

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA

RECHERCHE SCIENTIFIQUE

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE CHIMIE

N°:



DOMAINE : SCIENCE DE LA MATIERE

SPECIALITE : CHIMIE DE L'ENVIRONNEMENT

Mémoire présenté pour l'obtention

Du diplôme de Master Académique

Par :

BOUZIDI IKRAM

AMMARI CHAIMA

Intitulé

**Traitement des eaux usées de la station d'épuration
de SIDI AISSA par un coagulant (PSAS)**

Soutenu devant le jury composé de :

Pr. BENYAHIA AZZEDINE

Université Mohamed Boudiaf M'sila

Président

Dr. NOUFEL KAMEL

Université Mohamed Boudiaf M'sila

Rapporteur

Dr. DEGHEFEL NADIR

Université Mohamed Boudiaf M'sila

Examineur

Année universitaire : 2022/2023

REMERCIEMENTS

Au nom d'Allah le clément et le miséricordieux Merci à dieu le tout puissant de m'avoir donné la force et la volonté pour mener à bien ce modeste travail. Mes remerciements vont particulièrement à l'adresse de mon encadrant de mémoire NOUFEL Kamel, pour son soutien et ses conseils, ses critiques constructives.

Nos remerciements s'étendent aux membres de jury de m'avoir accepté de lire et d'évaluer ce modeste travail.

Nos remerciements les plus profondes et mes sincères gratitude à tous nos enseignants, qui ont réussi à nous inspirer, à nous donner une confiance en soi, qui ont illuminé notre parcours intellectuel pendant notre formation.

Nôtres remerciements tous les ingénieurs du laboratoire de chimie.

Enfin, Nous remercions tous les employés de STEP de SIDI AISSA, en particulier « Bouguarne Yacine, Belmadi Gamera, Tebbakh Fatma Zohra, Merabte Fouade, Chakar Abdenour ».

Merci

Graduation



Dédicace

Merci ALLAH de m'avoir donné la force et la patience afin d'atteindre mon objectif tant recherché.

Je dédie ce mémoire à mon père BOUZIDI ISSA, mon soutien qui ne se lasse ni ne s'incline et à ma mère BOUTI SAKHERIA, source d'amour de tendresse et force.

Ma vie et partenaire de vie NASRI SALAH AL-DIN et aussi ma deuxième maman FIFI,

Ma sœur CHOROUKE et son mari HAMOUDI, la nana YAZAN et ma sœur MASOUDA et mon frère AHMED.

A ma binôme «CHAIMA»

A toute ma grande famille (BOUZIDI et BOUTI),

Ainsi qu'à tous mes collègues et à tous ceux qui me connaissent

A tous mes ami(e)s qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.

A tous ceux que j'aime.

IKRAM



Graduation

Dédicace



Je dédie ce modeste travail à mes chers parents.

A ma mère qui mise au monde, qui s'est sacrifiée pour mon Bonheur et
ma réussite.

A mon cher père, mon premier et grand professeur la personne qui m'a
appris à apprécier la vie, mon grand appui.

A mes sœurs : « Karima, Fouzia, Noura et Asma », toutes belles.

Elles m'ont encouragé soutenu, aidé épargné toute fatigue pendant
Toute ma scolarité, a leurs époux et enfants.

A mes frères : « Toufik, Salah, Yahia, Houssam et Oussama, qui m'ont
Motivé et cru en moi, à leurs épouses et enfants.

A ma binôme «Ikram».

Et surtout à mes amies, qui sont mes sœurs.

Je citerai : « Amina, Yasmine, Bouchra, Ahlam, Chaima
Marwa, Chahra, Kholoud, Wafaa, Zahra ».

Je ne pourrai oublier enfin le soutien moral de toute ma famille.

Je les en remercie de tout cœur.

Je le remercie aussi la famille Rekhila.

