation, l'instabilité se produit par des techniques physiques telles que le mélange de la solution, ainsi que parfois, par l'ajout de polymères. C'est la principale différence entre la coagulation et la floculation.

3.2 Procédé de coagulation/floculation :

La floculation est considérée ici comme processus distinct qui a lieu en fin de coagulation. Elle consiste à favoriser la croissance de floes macroscopiques avec ou sans utilisation d'additifs tels les adjuvants de floculation. Donc la coagulation est la déstabilisation des particules colloïdales par addition d'un réactif chimique (coagulant) et la floculation est l'agglomération de ces particules déchargées en micro floes [30].

Les procédés de coagulation et de floculation facilitent l'élimination de MES et des colloïdes en les rassemblant sous forme de floe dont la séparation est ensuite effectuée par des systèmes de décantation, flottation et/ou flocons volumineux qui se déposent par gravité. Ils sont ajoutés à la coagulation pour augmenter davantage la taille et la cohésion des floes.

3.2.1 Les particules mise en jeu ; les colloïdes :

Les particules colloïdes sont des matières inertes ou vivantes (Argiles, hydroxydes métalliques, micro-organisme, fibres, etc...) qui ont une taille très petite comprise entre 1 nm et 1 μm [31].

L'origine des colloïdes est très diverse. On peut citer l'érosion des sols, la dissolution des substance urbaines et industrielles ainsi que les agricoles [32].

3.2.2 Les types des colloïdes :

Les colloïdes sont soit électronégatifs et hydrophiles (argiles, humus par exemple, avec présence de groupements amines ou alcool qui vont créer une liaison H avec l'eau), soit

électropositifs et hydrophobes (minéraux tels que les oxydes de fer, oxydes d'alumine, et l'amidon). En général, peu de colloïdes sont exclusivement hydrophiles ou hydrophobes. Afin de faire coaguler les particules, il convient donc de choisir un coagulant adapté à la nature de celles-ci [25].

3.2.3 Les suspensions colloïdales :

Dans le tableau (3-1) sont répertoriés certains matériaux ou organismes avec leur dimension et l'ordre de grandeur du temps nécessaire pour que, sous la seule influence de leur poids, ces particules parcourent un mètre d'eau à 20 °C [33].

Tableau 3-1 : temps de décantation de différentes particules d'après la loi de stock.

Diamètre de particule		Type de particule	Temp de décantation pour 1m d'eau	Surface spécifique m ² .m ³	
Mm	µm				
10	10 ⁴	Gravier	1 seconde	6.10 ²	MES décantations
1	10 ³	Sable	10 secondes	6.10 ³	
10 ⁻¹	10 ²	Sable fin	2 minutes	6.10 ⁴	
10 ⁻⁴	10	Limon	2 heures	6.10 ⁵	
10 ⁻²	10	Kyste de protozoaire	20 heures	6.10 ⁵	Colloïdes
10 ⁻³	1		2 jours	6.10 ⁶	
10 ⁻³	1	Argile	8 jours	6.10 ⁶	
10 ⁻⁴	10 ⁻¹	Bactérie	2 ans	6.10 ⁷	
10 ⁻⁵	10 ⁻²	Colloïdes	20 ans	6.10 ⁸	
		Colloïdes			

3.2.4 La loi de Stokes :

La **loi de Stokes**, nommé en l'honneur de George Stokes est une loi liant la vitesse de chute d'une sphère dans un liquide par l'action de la gravité. Cette loi est utilisée pour calculer la vitesse de sédimentation, mesurer les viscosités des liquides, et analyser les particules en suspension.

$$v = \frac{2r^2 g \Delta(\rho)}{9\mu} \dots \dots (1).$$

Avec :

- v , vitesse de chute (en cm / sec)
- r , rayon de la sphère (en cm)
- g , accélération (cm / s^2)
- $\rho = \rho_p - \rho_f$, différence de densité entre la particule et le fluide (en g / cm^3)
- μ , viscosité du fluide (en $dyne.sec.cm^{-2}$).

3.3 La théorie de double couche :

La plupart des substances acquièrent une surface électrique chargée quand elles viennent en contact avec un milieu polaire. Les mécanismes possibles sont : l'ionisation, l'adsorption des ions et la dissolution des ions. Cette surface chargée influence la distribution des ions proches dans le milieu polaire. Les ions de charges opposées sont attirés vers la surface et les ions de même charge (co-ions) sont repoussés loin de la surface.

La théorie de la double couche électrique est envisagée lors de l'étude de la distribution des ions vu l'intérêt du potentiel électrique qui se crée sur la surface chargée.

C'est la première étape vers une bonne compréhension de la double couche électrique qui joue un rôle fondamental dans le domaine des phénomènes colloïdaux tels que la stabilité, l'électrocinétique, la formation de micelles, l'électro adsorption, la flottation, les propriétés des poly électrolytes, etc...

3.3.1 Origine de la charge sur la surface :

L'une des raisons principales de la stabilité des colloïdes est l'existence d'une charge électrique à la surface des particules.

L'acquisition d'une charge électrique à la surface se fait par :

- a. Ionisation des groupements tels que : - COO⁻, - NH₃⁺
- b. Adsorption d'ions
- c. Dissolution des ions
- d. Adsorption et orientation des dipôles

Les colloïdes sont généralement chargés négativement. Afin de neutraliser cette charge négative brute on ajoute une charge électrique autour du colloïde [34].

Beaucoup des théories permettent d'expliquer le potentiel électrique observé. Historiquement, la première et la plus simple a été donnée par Helmholtz (1879). Elle a été ensuite modifiée par le physicien français Georges Gouy (1910) et en (1913) par le chimiste Britannique David Leonard Chapman. La théorie Gouy-Chapman n'était pas entièrement satisfaisante, et en (1924) une considérable amélioration a été donnée par le physicien Germano-américain Otto Stern, qui est le meilleur modèle utilisé actuellement [34].

- 1- Théorie de Helmholtz ;
- 2- Théorie de Gouy-Chapman ;
- 3- Théorie de Stern.

3.3.2 Théorie de Helmholtz :

Une couche d'ions positifs recouvre intégralement la surface du colloïde et assure la neutralité de l'ensemble (couche fixée).

3.3.3 Théorie de gouy-chapman :

La couche d'ions positifs est intégralement répartie autour du colloïde ; la neutralité est obtenue à une plus grande distance (couche diffusée) [35].

3.3.4 Théorie de Stern :

La théorie de Stern est un compromis des deux précédentes concernant la formation de la double couche.

Un colloïde se caractérise par deux potentiels :

1. Potentiel thermodynamique ou potentiel de Nernst ;
2. Potentiel zêta ou potentiel électrocinétique.

Le potentiel thermodynamique est présent à la surface même du colloïde mais est malheureusement non mesurable par des méthodes simples [36].

Le potentiel zêta reste négatif comme la charge générale des colloïdes. Il donne le niveau de l'interaction mutuelle des colloïdes et se mesure par électrophorèse [37].

3.3.5 Le potentiel zêta :

Le potentiel Zêta se situe à la limite extérieure de la couche liée, il est responsable du comportement électrocinétique de la particule colloïdale dû à la charge effective de l'ensemble particule double couche ; quand la charge effective diminue, le potentiel Zêta et la stabilité diminuent.

L'annulation du potentiel Zêta est l'objectif de la coagulation, cela permet de déstabiliser les particules et de favoriser leur agglomération.

La figure (3-1) montre les différentes couches et le potentiel électrique des particules colloïdales [38].

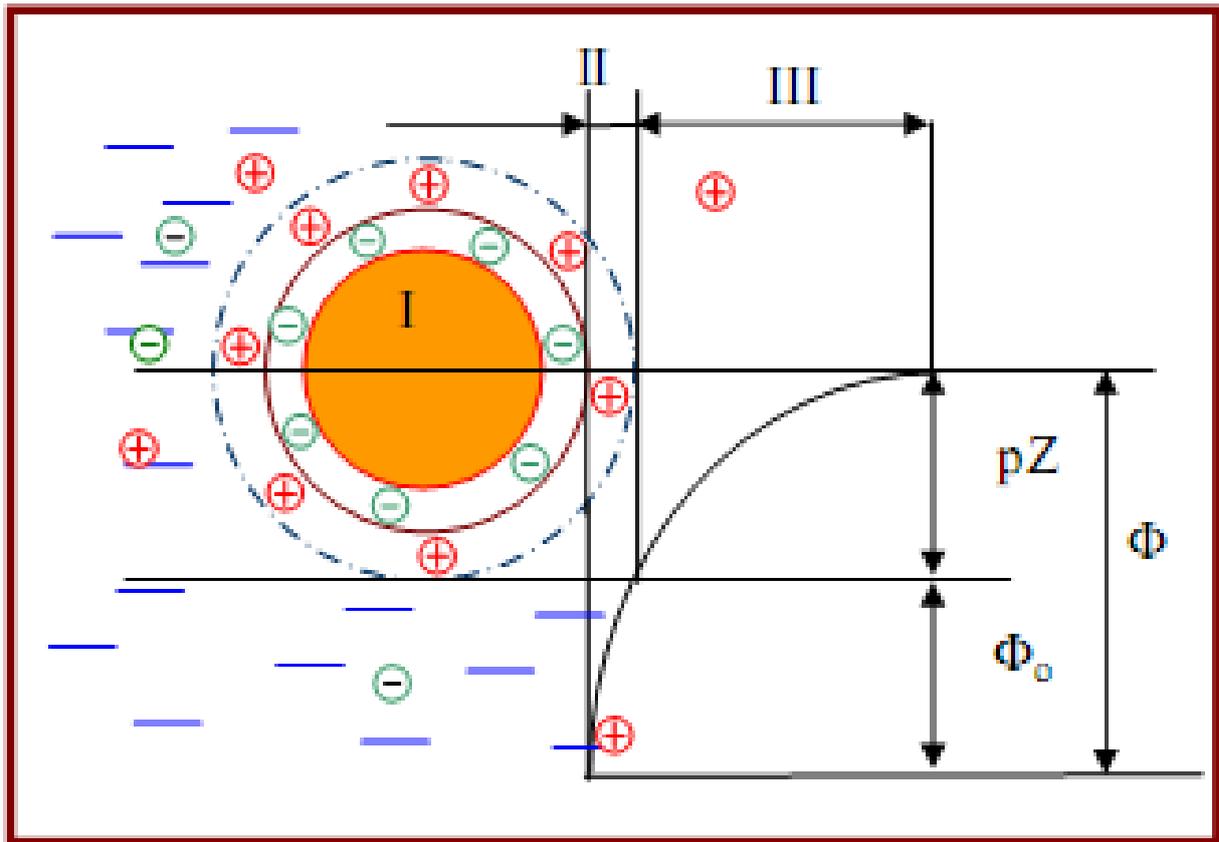


Figure 3-1 : potentiel électrique des particules colloïdales.

I : Particule colloïdale

II : Couche adhérente de Stern

III : Couche diffuse de Gouy-Chapman

Φ : Potentiel total à l'interface

Φ_0 : Potentiel différentiel dans la couche adsorbée

pZ : Potentiel Zeta.

3.3.6 Mécanisme de la coagulation-floculation :

On peut considérer qu'il existe quatre grands mécanismes qui agissent individuellement ou ensembles dans la coagulation floculation

- Réduction de l'épaisseur de la couche ionique : transportée par les particules, par augmentation de la force ionique de la solution.
- Neutralisation des charges ioniques : par ajout d'un réactif chimique contenant des contre ions du colloïde.

- Pontage entre les particules : par utilisation des polymères de haut poids moléculaire.
Piégeage des particules : par formation de polymères d'hydroxydes minéraux Volumineux [39].

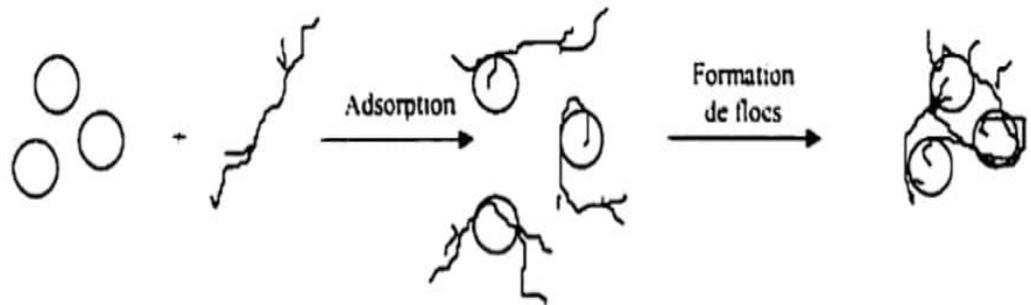


Figure 3-2 : adsorption et pontage à l'aide de polymères.

D'une manière générale on peut résumer le mécanisme selon la figure 3.3

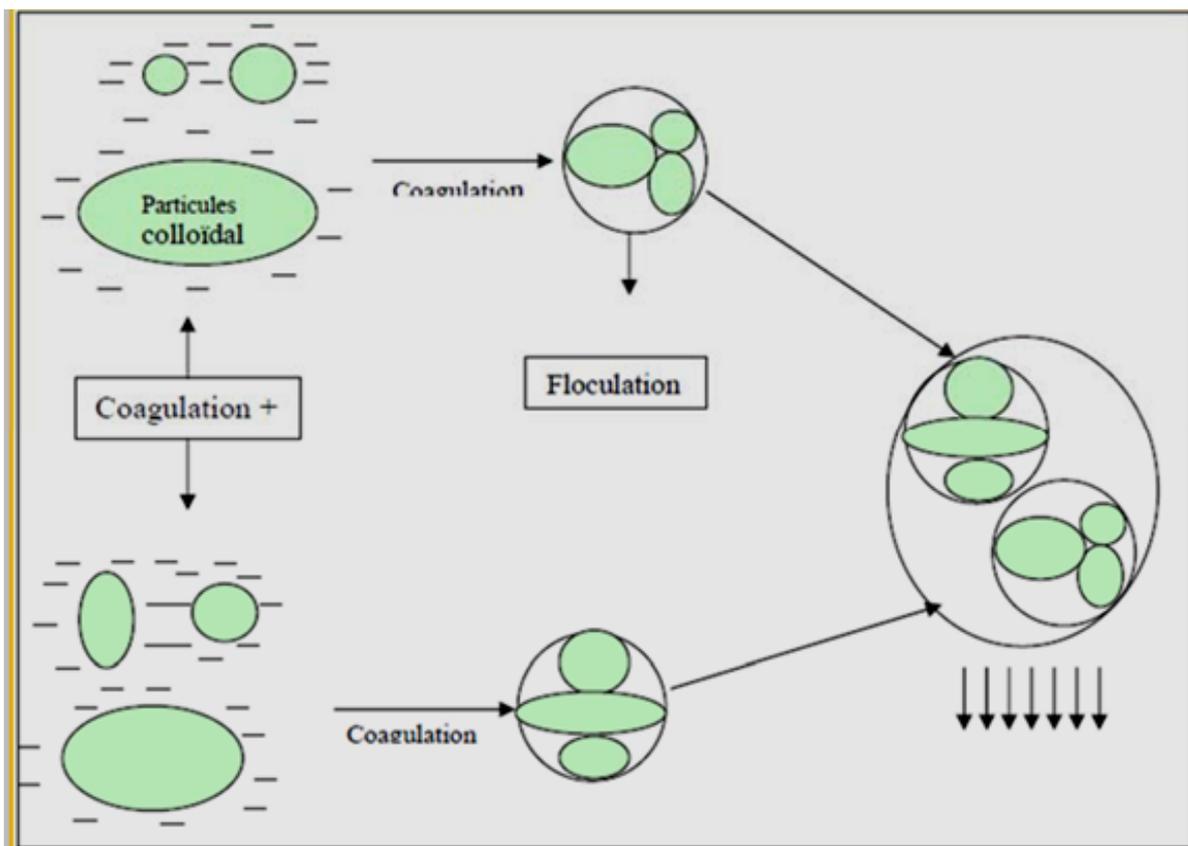


Figure 3-3 : mécanisme de la coagulation floculation.

3.4 Les coagulants :

Le comportement du coagulant est la variable la plus importante à prendre en considération lors du traitement d'eau. Il est prouvé qu'un ion divalent est dix fois plus efficace qu'un ion monovalent, pour dire que la coagulation est d'autant plus efficace que la valence de cation du coagulant est élevée. Sa nature peut aussi influencer le choix en fonction de qualité de l'eau traiter et de résultat escompté.

3.4.1 Les coagulants et aide coagulants conventionnels :

Le tableau ci-dessous (3-2) nous donne la liste des principaux coagulants conventionnels utilisés dans le traitement des eaux potables. En général, tous ces coagulants sont d'origine minérale, ils peuvent agir également comme floculants, les principaux floculants et aide-coagulants tels que montrés au tableau (3-4), sont des polymères à longues chaînes ou polyacrylamides. On y distingue, les polymères minéraux, les polymères de synthèse qui ont fait évoluer considérablement les performances de la floculation, et les polymères naturels extraits de substances animales ou végétales [40].

Tableau 3-2 : les coagulants conventionnels utilisés dans le traitement des eaux [25].

Nature du coagulant	Nom	Formule ou origine
Minéral		
A Base d'aluminium	Sulfate d'aluminium	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$
	Chlorure d'aluminium	$AlCl_3 \cdot 6H_2O$
	Aluminate de sodium	$NaAlO_2$
A base de fer	Chlorure ferrique	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$
	Sulfate ferrique	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 7H_2O$
	Chlorosulfate ferrique	$FeClSO_4 \cdot 5H_2O$
	Sulfate ferreux	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$
Autres	Sulfate de cuivre	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$

Plusieurs avantages et inconvénients accompagnent l'utilisation des agents chimiques présentés ci-dessus il faut noter que ces sels métalliques peuvent être utilisés seuls ou combinés.

Généralement, on les utilise avec un floculant afin d'augmenter l'efficacité du procédé.

Tableau 3-3 : les avantages et les inconvénients d'utilisation des coagulants chimiques [42].

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ▪ L'utilisation de ce procédé chimique est très répandue, il y a donc beaucoup d'équipement déjà existant et une multitude d'agents chimiques disponibles. ▪ Certains de ces agents chimiques sont peu dispendieux, notamment le CAO ; ▪ Les systèmes de coagulation-floculation chimiques sont généralement automatisés et demandent donc peu de surveillance et d'entretien. Une main-d'œuvre hautement qualifiée n'est souvent pas nécessaire; ▪ La présence de composés toxiques dans l'effluent à traité n'est pas gênante et le système est stable lorsque soumis à des températures variables ; ▪ Contrairement au système biologique un système de coagulation-floculation chimique peut accommoder une grande variété de charges et de débits. La complexité dans la charge de l'effluent à traiter et l'intermittence dans le débit ne constituent pas un problème ; ▪ Contrairement aux systèmes biologiques, un système chimique de traitement primaire requiert moins d'espace et les coûts d'installation sont moins importants; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Puisqu'il y a plusieurs réactions en compétition dans ce type de système chimique et plusieurs degrés d'alcalinité en plus des autres facteurs influençant le procédé, il est particulièrement difficile d'établir les bons dosages. Beaucoup d'essais à l'échelle de laboratoire sont donc nécessaires pour trouver un traitement optimal. Une surdose de coagulant chimique peut diminuer l'efficacité du système. ▪ Les coagulants utilisés sont souvent corrosifs des normes de sécurité doivent être respectées afin que les travailleurs manipulent ces substances avec précaution. ▪ L'addition de coagulant, principalement le CaO, Peut augmenter le volume des boues jusqu'à 50 %. ▪ Des grandes quantités de substances chimiques doivent être acheminées à l'usine de traitement. ▪ La présence d'aluminium résiduel peut entraîner des problèmes importants pour la santé comme l'Alzheimer et autres pathologies de ce genre. Il est donc

<ul style="list-style-type: none"> ▪ Une réduction significative est obtenue en termes de micropolluants, de métaux lourds, de bactéries et de virus. ▪ Une réduction significative est obtenue en termes de micropolluants, de métaux lourds, de bactéries et de virus ; ▪ Les systèmes chimiques de coagulation - floculation peuvent être conçus afin d'obtenir un produit à valeur ajoutée. 	<p>toxique pour les écosystèmes. Le fer aussi est toxique pour la faune. Cette toxicité génère plusieurs inquiétudes au niveau du grand public.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ L'utilisation de l'alun, à cause de son interaction avec les substances alcalines provoque une réduction importante du pH. ▪ En eau froide, le processus est peu efficace. ▪ Pour les pays en voie de développement, les coagulants chimiques peuvent être trop coûteux.
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

3.4.2 Les coagulants récents :

Les coagulants découverts ces dernières années, regroupés sur le tableau (3-4), sont pour la plupart des polymères d'origine naturelle ou synthétique, ils sont préférables aux sels métalliques dans le traitement des eaux potables en raison de [40] :

1-la garantie de leur performance même avec de faibles dosages par rapport aux sels conventionnels.