Chaima



Sommaire

Résumé.....	i
Liste des abréviations.....	ii
Liste des figures	iii
Listes des tableaux	v
Introduction générale	1

Chapitre I : Généralité sur les eaux usées

Introduction :.....	3
I.1. Définition des eaux usées :.....	3
I.2. Origine des eaux usées :	3
I.2.1. Les eaux domestiques :	3
I.2.2. Les eaux d'établissement industriels ; communaux ou artisanaux :	3
I.2.3. Les eaux d'agriculture :.....	4
I.2.4. Les eaux d'origine naturelle :.....	4
I.3. Système d'assainissement :	4
I.3.1. Le Système unitaire :.....	4
I.3.2. Le système séparatif :.....	4
I.4. Pollution de l'eau :.....	4
I.4.1. Les types de pollution :	5
I.4.2. Définition de polluant :	6
I.4.3. Les types de polluant :.....	6
I.5. Impact sur l'environnement et la santé humaine :.....	8
I.6. Caractéristique des eaux usées :	9
I.6.1. Paramètre organoleptique :.....	9
I.6.2. Paramètre physique :	9
I.6.3. Paramètres chimiques :.....	10

I.6.4.	Paramètre bactériologique :.....	14
I.7.	Les stations d'épurations des eaux usées :	15
I.7.1.	Définition de La station d'épuration des eaux usées :.....	15
I.7.2.	Le rôle de la station épuration :.....	16
I.7.3.	Procédé d'épuration des eaux usées :.....	16
I.8.	Phosphatation des eaux usées :.....	21
I.8.1.	Le phosphore :.....	21
I.8.2.	L'eutrophisation :	22
I.8.3.	Déphosphatation :.....	25
Chapitre II. Procédé de traitement des eaux usées par (coagulation-floculation).		
II.1.	Coagulation et floculation :	28
II.1.1.	Généralités (définition de coagulation et floculation) :.....	28
II.1.2.	Définition de coagulant :.....	29
II.2.	Caractéristiques des particules à éliminer :	30
II.2.1.	Généralités :.....	30
II.2.2.	Matières en suspension et colloïdales :	30
II.2.3.	Etat de surface des colloïdes :	31
II.3.	la potentielle thermodynamique ou potentiel Stern :.....	32
II.4.	La potentielle électrocinétique Zêta :	32
II.5.	Le procédé de coagulation floculation:	33
II.5.1.	Définition de coagulation :.....	33
II.5.2.	Le but de coagulation :	33
II.5.3.	Etape de la coagulation :	34
II.5.4.	Paramètres influençant le processus de coagulation :	34
II.5.5.	Le processus de coagulation et de floculation :.....	34
II.6.	Définition de la floculation :.....	35
II.6.1.	Le processus de floculation :.....	35

II.7. La décantation :	37
------------------------------	----

Chapitre III: méthodes et théchniques expérimentale

III.1. Situation de station d'épuration de SIDI-AISSA :	39
III.2. Procédés d'épuration des eaux usées :	40
III.2.1. Prétraitement :	40
III.2.2. Traitement biologique (bassin biologique) :	41
III.2.3. Décanteurs secondaires :	42
III.2.4. Traitement tertiaire (la chloration) :	42
III.2.5. Traitement des boues :	42
III.3. Les appareils d'expérimentation :	43
III.3.1. Les appareils :	43
III.3.2. Matériels et produits :	44
III.3.3. Procédure expérimentale :	45
III.3.4. Dispositifs expérimentaux :	45
III.3.4.1. Jar-test:	46
III.3.4.2. Le potentiel hydrogène (Ph):	47
III.3.4.3. La turbidité:	48
III.3.4.4. La conductivité:	49
III.3.4.5. L'absorbance:	50
III.3.4.6. Les matières en suspension:	51

Chapitre IV : Résultats expérimentaux et discussions

IV.1. Échantillonnage et prélèvement Des échantillons :	54
IV.2. Description des tests de floculation :	55
IV.2.1. Préparation des coagulants :	55
IV.2.2. L'essai de Jar-Test :	55
IV.2.3. Détermination de la concentration optimale des coagulants :	56
IV.3. Etude cinétique du coagulant :	56

IV.3.1.	Effet de la concentration du coagulant sur la coagulation :.....	56
IV.3.2.	Effet de la dose de PAC sur le pH :.....	56
IV.3.3.	Effet de la dose de PSAS sur La conductivité :.....	58
IV.3.4.	Effet de la dose de PSAS sur turbidité :	58
IV.3.5.	Effet de la dose de PAC sur la matière en suspension MES:.....	59
IV.3.6.	Effet de la dose de PSAS sur l'UV254 nm :.....	61
IV.3.7.	Effet de la dose de PSAS sur La relation entre la matière en suspension et la turbidité : 62	
IV.4.	Elimination de phosphore par coagulation :.....	64
IV.5.	Dosage des phosphates :.....	64
IV.5.1.	Préparions de la solution mère de phosphate :	64
IV.5.2.	Principe de dosage :.....	64
IV.5.3.	Préparation des solutions étalons:.....	65
IV.5.3.1.	Effet de la dose du coagulant sur la déphosphatation:.....	66
IV.5.3.2.	Effet de Ph sur la déphosphatation:.....	67
IV.5.3.3.	Effet du temps de la décantation sur la déphosphatation:.....	68
	Conclusion générale	70
	Références bibliographiques	72

ملخص:

الغرض من هذا العمل هو فصل وإزالة الجزيئات المعلقة في الماء المعالج من محطة التطهير لسيدي عيسى بالمسيلة من خلال عملية التخثر والتكتل يتعلق هذا العمل بتعريف و أصل مياه الصرف الصحي و خصائصه و ظاهرة التلوث و أنواعها.

شرح طرق و مراحل معالجة مياه المستعملة في محطة معالجة و تطهير المياه المستعملة لسيدي عيسى دراسة عملية التخثر - التكتل باستعمال المخثر (PSAS) و التعرف على تأثير المعايير الآتية على الجرعة المثلى (الأس الهيدروجيني , الناقلية , العكارة , المواد العالقة , فسفور , والامتصاصية)

Abstract

The goal of this work is to separate and remove the suspended particles from the SIDI AISSA treatment water using the coagulation-flotation method. This work examines the definition, source, characteristics, and type of pollution in the used waters. Explanation of the procedures and steps involved in treating the water used in the city of M'SILA's SIDI AISSA water purification facility. Study the coagulation-flotation process (coagulating PSAS) using a jar-test and the effects of the parameters (pH, conductivity, turbidity, MES, absorbance, and phosphorus). Depending on the ideal dose. Presentation of the findings and debate.

Résumé

Le but de ce travaille est séparer et d'éliminer les particules en suspension dans l'eau à traiter de SIDI AISSA par le procédé coagulation - floculation. Ce travaille concerne la définition et l'origine des eaux usées, ses caractéristique et leur type des pollutions. Explication des méthodes et étapes des traitements des eaux usées dans la station d'épuration de SIDI AISSA de la ville de M'SILA. Etude le procédé de coagulation - floculation (coagulant PSAS) à l'aide de jar-test et les effets des paramètres (pH- conductivité- turbidité - MES- absorbance - phosphore) en fonction de la dose optimale. Une présentation des résultats et des discussions.

Liste des abréviations

CF	Les coliformes fécaux
CT	Les coliformes totaux
DBO	Domaine biologique en oxygène
DCO	Domaine chimique en oxygène
FTU	Unité de turbidité des formeszine
MES	Matière en suspension
MEV	Matière volatile en suspension
MMS	Matière minérale en suspension
N₂	L'azote
NO³⁻	Nitrate
NO₂	Nitrite
NH₄⁺	L'azote ammoniacal
NTU	Unité de turbidité néphéométrique
ONA	Organisation Nationale de l'Assainissement
pH	Le potentielle d'hydrogène
PSAS	Poly Silicate d'Aluminium de Sulfate
SF	Les streptocoques fécaux
STEP	Station d'épuration

Liste des figures

Figure 1. Pollution diffuses.	5
Figure 2. station d'épuration.	15
Figure 3. Prétraitement.	17
Figure 4. Traitement biologique dans un bassin de décantation.	18
Figure 5. Schéma d'un traitement par boues activées.	20
Figure 6. Schéma de station d'épuration.	Erreur ! Signet non défini.
Figure 7. Filière d'épuration.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 8. Le phénomène d'eutrophisation.....	23
Figure 9. Présentation schématique du phénomène d'eutrophisation	24
Figure 10. <i>phénomène de coagulation-floculation chimique</i>	28
Figure 11. Représentation schématique de la fabrication du PASS	29
Figure 12. nature et taille des particules colloïdales dans l'environnement.....	31
Figure 13. Représentation schématique de la double couche.....	32
Figure 14. Schéma de la double couche et du potentiel Zêta.	33
Figure 15. Processus de coagulation floculation	35
Figure 16. Différents phénomènes de coagulation-floculation produits par un polymère.....	36
Figure 17. plan de situation de STEP de SIDI-AISSA.....	39
Figure 18. Dégrillage de STEP de « SIDI AISSA ».	40
Figure 19. prétraitement de STEP de « SIDI AISSA ».	40
Figure 20. traitement biologique de STEP de « SIDI AISSA ».	41
Figure 21. décanteurs secondaires.....	42
Figure 22. Lits de séchage de STEP de SIDI AISSA.....	43
Figure 23. Jar-test.	46
Figure 24. pH-mètre.	47
Figure 25. Turbidimètre.	48