2-une quantité faible de boue produites.

3-leur efficacité indépendante de la variation du pH.

4-leur biodégradabilité et leur digestion par les micro-organismes.

5-leur non corrosivité des infrastructures de traitement et de distribution.

Tableau 3-4:les nouveaux coagulants utilisés dans le traitement des eaux [25].

Nature du polymère	Nom	Formule ou origine
Minéral	PCBA	Polychlorosulfate basique d'aluminium $Al_n(OH)_p(Cl)_q(SO_4)_r$
	ALPOCLAR	Polychlorure d'aluminium $Al(OH)_aCl_b$ avec $a+b=3$.

	PAC	Polyaluminium Chloré
	PAS	Poly-Aluminium-sulfate
	PASS	Poly-Aluminium- Silicate-sulfate
Organique	Mélatamine formol	Mélatamineformaldéhyde
	EPI.DMA	Epichlorhydrine diméthylamine
	POLYDADMAC	Polychlorure de diallyldiméthylamino-éthyle
	ADAM	Acrylate de diméthylamine-éthyle
	MADAM	Méthacrylate de déméthylation-éthyle
Naturel	Chitosane	Carapace de crustacés
	Indupa	Graine d'Indupa
	Moringa oleifera	Graine de moringa oleifera

3.5 Les floculants :

La floculation est le procédé d'agglomération de petites particules entre elles en utilisant un lien physique constitué de longues chaînes de polymères de grand poids moléculaires (plus de 1 million et jusqu'à 20 millions de Da). Les agglomérats forment alors des flocons ou flocs qui peuvent décanter rapidement s'ils sont assez lourds pour vaincre les contraintes d'écoulement qui entravent leur déplacement.

La floculation est généralement utilisée de manière combinée avec la coagulation. Ces techniques sont souvent utilisées en traitement des eaux accompagnées d'une décantation et d'une élimination des flocs, souvent afin de réduire la turbidité ou par exemple dans une station d'épuration urbaine pour la pollution au phosphore.

Après avoir été déstabilisée par la coagulation, les particules en suspension ont besoin d'être agitée plus lentement afin de pouvoir entrer en contact les unes avec les autres de manière plus efficace.

La taille des « flocons » obtenus après coagulation n'est généralement pas suffisante et par l'ajout d'un floculant (polymère) et grâce à une agitation maîtrisée, l'agglomérat obtenu aura une taille suffisante pour sédimenter dans le bassin.

3.5.1 Les types de floculant :

La floculation, étape suivante dans le processus de clarification de l'eau, consiste en deux types de transport successifs

- La floculation péri-cinétique :

N'intervenant que sur les particules colloïdales, elle favorise la formation du microfloc. Elle est liée à la diffusion brownienne, c'est-à-dire à l'agitation thermique. Le mouvement brownien correspond au déplacement désordonné des colloïdes par le bombardement de chaque molécule d'eau.

- La floculation ortho-cinétique ;

Ce type de floculation est fonction de l'énergie dissipé dans le fluide, elle est donc causée par le brassage de l'eau qui permet d'augmenter les chances de contact entre les particules. La vitesse de fluide varie dans l'espace et dans le temps et est caractérisé par le gradient de vitesse.

3.5.2 Les principaux floculants :

3.5.2.1 Les floculants de type polymères (polyelectrolytes) synthétiques :

De manière générale, ceux sont des composés de haut poids moléculaires 10^4 — 10^6 Da de types anioniques, cationiques ou non ioniques. L'intensité de la charge d'un polymère dépend de son degré d'ionisation qui dépend à son tour des charges sur les groupes fonctionnels, du degré de polymérisation et de la quantité de groupes fonctionnels qui ont été substitués.

En solution, ils ont un taux de diffusion relativement bas et ils augmentent la viscosité. Le brassage est donc nécessaire à la dispersion des polymères. Ils peuvent être employés pour la neutralisation, l'émulsion et/ou pour créer des ponts entre les particules colloïdales [61].

Leur efficacité dépend généralement des paramètres suivants : la concentration du polymère, la charge globale et la densité de charge, le poids moléculaire, les caractéristiques

de l'effluent et les paramètres physiques (dosage, énergie de brassage, pH... etc.). Les polymères peuvent être seuls ou combinés avec les sels métalliques.

Voici donc un bref aperçu des aspects positifs et négatifs de leur utilisation.

Tableau 3-5: avantages et inconvénients de l'utilisation des flocculant de type polymères.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">-Pas besoin d'un dosage très précis.- Réduit le volume de boues produites.- Facile à entreposer et à brasser.- Le poids moléculaire et la charge peuvent tous deux être optimisés selon le type d'effluent à traiter.- Pas besoin d'ajuster le pH.- Augmente la résistance des floccs de cisaillement.	<ul style="list-style-type: none">-Les polymères peuvent être toxiques pour la faune. Très peu d'études documentent cette toxicité.- l'utilisation de polymères synthétiques est coûteuse et donc pratiquement inenvisageable pour les pays en voie de développement.

3.5.2.2 . Les flocculants minéraux :

Le principal agent flocculant d'origine minérale employé dans le domaine du traitement des eaux est la silice activée. Ce composé offre de bons rendements lorsqu'il est associé au sulfate d'aluminium en eau froide. Un inconvénient accompagne l'utilisation de la silice, elle doit être préparée juste avant son utilisation, vu sa faible stabilité [62].

3.5.2.3 Les flocculants naturels (bio-flocculants) :

Actuellement, dans la majorité des cas, les particules colloïdales, comme les protéines ou les huiles, sont retirées à l'aide d'un procédé chimique de coagulation-précipitation le sulfate d'aluminium ou de chlorure de Polyaluminium, deux agents coagulants efficaces et peu dispendieux.

Cependant, l'utilisation de ces sels d'aluminium peut causer une augmentation de la teneur en aluminium dans l'eau potable et ainsi avoir un impact considérable, à long terme, sur la santé humaine. McLachlan [61]a démontré une relation entre les concentrations d'aluminium présentes dans l'eau et le risque de contraction de la maladie d'Alzheimer.

L'aluminium peut aussi avoir des répercussions négatives sur les milieux naturels s'il s'y retrouve en trop grandes concentrations.

L'utilisation des flocculant naturels ou bio-flocculant apparait comme une alternative durable pour l'enlèvement de MES à cause de leur non répercussion sur la santé humaine et celle des écosystèmes à long terme. Cette non toxicité a aussi permis d'étendre ces usages à l'industrie chimique, biomédicale, pharmaceutique et agroalimentaire.

Ces dernières années, plusieurs projets de recherches furent lancés dans ce contexte, on peut citer le projet "Flocon Bio" regroupant les deux sociétés européennes « Géo-Hyd » (Etude eau, sol et environnement Géomatique Informatique appliquée) et « Eco-logistique », en collaboration avec le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), en 2011, en France.

Aussi, ce programme a pour ambition de réaliser une proposition commerciale et innovante au profit des industriels du secteur. Il a abouti en 2014, à la formulation d'une gamme de bio-flocculant adaptés à chaque filière industrielle, ainsi qu'à leurs mises en place aux procédés de traitement spécifique à chaque filière.

Ainsi, ce projet a pour objectif majeur de remplacer les flocculant classiques bio résistants, utilisés dans le traitement des eaux usées, par de nouveaux produits biodégradables. Pour ce faire, les chercheurs comptent développer de nouveaux flocculants en se servant de certains produits d'origine naturelle, tels que les chitosanes, les alginates ou encore les amidons...etc.

3.6 Les paramètres influençant l'étape de coagulation floculation :

Le succès de la coagulation dépend de facteur, dont certain peuvent être contrôlés et d'autres, comme les basses températures, ne peuvent pas être modifiés de façon économique. Les facteurs les plus importants sont le pH, la dose du coagulant, la turbidité, la couleur, la température et les éléments mécaniques de la telle que le genre d'agitateur.

3.6.1 Le pH :

Le pH joue un rôle très important, car il détermine le choix de coagulant à employer, pour chaque eau, il existe un pH où la formation du floc est meilleure ; on l'appelle parfois le point isoélectrique. Ce point doit être déterminé pour chaque eau et dans la majorité des cas, il correspond au potentiel zêta le plus près de zéro.

En plus, il influe sur la quantité résiduelle de coagulant non précipitée restant dans l'eau après la coagulation-floculation [43].

3.6.2 Influence de la dose du coagulant :

La dose du réactif est un paramètre à prendre en compte, le coagulant qui est habituellement acide a tendance à abaisser le pH de l'eau. Une dose de coagulant excessive entraîne une restalinisation des particules et une augmentation du coût d'exploitation, tandis qu'un dosage insuffisant conduit à une qualité de l'eau traitée insuffisante.

3.6.3 La turbidité :

La turbidité est un paramètre influant sur le bon fonctionnement du procédé de coagulation. Dans une certaine plage de turbidité, l'augmentation de la concentration en particules doit être suivie d'une augmentation de la dose de coagulant.

Quand la turbidité de l'eau est trop faible, on peut augmenter la concentration en particules par addition d'argiles, enfin, pour grossir et alourdir le floc, on ajoute un adjuvant de floculation.

3.6.4 La température :

La température influe principalement sur la viscosité de la solution. La solution réagit donc différemment aux sollicitations que l'on crée lors du processus de coagulation-floculation [44].

Des études ont démontré expérimentalement qu'à basse température, en dessous de 7°C, la coagulation des particules était très mauvaise, c'est pourquoi nous choisissons de ne pas prendre de valeurs de température en dessous de ce seuil.

Une température basse, entraînant une augmentation de la viscosité de l'eau, ralentit la décantation des flots [45].

3.6.5 La vitesse d'agitation :

Lors de l'ajout du coagulant, on procède à une agitation rapide pour la dispersion et l'homogénéisation de la solution, mais une agitation intense empêche l'agrégation des

particules, tandis qu'une agitation prolongée conduit systématiquement à la déstabilisation du système agrégé et à l'effraction des liaisons entre coagulant et la surface des particules. [45].

3.7 Conclusion :

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

4 CHAPITRE IV :

Etude d'un coagulant naturel :
le chitosane

4.1 Introduction :

La demande croissante vis à vis du respect de l'environnement a suscité l'intérêt pour l'utilisation des poly électrolytes naturels, pouvant remplacer les flocculants synthétiques. Les coagulants naturels extraits à partir de déchets peuvent servir comme alternative aux poly électrolytes synthétiques parce qu'ils sont biodégradables, ils sont inoffensifs pour la santé, et aussi pour leur large éventail de dosage efficace pour la floculation des colloïdes. Le plus prometteur bio polymère cationique est le chitosane. Le chitosane est un amino poly saccharide provenant de la chitine, il est un des bio polymères les plus abondants dans la nature après la cellulose. Par rapport aux autres polymères, il présente d'autres avantages, tels que, son abondance et sa source auto renouvelable, sa stimulation à la croissance végétale, sa non toxicité et sa compatibilité avec l'environnement [49].

4.2 Historique :

Le chitosane est préparé généralement à partir de la chitine. La chitine fut isolée à partir des champignons et identifiée pour la première fois en 1811 par le Pr. Henri Braconnât, directeur du jardin biologique à Nancy (France) et spécialiste en Histoire de la nature. Il lui a donné le nom de << fugine >>. Le terme chitine a été proposé pour la première fois en 1823, par C. Odier. Ce nom vient du grec ancien khitan qui signifie tunique ou enveloppe. La chitine provient des carapaces d'insectes Le chitosane a été découvert en 1859 par Charles ROUGET en traitant la chitine avec une solution concentrée d'hydroxyde de potassium à température élevée. Mais n'est qu'en 1894 que Felix HOPPE-SEYLER a donné à la << chitine modifiée >> le nom de " chitosane ". Bien que la chitine et le chitosane aient été identifiés il y a plus d'un siècle, ce n'est que depuis une trentaine d'années que l'intérêt pour la chitine et le chitosane s'est substantiellement accru avec la parution des premiers ouvrages qui leur sont exclusivement consacrés. On estime à plus de 150 millions de tonne la quantité de chitine pouvant être recyclée annuellement. La chitine provient essentiellement des usines de transformation des produits aquatiques. La chitine et le chitosane sont des exemples de polymères non-pétroliers et biodégradables. Ils représentent un potentiel très important pour une multitude d'applications dans des domaines variés. Pour n'en énumérer que quelques-uns, citons le traitement des eaux et l'agroalimentaire. Le chitosane est disponible sous forme de solution, de granules, de poudre et de fibre [49].

4.3 Origine du chitosane et de chitine :

Le chitosane est moins présent dans la biomasse et il est seulement observé dans quelques micro-organismes, particulièrement ceux de nature fongique. La chitine est présente au sein d'un grand nombre d'organismes. Elle est présente dans certaines levures et bactéries, dans de nombreuses espèces de champignons, les algues, les carapaces d'insectes, de scorpions, d'araignées et organismes marins dont les mollusques et les céphalopodes. Cependant, la chitine est fabriquée presque exclusivement à partir des carapaces de crustacés (crevette, langouste et écrevisse). Le meilleur rendement d'extraction de la chitine est actuellement observé chez crustacés dont la carapace est composée de 10 à 40% de chitine [49].



Figure 4-1:représentation de l'origine du chitosane.

Tableau 4-1 : taux de chitine dans les carapaces de crustacés.

Source	Pourcentage (%)
Calamar	40
Ecrevisse	36
Langouste	32
Mante de mer	24
Crevette	22
Seiche	20

Homard	17
Araignée de mer	16
Crabe	10

La figure (4-2), ci-dessous montre le processus de préparation de la chitine et du chitosane à partir des carapaces de crustacés. Le chitosane est donc un polysaccharide naturel obtenu par désacétylation de la chitine des carapaces de crustacés ; sa structure et ses propriétés dépendent de son degré de désacétylation. Plusieurs recherches de caractérisation de la chitine et du chitosane ont été menées, et plusieurs types ont été identifiés en fonction de leurs origines ou des moyens et procédés de préparations.

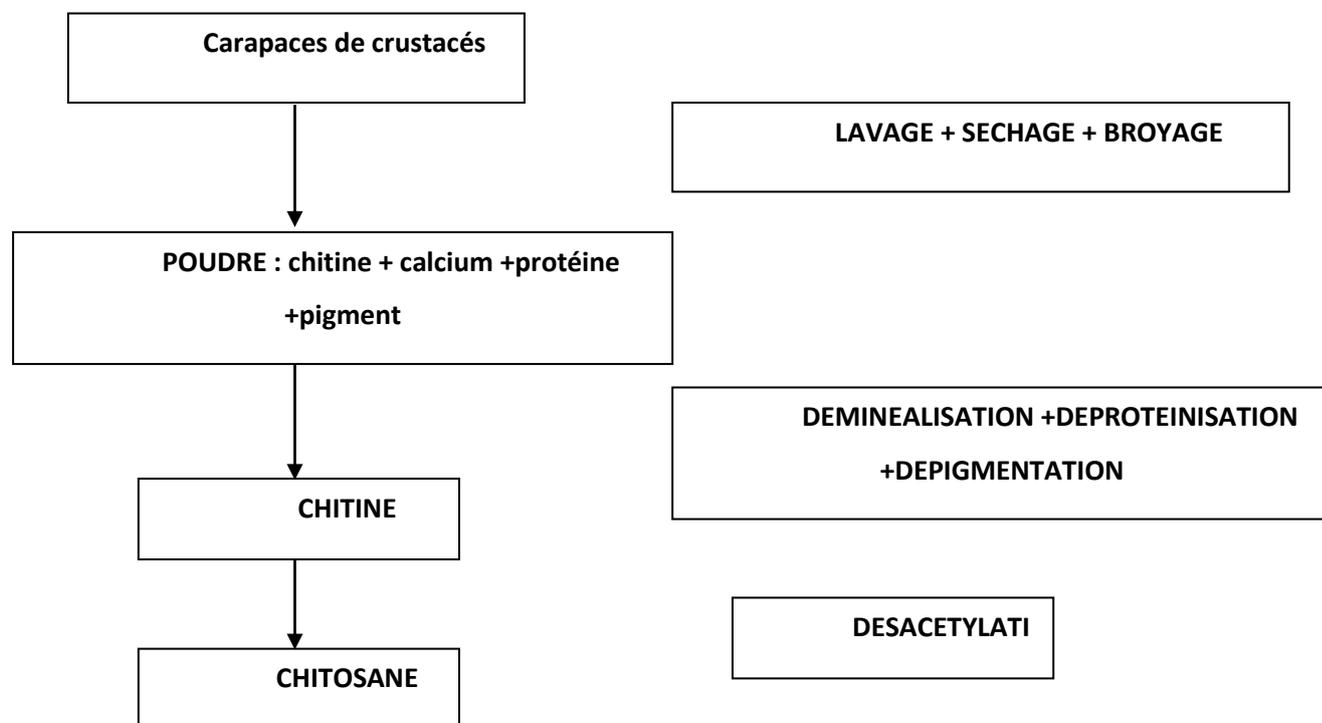


Figure 4-2 : démarche pour obtenir le chitosane.

4.4 Travaux antérieurs sur l'utilisation du chitosane en tant que coagulant pour le traitement des eaux usées :

Les perspectives prometteuses de l'utilisation du chitosane en tant que coagulant dans les traitements des eaux usées ont amené une équipe de chercheurs [52],[53]et [54]. Du Massachusetts Institute of Technologie (MIT, Cambridge, Etats-Unis) à la réalisation des travaux sur ce sujet.

4.4.1 Etudes de Murcott et Harleman (1991,1992,1993) :

Les premières recherches ont été faites à la station d'épuration de Gloucester (Massachusetts) en 1991 sur une eau constituée à 89% d'eau commerciale et domestique et à 11% d'eau provenant de dix-neuf entreprises faisant partie d'un programme de prétraitement industriel, dont onze étaient des entreprises industrielles de transformation de poisson. L'étude a porté sur quatre coagulants : l'alun, le chlorure ferrique, le Poly-Aluminium-chlorure et le chitosane. Divers aide-coagulants et adjuvants de floculation ont aussi été étudiés parallèlement. Les essais se sont déroulés sur deux périodes (une semaine en janvier et une semaine en septembre 1991) sur des unités de coagulation-floculation.

Les performances optimales pour le chitosane comme coagulant primaire ont été obtenues avec une concentration équivalente à 0.2% de celle des sels de métaux. Le chitosane peut être employé avec succès en tant qu'aide-coagulant attitré à de plus faibles concentrations de sels de métaux. Il n'est pas efficace pour l'enlèvement des phosphates.

Lors de leur deuxième recherche en 1992 au MIT, Murcott et Harleman ont comparé le chitosane et d'autres polymères naturels (famille des Moringa) utilisés comme coagulants primaires et comme aide-coagulants et sels de métaux pour l'enlèvement de la DCO, de MES, des métaux lourds et des HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques). Les expériences ont été faites sur les eaux usées de la station de traitement primaire de Deer Island (Massachusetts). Les auteurs indiquent aussi que l'ajout d'un tampon phosphate avec le chitosane a permis d'assurer la formation de floes avec des meilleures caractéristiques de décantation. Lorsque le chitosane est employé comme coagulant, il permet un bon enlèvement de la DCO d'un effluent en une concentration supérieure à 300 mg/L. Pour de faibles DCO, la performance du chitosane est plutôt irrégulière. Dans l'ensemble, l'enlèvement de la DCO et des matières en suspension par le chitosane n'est pas aussi efficace qu'avec les métaux. Toutefois, dans des conditions optimales (aide-coagulant et adjuvant de floculation), 5 mg/L de chitosane peuvent être aussi efficace que 40 mg/L de sel de métal et peuvent assurer jusqu'à 66% de réduction de la DCO. La concentration optimale de chitosane se situe dans une plage d'utilisation relativement étroite, soit entre 4 et 5 mg/L. Un excès peut engendrer une ré-stabilisation des charges et une réduction de l'efficacité de la coagulation.