Figure 26. Conductimètre.....	49
Figure 27. Spectrophotomètre UV-Visible.	50
Figure 28. les matières en suspension (MES).	52
Figure 29. Préparation de coagulant.....	55
Figure 30. Variation de pH en fonction de la dose de coagulant (PSAS).....	57
Figure 31. Variation de conductivité en fonction de la dose de coagulant (PSAS).....	58
Figure 32. Variation de la turbidité en fonction de la dose de coagulant (PSAS).....	59
Figure 33. Variation de la matière en suspension(MES) en fonction de la dose de coagulant (PSAS).....	60
Figure 34. Variation de l'UV254 nm en fonction de la dose de coagulant (PSAS).....	61
Figure 35. variation de la turbidité en fonction de la matière en suspension par coagulant (PSAS)	63
Figure 36. Courbe d'étalonnage du phosphore	65
Figure 37. variation de phosphore en fonction de la dose (PSAS).....	66
Figure 38. Variation de taux d'abattement des Phosphores (p) en fonction de pH.....	67
Figure 39. Variation de taux d'abattement des Phosphores (p) en fonction de la dose de coagulant.	68

Listes des tableaux

Tableau 1. seuil de toxicité des polluants organique :	6
Tableau 2. seuil de toxicité des polluants minéraux:	8
Tableau 3. les appareils importants utilisés dans cette recherche :.....	44
Tableau 4. Classe de turbidités usuelles (NTU, nephelonic turbidity unit) :.....	48
Tableau 5. Caréristiques des échantillons utilisées:.....	54

Introduction générale

Introduction générale

L'eau est un Élément nécessaire et irremplaçable, la disponibilité d'une eau de bonne qualité est essentielle pour prévenir les maladies et améliorer la qualité de vie. Actuellement, l'Algérie connaît une situation où les besoins en eau augmentent alors que les ressources disponibles se raréfient. De ce fait, la perte de l'eau non utilisée crée un problème qui se manifeste par un déséquilibre d'une part et par la non-récupération de l'eau d'autre part [1].

Les eaux usées peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux micro-organismes pathogènes, menaçant la qualité de l'environnement dans son ensemble. Les eaux usées ne peuvent pas être rejetées telles quelles, c'est pourquoi elles doivent être traitées [2].

Pour réduire cette pollution on réalise les stations d'épurations des eaux usées ; L'efficacité d'une station d'épuration des eaux usées se mesure classiquement par la qualité de ses rejets dans les milieux aquatiques.

En ce qui concerne la charge polluante et le bon fonctionnement des ouvrages d'épuration, on a choisi la station d'épuration de SIDI AISSA comme exemple dans le cadre de notre projet de fin d'étude.

Il existe plusieurs méthode et technique de traitements de eaux usées à éliminer la plupart des contaminants. Et parmi ces technique se trouve le procédé coagulation -floculation est le traitement chimique le plus utilisé. L'étude de l'étape de coagulation-floculation se fait en laboratoire, à l'aide l'appareille de Jar-Test.

Nous allons faire une étude de traitement des eaux usées de la STEP de SIDI AISSA par le coagulant PSAS (poly-silicate d'aluminium du sulfate).

Dans ce travaille, l'étude est structure en quatre chapitres:

Chapitre I : généralité sur les eaux usées

Chapitre II : procédé de traitement d'eaux usées par coagulation –floculation

Chapitre III : Méthodes et techniques expérimentales

Chapitre IV : Résultats expérimentaux et discussion

Chapitre I

Généralité sur les eaux usées

Introduction :

Les eaux usées contiennent une concentration élevée de substances polluantes dangereuses pour les écosystèmes récepteurs ainsi que pour les organismes vivants qui y sont exposés. Pour remédier à cette pollution funeste l'eau usée doit subir une épuration avant son rejet ou réutilisation.

Traitement des eaux usées il peut avoir plusieurs effets néfastes sur la santé est les milieu récepteurs [4] .

I.1. Définition des eaux usées :

Les eaux usées, également connues sous le nom d'effluents liquides, sont des eaux contaminées qui comprennent toutes les eaux naturelles susceptibles d'être physiquement, chimiquement ou biologiquement polluées. Elles peuvent provenir à la fois de sources industrielles, telles que les installations de production, et de sources non industrielles, comme les parcs. L'eau utilisée englobe toutes les eaux provenant des activités domestiques, agricoles et industrielles, contenant des composés toxiques qui se retrouvent dans les systèmes d'irrigation. Cela inclut également les eaux de pluie chargées en polluants [5]. Environ 99 % de l'eau utilisée se compose d'eau propre, tandis que 1 % contient des solides colloïdaux et des substances dissoutes[6].

I.2. Origine des eaux usées :

Les eaux usées proviennent essentiellement des activités humaines qui sont d'origine ; urbain, industrielles ou agricoles ainsi que des eaux des précipitations[7].

I.2.1. Les eaux domestiques :

Sont constituées d'eaux à usage domestique : eaux ménagères (toilettes, douche, bain, lessive, etc.). Selon le type de réseau séparatif ou pseudo-séparatif ou de système unidirectionnel, des eaux moins polluées pouvant être utilisées pour les toilettes, le drainage, l'eau courante, les caves et les garages s'ajoutent à ces eaux très polluées.

I.2.2. Les eaux d'établissement industriels ; communaux ou artisanaux :

Des activités ménagères (cantine, toilettes, douches, etc.) ou plus précisément de l'eau

Dans le cadre d'activités industrielles, telles que l'eau de refroidissement ou les eaux usées

Généré par le processus utilisé.

I.2.3. Les eaux d'agriculture :

L'agriculture est une cause majeure de pollution diffuse. La pollution agricole comprend la pollution liée aux cultures (pesticides et engrais) et à l'élevage (lisier et eaux usées).

I.2.4. Les eaux d'origine naturelle :

La teneur en eau des substances indésirables est due à l'activité de certains phénomènes naturels (éruptions volcaniques, contact eau minérale, ...)

L'eau entrante et sortante peut contenir de l'eau parasite, la raison en est Défautes dans la structure du réseau (mauvaise conception, mauvaise exécution, collecteurs endommagés). Les eaux parasites par temps sec correspondent à des intrusions d'eau dans la nappe phréatique, tandis que les eaux de pluie parasites ne concernent que des réseaux d'égouts séparés, du fait de raccordements défectueux voire de drainage.

I.3. Système d'assainissement :

C'est un réseau public de collecte et de transport des eaux usées vers une station d'épuration. On distingue :

I.3.1. Le Système unitaire :

La purification de l'eau se fait par un collecteur unique qui recueille l'eau. Les eaux usées et les eaux pluviales. Appelé aussi « tout-à-l'égout » La notion de « tout-à-l'égout » est aujourd'hui à proscrire, car elle suggère que tout et n'importe quoi peut être rejeté dans le réseau d'assainissement unitaire [6].

I.3.2. Le système séparatif :

Cette purification de l'eau se fait à travers deux collecteurs, l'un est réservé aux eaux usées et un autre aux eaux pluviales. Il consiste à spécialiser chaque réseau selon la nature des effluents. Ce système présente, par ailleurs certains avantages : Il permet d'évacuer rapidement et efficacement les eaux les plus polluées, sans aucun contact avec l'extérieur, il assure à la station d'épuration qui traite les eaux collectées un fonctionnement régulier[8].

I.4. Pollution de l'eau :

Le terme "pollution" désigne une modification négative de l'environnement naturel qui se produit entièrement ou partiellement en raison d'effets directs ou indirects qui altèrent la composition physique et chimique de l'environnement, les règles de répartition des flux d'énergie, les niveaux de rayonnement et d'autres facteurs.

L'abondance des espèces vivantes. Par exemple, la pollution aquatique modifie le caractère et la qualité de l'eau, la rendant impropre à l'utilisation et perturbant l'écosystème aquatique.

Elle peut s'appliquer aussi bien aux eaux de surface qu'aux eaux souterraines[9].

I.4.1. Les types de pollution :

❖ Pollution ponctuelle :

Une pollution ponctuelle est une pollution provenant d'un site facile à localiser, et peut être par exemple le point de rejet d'un effluent ou une zone contaminée. C'est une source fixe et généralement d'émission polluantes importantes.

Les sources de pollution ponctuelle peuvent être éliminées soit en arrêtant l'apport de polluants ou soit en traitant les eaux polluées avant leur déversement dans les cours d'eau [10].

❖ Pollution diffuse :

Ces pollutions ne sont pas causées par des rejets ponctuels et ne peuvent pas être facilement identifiées. Mais à des rejets issus de toute la surface d'un territoire et transmis à l'environnement de façon indirecte. Les sources diffuses se caractérisent par des apports de substances émises ou un grand nombre de sources de pollution d'émission faible, ou émises par des sources mobiles c'est à dire Caractérisé par différentes voies de transfert (Figure 1). L'évaluation des sources de pollution diffuse est d'autant plus complexe qu'il y a des transformations physiques, chimiques et biologiques des polluants tout au long de leur migration.