Le chitosane employé comme coagulant ou aide-coagulant à de faibles concentrations, est aussi performant voir meilleur que les autres coagulant classiques (alun et chlorure ferrique) pour l'élimination de tous les métaux étudiés. Le chitosane a permis

l'élimination de plus de 88% du chrome, du zinc, du cuivre, de l'aluminium et du fer a une concentration de l'ordre de 4 à 6 mg/L ; 40% de barium a été éliminé dans tous les échantillons quel que soit le régime de mélange. En revanche, il est peu performant pour l'élimination du silicium quoique qu'il reste meilleur que l'alu, ou le chlorure ferrique.

Dans leur troisième recherche réalisée au MIT en 1993, Murcott et Harleman ont essayé de démontrer l'efficacité du chitosane en tant que coagulant primaire à la place de l'alun et du chlorure ferrique à l'aide d'essais en béchers. Ils ont comparé la performance du chitosane jumelé à la bentonite avec l'alun et d'autres coagulants chimiques pour l'enlèvement de la turbidité et de la couleur d'eau devant servir à la consommation. Ces expériences en béchers ont été faites de février à avril 1993 sur des eaux échantillonnées provenant du réservoir Wachusett. La turbidité des eaux brutes du réservoir étant faible, la bentonite a été utilisée comme aide-coagulant afin d'améliorer les propriétés de sédimentation des floes. Les résultats obtenus lors de cette étude ont montré que l'utilisation du chitosane avec la bentonite à faible concentration est plus efficace que l'alun seul (ou alun + adjuvant de floculation) pour l'enlèvement de la turbidité et la couleur. Etant donné la qualité exceptionnelle des eaux brutes du réservoir Wachusett, un seul traitement avec la bentonite et le chitosane par coagulation-floculation a été suffisant pour atteindre une eau claire.

Le chitosane et la bentonite sont tout aussi efficaces quelle que soit la température de l'eau alors que l'alun n'est pas du tout efficace pour l'abaissement de la turbidité et la couleur en condition d'eaux froides. Le chitosane représente donc un énorme avantage pour le traitement d'effluents en régions nordiques.

Finalement, bien que le cout estimé d'achat du chitosane et de la bentonite soit légèrement plus important que celui du couple alun/polymère anionique pour une efficacité semblable, leur utilisation permet d'éviter l'ajout de produits chimiques supplémentaire (soude, chaux) pour la correction du pH après traitement.

4.4.2 Etude de Kawamura [55] :

Les travaux de coagulation-floculation réalisé par Kawamura sur des eaux de surface mettent en évidence l'efficacité du chitosane en tant que coagulant primaire dans des eaux ayant une turbidité faible à élever. Il conclut que le chitosane peut être plus efficace que les polymères synthétiques en tant que coagulant. Comme pour les polymères synthétiques, le chitosane peut ne pas être efficace pour l'enlèvement de tous les types de matières en

suspensions (colloïdes). Cependant, il est performant sur une grande gamme de turbidité contrairement aux polymères synthétiques, et il est particulièrement efficace pour de eaux très turbidité. Les résultats ont montré aussi que le chitosane s'avérait efficace pour des eaux faiblement turbidité à alcalinité élevée. Le chitosane ajouté seul ou comme adjuvant de floculation, suite à l'injection d'alun, permet d'obtenir des turbidités résiduelles plus faible que l'orsque l'alun est employé seul.

4.4.3 Etude de Johnson et gallanger [56] :

Le chitosane a été également utilisée pour le traitement des eaux usées prévenant des usines de transformation des produits de la mer. Ces effluents usés traités par le procédé de coagulation-floculation contenaient des déchets de crabes, de saumon et de crevettes grises. Des essais en béchers et pilotes en été réalisés pour comparer le chitosane avec le sulfate ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) afin d'enlever les MES et la turbidité. La concentration de chitosane ajoutée était de 30mg/L et celle du sulfate ferrique de 500mg/L. les résultats montrent que le chitosane peut enlever 97-98% de MES et de la turbidité. L'emploi d'une solution tampon phosphate a permis d'assurer la formation des floccs ayant de meilleures caractéristiques de décantation. Son ajout s'est avéré nécessaire en raison des consommations d'alcalinité importantes (réaction du sulfate ferrique) et de l'ajout d'une quantité significative d'acide acétique lorsque le chitosane est injecté. L'ajout ne s'est pas avéré nécessaire dans le cas de l'effluent corvettes possiblement en raison de la présence de polyphosphate dans l'exosquelette des crevettes.

4.4.4 Autres études :

Une thèse [57] fait état du chitosane comme coagulant hautement efficace pour l'enlèvement des micro algues dans un traitement tertiaire biologique des eaux. D'autres résultats d'essai de coagulation-floculation réalisés par d'autre chercheurs [58],[59]et[60][61]ont démontré aussi l'efficacité du chitosane comme coagulant primaire ou comme adjuvant de floculation pour l'abattement de la turbidité dans les usines d'épuration, pour l'enlèvement de la DCO dans les effluent provenant d'usine de transformation des crevettes, pour la récupération des matières protéines des eaux résiduaires, résultant du traitement des tofus, pour l'enlèvement des phénols et des amines aromatiques contenues dans les eaux industrielles, ainsi que pour l'élimination de la turbidité et des matières volatiles

dans les eaux usées diluées provenant des industries du bétail, de la volaille et d'un digesteur anaérobie traitant des eaux usées contenant les rejets d'une porcherie.

4.5 Caractéristiques et propriétés physico-chimiques du chitosane et de la chitine :

La chitine et le chitosane sont caractérisés par leur masse molaire élevée ou leur viscosité, la matière première dont ils sont issus, leur pureté et leur degré d'acétylation ou DA.

Tous les deux sont les bio polymères de même structure chimique globale et ne se distinguent que par la proportion relative de fonctions amines libres et amines acétylées c'est-à-dire leur degré d'acétylation. Le degré d'acétylation du chitosane a une très grande influence sur ses propriétés (les propriétés des chaînes macromoléculaires, la masse moléculaire et leur comportement en solution comme la solubilité, la flexibilité des chaînes macromoléculaires, la conformation du polymère et la viscosité des solutions). Le complémentaire du degré d'acétylation (DA) est appelé degré de désacétylation (DDA). Le pourcentage de désacétylation correspond à la quantité relative de groupements acétyles retirés à la molécule de chitine lors de la préparation du chitosane. Le DDA est une des caractéristiques les plus importantes du chitosane, puis qu'il, peut influencer, non seulement ses propriétés physico-chimiques, mais aussi sa biodégradabilité et son activité immunologique.

Le DA peut être déterminé par spectrométrie infrarouge (IR), par résonance magnétique nucléaire ou par l'analyse du pourcentage d'azote. Le DDA peut être mesuré avec précision par spectroscopie RMN du proton H^1 ou la spectrophotométrie ultraviolette visible.

Le terme est donné à un copolymère dont la valeur du DDA est inférieure à 50% tandis que le chitosane possède une valeur de DDA supérieure à 50%. Lors que le DA atteint environ 90%, on peut donner le nom de chitine au polysaccharide alors que lorsque cette dernière chute en bas de 35%, on parle plutôt de chitosane. Les chitosanes industriels ont un degré d'acétylation compris entre 2 et 25%.

Le viscosimètre est une technique rapide pour la détermination du poids moléculaire du chitosane ou de la chitine. La viscosité est une caractéristique importante du chitosane concernant son comportement en solution. La viscosité dépend, non seulement du DDA, du M (masse molaire), mais aussi du pH (plus le pH est faible, plus la viscosité est forte) car ces deux paramètres déterminent la densité de charge sur la chaîne du polymère. La viscosité

augmente avec le DDA car plus le polymère est désacétylé, plus la proportion de groupements amine libres est importante et plus il est soluble. La viscosité augmente également avec la concentration et elle est fonction de la masse moléculaire des chaînes macromoléculaires.

Comme pour les autres polysaccharides, la viscosité chute lorsque la température augmente. La cristallinité est un paramètre important car elle contrôle un certain nombre de propriétés comme l'accessibilité des sites internes dans les chaînes macromoléculaires, les propriétés de gonflement dans l'eau ou encore les propriétés diffusionnelles. La cristallinité est déterminée par des mesures de diffraction de rayon X. En fait, le chitosane est généralement une substance semi-cristalline et cristallise dans le système orthorhombique [49].

Les principales propriétés chimiques et biologiques du chitosane sont résumées par les points suivants.

Principales propriétés chimiques du chitosane :

- Polyamine cationique ;
- Densité de charge élevée a $\text{pH} < 6.5$;
- Adhère à des surfaces chargées négativement ;
- Forme des gels avec les polyanions ;
- Large intervalle de masse moléculaire ;
- Peut former des solutions de différentes viscosités ;
- Contient des groupements réactifs d'amines et d'hydroxydes.

Principales propriétés biologiques du chitosane :

- Polymère d'origine naturelle ;
- Biodégradable ;
- Non toxique ;
- Anti cancérigène.

4.6 Applications de la chitine et du chitosane :

La faible cristallinité du chitosane par rapport à celle de la chitine explique pourquoi il existe des applications beaucoup plus vastes que celles de la chitine surtout qu'il est essentiellement extrait à partir de cette dernière. Ainsi la solubilité du chitosane dans des

solutions acides et la présence d'une grande protection des groupements amines le rendent plus réactif et plus susceptible à subir des modifications chimiques.

Les nouvelles recherches sur la chitine/chitosane ont commencé au début des années 1970. Ce qui est le fait que le développement moderne des recherches sur la chitine et le chitosane n'était pas relié à une découverte importante mais avait plutôt pour but de résoudre le problème des grandes quantités de déchets provenant des industries agroalimentaires.

Les principaux pays qui produisent commercialement le chitosane sont l'Inde, le Japon, la Pologne et l'Australie.

Le chitosane était largement utilisé dans les industries, surtout comme flocculant dans la clarification des eaux usées et des boissons, comme agent chélatant des métaux nocifs pour la détoxification des effluents et comme fongicides dans le domaine de l'agriculture. Il aussi utilisé comme un biomatériau grâce à son activité immunostimulante, à ses propriétés anticoagulantes et à son action antibactérienne et antifongique. Les principales applications du chitosane sont résumées sur le tableau ci-dessous.

Tableau 4-2: application du chitosane [50].

Utilisations	Commentaires
Traitement des eaux usées	-agent coagulant et chélatant -réduction des métaux toxiques et radio-isotopes -récupération des métaux réutilisables -agent de déshydratation des boues
Traitement de l'eau potable	-agent coagulant et chélatant -réduction des métaux toxiques -enlèvement du fer et du manganèse des piscines
Agriculture	-contrôle des métaux essentiels à la croissance des plantes

Alimentation	-extraction du fer (catalyseur de l'oxydation es acides gras insaturés, causant des mauvaises odeurs dans les viandes précuites) ; -agent antibactérien.
Domaine biomédical et pharmaceutique	-diminution du taux de cholestérol -accélération de la guérison des immunitaire -agent antibactérien et anti-tumeur -Peau synthétique
Industrie des cosmétiques	-agent hydratant
Photographie	-extraction de l'argent
Industrie textile	-agent de rétention d'eau
Pâtes à papier	-augmentation de la résistance du papier a la déchirure

5 CHAPITRE V :

Méthodologie et description des essais

5.1 Introduction :

Le but de ce chapitre est de décrire les méthodes d'expérimentation, dans l'utilisation des biomatériaux pour le traitement des eaux notamment les eaux usées, expérimentation qui n'a pas pu être réalisée, à cause des conditions sanitaires que traverse notre pays à l'instar de tous les pays du monde, on a été donc contraint de décrire le protocole expérimental, à travers les différents essais qui étaient prévus d'être réalisés.

L'étude expérimentale devait se dérouler au laboratoire dépendant du département de Génie des procédés, de l'université Dr Moulay Tahar de Saida, elle a pour but de déterminer le choix des réactifs et les concentrations optimales nécessaires à une réduction maximale de la turbidité d'une eau usée après une simple décantation.

Pour réaliser cet objectif, le Jar-Test est la technique expérimentale choisie. Il s'agit de faire une comparaison de l'efficacité entre un flocculant industriel et un flocculant d'origine naturelle ou bio-flocculant, extrait de la chitine. Le contrôle du degré de clarification de l'eau se fait à l'aide d'un turbidimètre, afin de permettre le suivi du processus de clarification de l'eau.

5.2 Dispositif expérimental (jar-test) :

Les essais au laboratoire à l'aide d'un jar-test restent jusqu'à ce jour la méthode la plus couramment utilisée pour le choix des réactifs et de leurs concentrations.

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

Une série de béchers sont agités de façon identique. Les réactifs sont d'abord mélangés rapidement durant 4 à 5 minutes puis la floculation est réalisée à vitesse plus lente pendant 10 minutes. Enfin, le mélange est laissé au repos pour assurer la décantation et le surnageant prélevé après 6 minutes, a été apprécié visuellement. De plus, les informations suivantes permettent de préciser certaines manipulations effectuées. Un volume constant de 400-500 ml de surnageant est prélevé suite aux essais de coagulation-décantation dans chacun des béchers. Au moment du prélèvement, les prises d'échantillonnage sont purgées de manière à les libérer de toutes impuretés avant de procéder à l'échantillonnage de l'eau clarifiée. Des mesures de la turbidité, du pH et de la conductivité sont réalisées sur tous les

échantillons avant et après la séquence de coagulation-floculation-décantation afin de faire les différentes comparaisons et interprétations.



Figure 5-1: jar test utilisé dans les essais de coagulation-floculation.

5.3 Extraction du chitosane :

Le chitosane est obtenu par désacétylation de la chitine obtenue, à son tour, à partir de carapaces de crevettes. Plusieurs méthodes sont décrites dans la littérature et dans des articles scientifiques mais, généralement, les principales étapes de ces méthodes sont les mêmes. Les étapes suivies pour l'obtention du chitosane sont présentées ci-après.

Les carapaces sont lavées et traitées pendant 4h avec l'hydroxyde de sodium (10%) dans un bain-marie afin d'éliminer les protéines. Après filtration, le résidu est lavé avec l'eau distillée, puis attaqué avec de l'acide chlorhydrique 2N afin d'éliminer les minéraux, plus particulièrement le calcaire.

Le résidu obtenu est lavé avec de l'eau distillée, l'éthanol et l'éther pour éliminer les pigments et les lipides, puis séché afin d'obtenir la chitine. Au cours de cette série de traitements la couleur des carapaces devient de plus en plus claire. La chitine ainsi préparée est de couleur blanche, et la fraction obtenue représente 60 à 70% en masse de la quantité de carapaces décalcifiées.

Afin de préparer le chitosane à partir de la chitine, cette dernière est traitée avec une solution de Na-OH (50%) qui a pour rôle de désacétyler la chitine conformément à la réaction suivante :



Cette étape est répétée deux fois, pour une durée de 3h chacune et a une température de 100°C, et ce, dans le but d'augmenter le degré de désacétylation. Le chitosane obtenu, de couleur légèrement orangée, représente 85% en masse de produit [40].

Les différentes étapes d'extraction du chitosane à partir de la chitine sont présentées dans la figure (5-2).

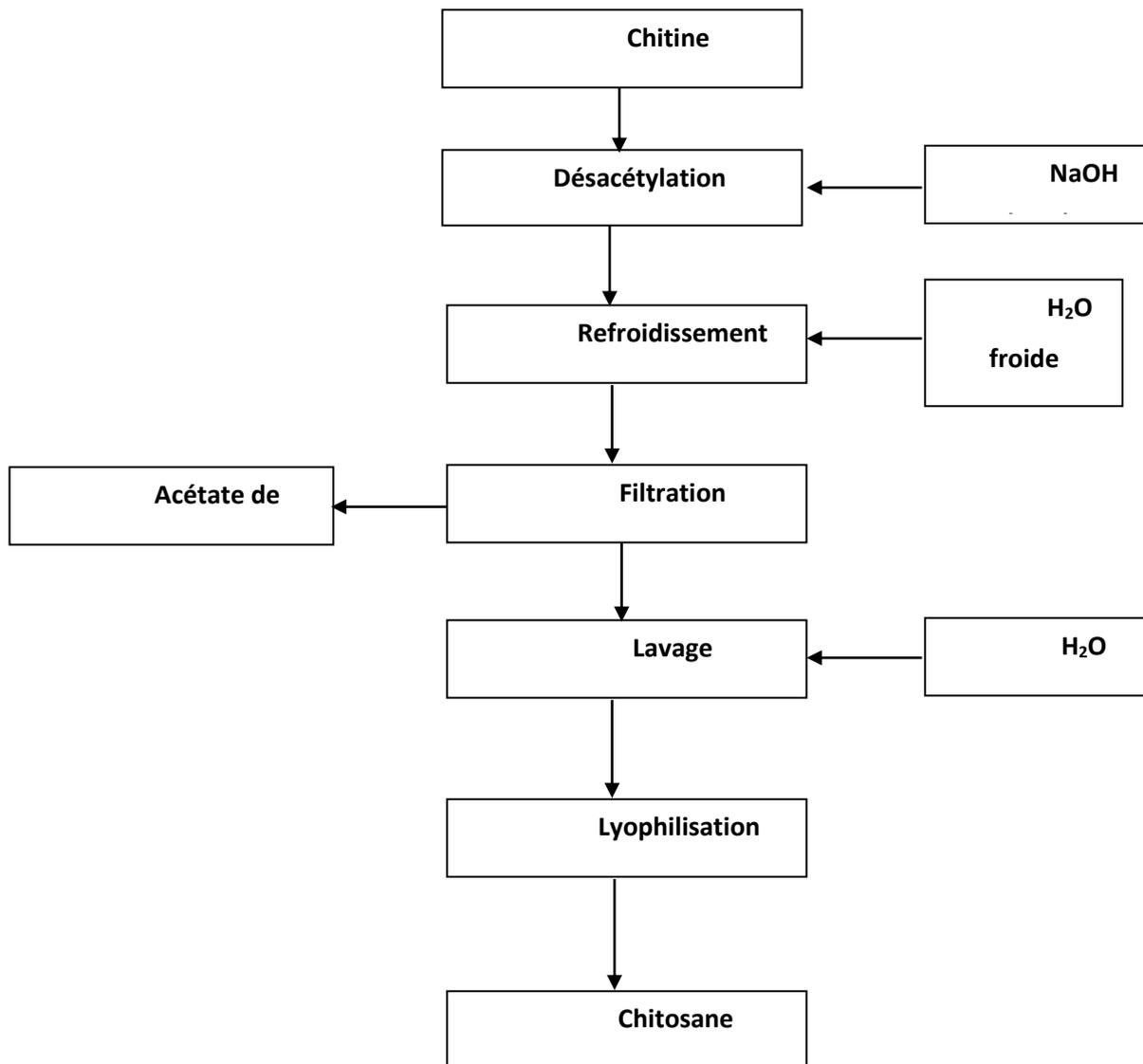


Figure 5-2: extraction du chitosane.

5.4 Protocole expérimental :

Une application du procédé coagulation-floculation était prévue d'être réalisée sur les eaux usées de la STEP de Saida à l'aide d'un Jar-Test, avec 4 béciers d'un litre. On remplit les quatre béciers avec 300 ml d'échantillon à traiter. Puis on plonge les hélices du flocculateur dans les béciers, des doses croissantes de coagulant sont introduites dans les échantillons sous agitation rapide de 150 tours/min pendant 10min, 20min et une heure, et à la fin de l'expérimentation, on détermine les différents paramètres qui permettent d'obtenir l'eau la plus limpide.

La coagulation nécessite une vitesse d'agitation plutôt rapide (afin de bien mélanger l'eau, ainsi les colloïdes se rencontrent et se neutralisent) alors que la floculation-quant à elle-nécessite une vitesse relativement lente (afin de favoriser la rencontre et l'agrégation des colloïdes mais sans détruire les floccs déjà formés).

Lors de l'étape d'agitation lente, les pales tournent 40 à 50 tour/min. Cette phase a une durée de 15 minutes. Les pales d'agitations sont ensuite retirées délicatement de l'eau et on laisse décanter les échantillons pendant 30 minutes jusqu'à 1h. Suite à cette phase de décantation, les floccs sont examinés pendant et après l'agitation. Après décantation, on prélève de chaque bécier un échantillon pour pouvoir mesurer le pH, la température, la turbidité et la conductivité.

Le travail tel que résumé sur le schéma de la figure (5-3) devait être réalisé en étapes successives et complémentaires [50].