La pollution diffuse prise individuellement a souvent peu d'impacts sur l'environnement, la figure 1 [10].



Figure 1. Pollution diffuses.

I.4.2. Définition de polluant :

Les polluants sont des éléments physiques, chimiques ou biologiques qui causent une gêne ou une nuisance dans communauté biologique ou un environnement. Produits contaminés.

Les polluants eux-mêmes ont leurs propres caractéristiques intrinsèques, nous allons donc découvrir les principales propriétés et quantités associées à considérer, la classification des Polluants basée sur la relation propriétés-comportement, et une description du comportement de familles types[11].

I.4.3. Les types de polluant :

a. polluants organiques

Les polluants organiques sont les plus nombreux et les plus dangereux. Certaines de ces substances sont même cancérigènes ou mutagènes, d'où l'importance de les éliminer. Ils peuvent être classés en phénols, hydrocarbures, colorants, détergents et pesticides, formant de loin, la première cause de pollution des ressources en eaux. Ces matières organiques sont notamment issues des effluents domestiques (déjections animales et humaines, graisses, etc.)

Mais également des rejets industriels. Elles provoquent l'appauvrissement en oxygène des milieux aquatiques, avec des effets bien évidents sur la survie de la faune. Ce sont aussi tous les déchets carbonés tels que la cellulose produite par les papeteries, le sucre ou le lactosérum des industries agro-alimentaires. À l'inverse des matières en suspension (MES), elles constituent une nourriture de choix pour les micros organismes de l'eau et provoquent leur prolifération. Les matières organiques se mettent alors à vider le milieu de son oxygène, ce qui s'avère fatal pour la vie aquatique les microorganismes vont le chercher dans les sulfates dissous (SO_2^-), qu'elles réduisent en sulfure, qui se dégage sous forme de sulfure d'hydrogène, engendrant une odeur d'œufs pourris[12].

Le seuil de toxicité de polluants organiques est présenté sur le **tableau1** suivant :

Tableau 1. seuil de toxicité des polluants organique[12] :

Polluants	Procédé aérobie	Nitrification	Procédé Anaérobie
	Valeur limite	En mg/l	
Hydrocarbures	50	50	50
Phénol	50(1000) **	10	*

Chloroforme	20	20	10
Dinitrophénol	5	*	5
Pentachlorophénol	5	*	5
Chlorures	1500	*	*
Nitrites	40	*	*
Sulfites	20	*	*
Ammoniac	1600	*	*
Chlorure deméthylène	50	*	*

(*) : Résultats insuffisants

(**) : Après acclimations des bactéries

b. polluant inorganique :

Les éléments sous forme de traces, présents à l'état solide dans les sols, sont mis en circulation par l'érosion qui les met en solution ou suspension. Le ruissellement sur les surfaces imperméables (sols, chaussée) ainsi que les sources anthropiques s'ajoutent à ces sources naturelles liées à l'érosion. Les métaux lourds sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces: mercure, plomb, cuivre, arsenic, nickel, zinc, cobalt, manganèse. Les plus toxiques d'entre eux sont le plomb, le cadmium et le mercure.

De nombreuses activités industrielles telles l'électronique, les traitements de surface, l'industrie chimique, utilisent des métaux d'où la possibilité de rejets dans l'environnement. Généralement, l'implantation d'unités industrielles privilégie les sites à proximité des fleuves pour le transport de matières premières, pour l'alimentation en eau de refroidissement des installations et aussi pour les possibilités de rejets des effluents industriels. En effet l'eau a longtemps été l'exutoire qui permettait d'évacuer ces déchets, sans respect des normes. A titre indicatif le **tableau 2** suivant présente le seuil de toxicité des polluants minéraux [12].

Tableau 2. seuil de toxicité des polluants minéraux:

Polluants	Procédés aérobies		Procédé anaérobie
	(Valeur limite	Nitrification En mg/l)	
Cuivre	2	1	1
Zinc	5	0.5	5
Plomb	1	0.5	5
Chrome	5	2	5
Nichel	1	0.5	2
Cadmium	0.2	0.5	*
Sulfures	20(50) **	*	100
Cyanures	1(50) **	*	*

(*) : Résultats insuffisants

(**) : Après acclimations des bactéries.