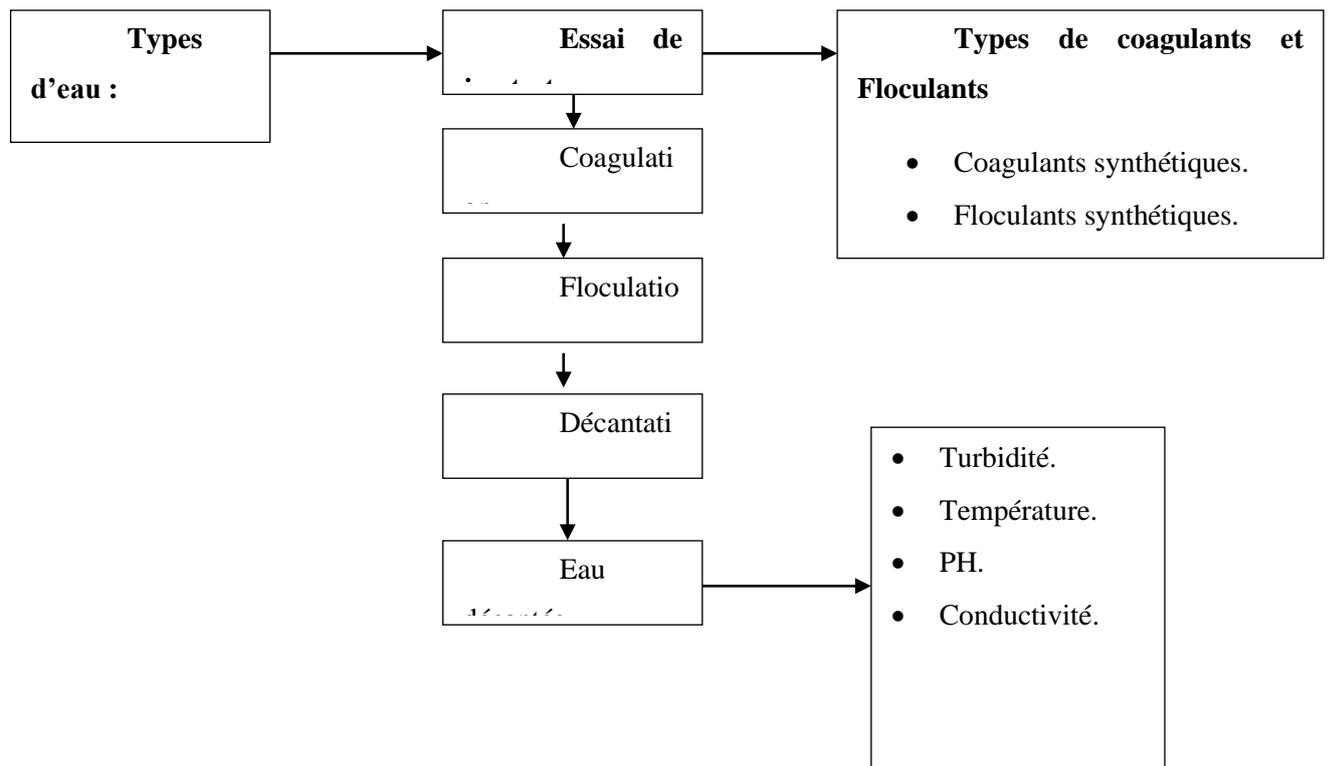


Figure 5-3: schéma expérimental.

5.4.1 Essais de coagulation :

Les expériences réalisées sur Jar-Test, commencent souvent par des essais préliminaires, comme l'essai de coagulation.

Il s'agit de déterminer le coagulant optimum ainsi que sa dose, parmi trois ou quatre utilisés habituellement dans le traitement des eaux usées, nous permettant d'avoir une eau de moindre turbidité, même en l'absence de floculant.

Le coagulant choisi sera celui utilisé pour le reste des essais.

Différentes quantités (0.1g ; 0.2g ; 0.4g ; 0.6g ; 0.8g et 1g) de chaque coagulant synthétiques ($Al_2(SO_4)_3$ et $FeCl_3$) sont introduite dans l'eau à traiter ; on mesure après chaque essai et chaque temps choisi, le pH, la turbidité, la température et la conductivité de l'échantillon.

La quantification de l'efficacité des essais se fait par la détermination du taux de réduction de la turbidité (TRT) qui est défini par la relation suivante :

$$\%TRT = ((\text{Turbidité initiale} - \text{Turbidité finale}) \times 100 / \text{Turbidité initiale}) \dots \dots$$

(3).

Turbidité initiale : Turbidité avant traitement.

Turbidité finale : Turbidité après traitement.

5.4.2 Etude de l'ajout du flocculant :

La première partie de l'essai du traitement de coagulation-floculation étant réalisée, l'ajout du flocculant (communément utilisé dans les stations d'épuration des eaux usées) va constituer la deuxième étape du processus.

Il s'agit de déterminer la concentration optimale du flocculant industrielle utilisé, la dose de coagulant étant fixée, nous permettant d'avoir le taux de réduction de la turbidité maximum, pour avoir une idée sur l'efficacité du produit.

En présence de flocculant et en combinaison avec le coagulant choisi, on opère comme suit ; on commence par l'ajout de coagulant, on maintient une agitation 150tr/min durant 10min pour, puis on ajoute le flocculant dans l'eau usée étudiée à différentes quantités (0.1g ; 0.2g ; 0.4g ; 0.6 g ; 0.8g et 1g) avec une vitesse ralentie 40 à 50t/min pendant 15min, en examinant l'état des floccs pendant et après agitation. On laisse décanter durant 30min, puis on récupère le surnageant pour analyse (mesure de la turbidité, le pH, la température et la conductivité).

A la suite de ces deux essais, la meilleure combinaison coagulant-flocculant est déterminée, elle permet d'assurer une clarification de l'eau usée optimum, donc un taux de réduction de la turbidité maximum.

5.4.3 Etude de l'ajout du bio-flocculant :

Dans cette partie du protocole expérimental, on remplace le flocculant industriel par le bio-flocculant dans notre cas, le chitosane en poudre (à différentes doses) pour nous permettre d'étudier les différents paramètres et surtout le taux de réduction de la turbidité.

L'objectif de cet essai est d'analyser la turbidité de l'eau polluée quand on remplace le flocculant synthétique par le chitosane.

La dernière partie des essais prévus concernaient l'utilisation du chitosane comme coagulant avec un floculant synthétique et voir le comportement de la turbidité dans un premier temps, puis de faire l'essai de coagulation-floculation complètement avec le chitosane, pour voir si le fait d'utiliser un matériau naturel dans toutes les étapes de la coagulation-floculation permettait d'avoir une eau de moindre turbidité donc de bons résultats avec des matériaux naturels exclusivement.

5.5 Conclusion :

Le problème du traitement des eaux, surtout dans sa phase de coagulation/floculation pose pas mal de problèmes relatifs au choix limité des coagulants floculants et en particulier au choix d'un coagulant idéal. Un produit, pour améliorer le processus peut avoir une influence positive ou négative sur d'autres paramètres et générer des conséquences sur la santé ou la pollution de l'environnement.

Du côté de la protection de l'environnement, les boues produites par l'utilisation des sels minéraux contiennent parfois des tonnes élevées de métaux résiduels et nécessitent un traitement spécial ou un enfouisseur.

Afin de produire une eau de meilleure qualité, et dans le cadre d'éviter ou de prévenir les effets négatifs liés à l'utilisation des sels métalliques et des polymères synthétiques dans le traitement des eaux, il est nécessaire de penser au remplacement de ces coagulants conventionnels.

L'utilisation des coagulants naturels pourrait améliorer la qualité des eaux sans toutefois compromettre la santé humaine, ni nuire à l'environnement, la valorisation et l'exploitation des déchets de l'industrie de la pêche serait aussi une mesure de protection de l'environnement aquatique.

5.6 Conclusion générale :

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la réalisation de la thèse de fin d'études d'un Master en Hydraulique, Option : Hydraulique Urbaine.

Son but principal est l'étude de la performance d'un polymère organique naturel ; le chitosane pour la diminution ou l'élimination sous certaines conditions, de la turbidité dans les eaux usées, pouvant provenir de diverses activités domestiques et industrielles.

Le chitosane est le polymère organique naturel le plus abondant dans la nature. Sa charge positive et son arrangement moléculaires lui confèrent des propriétés intéressantes sur le plan de la clarification, son étude s'avère très intéressante.

Le chitosane a été étudié sous différents aspects : son origine, ses caractéristiques physico-chimiques, son mode de préparation, les mécanismes de coagulation et floculation, ses propriétés et ses différentes applications.

Des essais de coagulation-floculation appelés de type « jar-Test » devaient être réalisés en laboratoire, pour tester réellement l'efficacité du chitosane suivant plusieurs possibilités, ils n'ont pas pu être réalisés en raison de la situation sanitaire que traverse notre pays, à l'instar des autres pays de la planète.

En conclusion, nous pensons que notre étude permettra : d'une part, une contribution intéressante dans le domaine de la valorisation et l'exploitation des déchets de l'industrie de la pêche, d'autres part, elle permettra la possibilité d'introduire un nouveau réactif bio dégradable dans le processus de traitement physico-chimique par procédé de coagulation floculation, pouvant remplacer même partiellement, certains coagulants inorganiques, largement appliqués dans le domaine de traitement des eaux et ayant des inconvénients sur l'environnement et en particulier la santé humaine.

6 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- [1].**DJEDDI Hamsa ,2006/2007** : L'utilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestières urbaines, Mémoire de magistère, Université Mentouri Constantine, département des sciences de la nature et de la vie.
- [2].**Bensalem Mohamed Bachir, 2008** : Contribution à l'étude de l'efficacité de l'épuration des eaux usées dans la ville de Sidi Bel Abbés, Mémoire de magister, Université Djilali Liabes Sidi Bel Abbés,
- [3].**Kleche Meriem, 2012-2013** : Utilisation des systèmes Biologiques dans l'épuration des eaux usées, cas de la région d'Annaba. Mémoire de Doctorat en biologie, option : Biologie végétale. Université Badji Mokhtar, Annaba.
- [4].**Ministère des ressources en eau 2006** : Rapport ministériel.
- [5].**Medbouhi Saliha et Chachoua M'hammed, 2016** : Etude comparative entre deux procédés d'épuration le lagunage aéré à Sidi Amer et les boues activées à Hassasna, Mémoire de Master, Wilaya de Saida.
- [6].**Bessedik Madani** : Traitement et épuration de l'eau. Page 255.
- [7].**Mohand Saïd Ouali** : Cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux-office de publication universitaires.
- [8].**Franck Rejsek 2002** : Analyse des eaux-aspect règlementaires et techniques.
- [9].**Soror Wahiba Dekhil,2012** : Traitement des eaux usées urbaines par boues activées au niveau de la ville de Bordj Bou Arreridj en Algérie effectué par la station d'épuration des eaux usées ONA- Université Mohamed El Bachir Elibrahimi - Master de chimie et microbiologie de l'eau.
- [10]. **Walid Rezig, Mohamed Kouidri et Abdelaziz Bendraoua,2014/2015** : Analyse et contrôle des rejet liquides au niveau du complexe GL4/Z-gestion des déchet liquides.
- [11]. **Chikha Belgacem Rachid et Younes Tarek,2014 /2015** : Epuration des eaux usées de la commune de Touggourt par la procèdes de la boue activée, Mémoire Master de fin d'étude, Université Hamma Lakhdar d'El-oued, Faculté des Sciences et Technologie-département d'hydraulique.

- [12]. **Marc stalin et Bachir selmi** : Guide technique de l'assainissement-le moniteur- page69.
- [13]. **Rodier J, 1996** : L'analyse de l'eau. Ed. DOIN, 8ème édition, Paris : 644-1047.
- [14]. **Journal Officiel** de la N° 36 le 17 Jomada Ethania 1430 correspondant au 11 juin 2009, pages 18.
- [15]. **Brault J. L, 1989** : Mémento Technique de l'eau. Ed. Technique et Documentation, Paris : 3- 119.
- [16]. **Fondation nationale de la santé-Brasilia ,2013** : Manual pratique de l'analyse d'eau.
- [17]. **Muret Marty Carole,2001** : Estimation de traitabilité potentiel d'eaux résiduaires industriel par de nouveau paramètre de caractérisation page 47.
- [18]. **Marc stalin et Bachir selmi ,2017** : Guide technique de l'assainissement-le moniteur-5^{ème} édition page70Groupe Moniteur (Éditions du Moniteur), Antony,
- [19]. **Rodier J ,2009** : L'analyse de l'eau. 9ème édition. Dunod Paris.
- [20]. **Meinok F, Stooff H et Kohlschutter H, 1977** : Les eaux résiduaires industrielles. Edition Masson, Paris, 2émé édition.
- [21]. **Louis Schriver Mazzuoli,2012** : La gestion durable de l'eau-ressource. Qualité. Organisation-Dunod.
- [22]. **Mohand Saïd Ouali,2001** : Cours de processus unitaire biologique et traitement des eaux-office des publications universitaires
- [23]. **Marinette,1979** : Utilisation agricole des boues d'origine urbaine Centre national de documentation et d'information sur l'eau, Paris.
- [24]. **Solène Moulin, David Rozen-Rechel S, Milena Stancovic,2012/2013** : Traitement des eaux usées-24 rue Lhomond 75005 Paris.
- [25]. **Degrémont, 1978** : Mémento technique de l'eau. 8ème édition ; tome 2,
- [26]. **Cemagref ,1997** : SATESE, ENSP, Agences de l'Eau Le lagunage naturel. Les leçons tirées de 15 ans de pratique en France. Coédition : Cemagref Éditions, Agence de l'eau Loire Bretagne,
- [27]. **Gaid A, 1984** : Épuration biologique des eaux usées urbaines tome I, édition OPU, Alger.

- [28]. **Procèdes Extensifs des Eaux Usées** : Adaptés aux petites et moyennes collectivités (500-5000 eq-hab.) - Mise en œuvre de la directive du Conseil n° 91/271 du 21 mai 1991 relative au traitement des eaux urbaines résiduaires.
- [29]. **G. Deronzier, J.M. Choubert, 2004** : Traitement du phosphore dans les petites stations d'épuration à boues activées, Document technique fndae n°29 (partie a et b) ; Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche et des affaires rurales, Cemagref éditions.
- [30]. **B. Méot, Z. Alamy,1990** : R31 588.les eaux usées urbaines, traitement des rejet urbains, règlement de finition par géo épuration.
- [31]. **Masschelein W.J,1997** : Processus unitaires de traitement de l'eau potable. Edition Cebedoc Editeur. Technique et Doc, Lavoisier.
- [32]. **Boursalil,2011** : Mémoire d'ingénieur d'états en géologie, Etude expérimentale de la coagulation-floculation par le sulfate ferrique et le chlorure ferrique des matières en suspension ; Département de science de la terre de l'univers ; Université Abou Beker Belkaid, Tlemcen,
- [33]. **Cadot G. 2005, 005** : Génie de l'environnement ; les traitements ; les traitements de l'eau procèdent physico-chimiques et biologique cours et problèmes résolus, Edition Ellipse, février.
- [34]. **Buffle J. and Newman M,1992**: The use of filtration and ultrafiltration for size fractionation of aquatic particles, colloids, and macromolecules. In Buffle J. and van Leuween, Environmental particles Lewis Publishers. (1992) 171-230.
- [35]. **Tayssir Hamieh.2018** : Théorie de la double couche électrique et stabilité colloïdale/Cours destiné aux étudiants de Master M2R de Chimie-Physique, Matériaux et Catalyse/Université Libanaise, Beyrouth, Liban.
- [36]. **LaKhdariB,2011** : Effet de la coagulation floculation sur la qualité des eaux épurées de la STEP de Ain el Houtz ; faculté des Sciences, Mémoire de magister en chimie Inorganique, Université Abou Beker Belkaid, Tlemcen.
- [37]. **Van de Ven, T. G. M, 1989** : Colloidal hydrodynamics. London : Academic Press.
- [38]. **Verwey, E. and Overbeek, J,1948**: Theory of the stability of lyophobic colloids, Elsevier, Amsterdam, New York.

- [39]. **Mlle Cherifa Lamia,2011/2012** : L'influence de la coagulation-floculation et décantation sur le pré traitement des eaux saumâtres, Mémoire de Master, Univ de Tlemcen.
- [40]. **Edeline,1992** : Epuration physico-chimique des eaux, 2ème édition, Ed. Cebedoc, France.
- [41]. **Elias Assaad ,2006** : Etude du processus de coagulation-floculation du système montmorillonite-chitosane dans l'élimination de métaux de transition, Mémoire de Master.
- [42]. **Theodoro, J. P., Lenz, G. F., Zara, R. F., & Bergamasco, R,2013:** Coagulants and natural polymers: perspectives for the treatment of water. *Plastic and Polymer Technology*, 2(3), 55-62.
- [43]. **Colin L et all,2008** : Évaluation d'un procédé de coagulation- floculation au chitosane pour l'enlèvement du phosphore dans les effluents piscicoles.
- [44]. **Royaume du Maroc Mars,1998** : Office national de l'eau potable, traitement de l'eau potable, coagulation-floculation.
- [45]. **Beaudry J-P** : Traitement des eaux. Edition le Griffon d'argile inc. Collège Saint- Laurent, pp : 42-73, 198.
- [46]. **Bouazza I,2011** : l'Effet de la coagulation-floculation sur la qualité des eaux épurées de la STEP de Ain El Houtz, Mémoire de Master, Université Abou Beker Belkaid.
- [47]. **Thomas D.N, Judd S.J., Fawcett N,1999:** Flocculation modelling: à review. *Wat. RES.* 7, p. 1579-1592
- [48]. **Lefebvre e., Legube B ,1989** : Coagulation par Fe (III) de substances humiques extraites d'eaux de surface : effet du pH et de la concentration en substances humiques, *Wat. RES.*, Vol 24, No 5, pp. 591-606,
- [49]. **J. P. Beaudry, 1984** : Traitement des eaux, Ed. Le Griff ont d'argile INC, Canada. P27-41.
- [50]. **Phocas Ndikubwayo ,2007** : Utilisation du chitosane et de l'alun dans le traitement des eaux potable, Mémoire présente en vue de l'obtention du grade de maitre ès sciences appliques/ /Université de Sherbrooke-Département de génie civil-Canada.
- [51]. **Gidas Marie-Béatrice** : Etude de la performance du chitosane comme coagulant pour l'enlèvement du cuivre et de la turbidité des eaux usées, Mémoire

de Maîtrise ès sciences appliquées, Université de Montréal-Ecole Polytechnique de Montréal.

- [52]. **Murcott, S. et Harlman, D.R.F, 1991:** Chitosane, Metal salt, et Polyacrylamide Jar-Tests at the Gloucester Water Pollution Control Facility. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge (USA), Rapport Technique, 75p.
- [53]. **Murcott, S. et Harlman, D.R.F,1992:** Jar-Tests of the Natural polymer chitosane. American water works association.
- [54]. **Murcott, S. et Harlman, D.R.F,1993:** MIT Jar-Tests of Wachusett Reservoir Water Using the Natural Polymer Chitosane with Bentonite. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge (USA), Report Technology, 47p.
- [55]. **Kawamura, S,1991:** Effectiveness of Natural Polyelectrolytes in Water Treatment. Journal of the American Water Works Association.88-91.
- [56]. **Johnson R.A. et Gallanger, S.M,1984:** Use of Coagulant to Treat Seafood Processing Wastewater. Journal of the Water Pollution Control Fédération 56,970-976.
- [57]. **La Voie,1988 :** Traitement tertiaire des eaux usées par *scenedesmus obliquus*. Thèse de doctorat, Université Laval.
- [58]. **Milazzo, 1982 ;** Prospective di utilizzazione del chitosano, come flocculante negli effluent industriali della lavorazione dei gamberi. Rivista di Merceologia 21(4),349-354.
- [59]. **Siervers, DM, Jenner, MW et Hanna, M,1994:** Treatment of dilute manure wastewaters by chemical coagulation, transaction of the American society of agricultural engineers,37(2),597-601.
- [60]. **Wada S, Ichikawa, H et Tatsumai, K,1995.** Removal of phenols and aromatic amines from wastewater by a combination treatment with tyrosinase and a coagulant, biotechnology et bioengineering,45,394-309.
- [61]. **Rapport Commandite par la Sodium (Société de développement de l'industrie, maricoleinc.), Février,2008 :** Évaluation d'un procédé de coagulation-floculation au chitosane pour, l'enlèvement du phosphore dans les effluents piscicoles.

[62]. Fiche Technique sur l'assainissement Collectif N°3, la filière disque biologique- conseil général de seine et marn.