I.5. Impact sur l'environnement et la santé humaine :

- **L'impact sur la santé :**

L'eau est un élément indispensable à la vie humaine. L'insuffisance ou la mauvaise qualité de l'eau est à l'origine de nombreuses maladies dans le monde, notamment dans les pays en développement ou 80% des maladies sont dues à l'eau).

Les maladies hydriques peuvent être classées selon six catégories différentes :

- Maladies transmises par l'eau (parasites, bactéries, virus) ;
- Infections de la peau et des yeux, dues au manque d'eau ;
- Maladies causées par un organisme aquatique invertébré ;
- Maladies causées par un insecte fourmillant à proximité de l'eau[13].

- **L'impact sur l'environnement :**

- Augmente la présence d'azote et de phosphore, entraînant une eutrophisation qui perturbe le processus respiratoire des milieux aquatiques (poissons, crustacés...).
- La toxicité des métaux traces tels que le mercure et l'arsenic, même à faible concentration, perturbe les fonctions physiologiques (nutrition, respiration et reproduction).
- Les contaminants migrent des eaux usées vers les eaux souterraines en raison de l'infiltration dans le sol [14].

I.6. Caractéristique des eaux usées :

Les caractéristique ou les propriétés des eaux usées peuvent être classifiées suivant :

I.6.1. Paramètre organoleptique :

I.6.1.1. La couleur :

La couleur des eaux usées résiduelles industrielles est en général grise, signe de présence de matières organiques dissoutes, du fer ferrique précipité à l'état d'hydroxyde, du fer ferreux lié à des complexes organiques et de divers colloïdes[15].

I.6.1.2. L'odeur :

Les eaux usées résiduelles industrielles se caractérisent par une odeur. Toute odeur est pollution qui est due à la présence de matières organiques en décomposition[15]

I.6.2. Paramètre physique :

I.6.2.1. La température :

Il joue un rôle important dans la solubilité des sels, en particulier des gaz (en particulier O₂) dans l'eau, ainsi que dans la détermination du pH et des vitesses de réaction chimique. La température est également un facteur physiologique qui affecte la croissance et le métabolisme des micro-organismes vivants dans l'eau[16].

I.6.2.2. Turbidité :

La turbidité est inversement proportionnelle à la clarté de l'eau, c'est de loin le paramètre de pollution révélateur des matières colloïdales organiques ou minérales en suspension dans les eaux usées. Elle varie en fonction des matières en suspension (MES) présentes dans l'eau[17].

I.6.2.3. Matière en suspension (MES) :

Ce paramètre englobe tous les éléments en suspension dans l'eau dont leur taille permet leur rétention dans le filtre d'une porosité donnée ou bien leur rassemblement, sous forme de culot, par centrifugation. Il n'existe pas de relation générale entre turbidité et MES, mais une telle corrélation peut être établie empiriquement selon chaque type d'eau.

I.6.2.4. Matière volatile en suspension (MEV) :

Elles sont mesurées par calcination à 550°C en deux heures et présentent en moyenne 70% des MES.

I.6.2.5. Matière minérale en suspension (MMS) :

Elles représentent la différence entre les matières en suspension (MES) et les matières volatiles en suspension (MVS) et correspondent à la présence de sel, et de silice.

I.6.2.6. Les matières décantables et non décantables :

On distingue les fractions qui décantent en un temps donné (2 heures) suivant les conditions opératoires, et les matières non décantables qui restent dans l'eau et qui vont donc être dirigées vers les procédés biologiques[18].

I.6.2.7. La conductivité :

La conductivité du courant dans une solution résulte du déplacement de particule chargée électriquement (les ions). La conductivité d'une solution est fonction de la concentration de la valence et de la mobilité des ions[19].

I.6.3. Paramètres chimiques :**I.6.3.1. Le potentielle d'hydrogène (pH) :**

Les organismes sont très sensibles aux variations du pH, et un développement correct de la faune et de la flore aquatique n'est possible que si sa valeur est comprise entre 6.5 et 8.5.

L'influence du pH se fait également ressentir par le rôle qu'il exerce sur les autres éléments comme les ions des métaux dont il peut diminuer ou augmenter leur mobilité en solution biodisponible et donc leur toxicité. Le pH joue un rôle important dans l'épuration d'un effluent et le développement bactérien[20].

La nitrification optimale ne se fait qu'à des valeurs de pH comprises entre 7.5 et 9. La mesure électrique quoique délicate peut seul donner une valeur exacte car elle est indépendante du

potentiel d'oxydoréduction, de la couleur du milieu, de la turbidité et des matières colloïdales [8].

I.6.3.2. Domaine chimique en oxygène (DCO) :

La demande chimique en oxygène est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau et oxydable dans des conditions opératoires bien définies[21]. C'est Plus élevé car il y a des objets oxydables dans le milieu. L'oxygène affecte réellement Toutes les matières organiques biodégradables et non biodégradables. La DCO est mesurée en mg O₂/L[22].

- ✓ DCO = 1.5 à 2 fois DBO pour les eaux usées urbaines ;
- ✓ DCO = 1 à 10 fois DBO pour l'ensemble des eaux résiduaire ;
- ✓ DCO > 2.5 fois DBO pour les eaux usées industrielles[23].

La relation empirique de la matière oxydable en fonction de la DBO₅ et la DCO est donnée par l'équation suivante: $MO = (2 DBO_5 + DCO)/3$.

I.6.3.3. Domaine biologique en oxygène (DBO₅) :

Il correspond à la quantité d'oxygène nécessaire à la décomposition oxydative et

Désigne les bactéries aérobies et les eaux usées organiques. Cette oxydation se produit dans Deux étapes :

- ✓ Oxydation des composés de carbone, phénomène qui à 20°C, se trouve pratiquement terminer en 20 jours ;
- ✓ Oxydation des combinaisons comprenant de l'azote, réaction qui ne s'amorce qu'au bout d'une dizaine de jour.

La DBO₅ représente la quantité d'oxygène consommée par les bactéries et les échantillons préalablement inoculés ont été incubés pendant 5 jours à 20°C dans l'obscurité, temps qui assure l'oxydation par voie aérobie. Pour la mesure, on prend comme référence la quantité d'oxygène consommée au bout de 5 jours ; c'est la DBO₅. [23]

I.6.3.4. L'oxygène dissous :

La concentration en oxygène dissous est un paramètre essentiel dans le maintien de la vie et donc dans les phénomènes de dégradation de la matière organique et de la photosynthèse. Une eau très aérée est généralement sur saturée en oxygène, alors qu'une eau chargée en matières organiques dégradables par des micro-organismes est sous-saturée.

En effet, la forte présence de matière organique, dans un plan d'eau par exemple,

Permet aux microorganismes de se développer tout en consommant de l'oxygène[24].

I.6.3.5.L'azote(N₂) :

L'azote présent dans l'eau peut avoir un caractère organique ou minéral.

L'azote organique est principalement constitué par des composés tels que

des protéines, des polypeptides, des acides aminés, de l'urée. Le plus souvent

ces produits ne se retrouvent qu'à de très faibles concentration. Quant à l'azote minéral (ammoniaque, nitrates, nitrites), il constitue dans les eaux naturelles la majeure partie de l'azote total ou azote global (N_{gl}).

$$N_{gl} = N_{total} = N_{organique} + N_{minérale} = N_{organique} + N-NH_4^+ + N-NO_2^- + N-NO_3^-$$

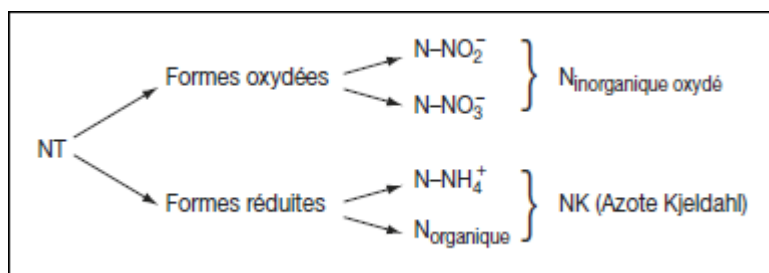
-Les méthodes développées à ce jour ne permettent pas de déterminer Directement et spécifiquement l'azote organique présent dans les eaux.

I.6.3.6.Nitrate (NO³⁻):

Les nitrates (ou azote nitrique) représentent la forme azotée souvent la plus Présente dans les eaux naturelles. Les nitrates constituent la composante Principale de l'azote inorganique (N_{inorganique}) ou minéral, lui-même inclus Majoritairement dans l'azote global (N_g) ou azote total (N_t) avec une Autre composante, l'azote organique (N_{organique}).

$$N_{inorganique} = N-NH_4^+ + N-NO_3^- + N-NO_2^- = N_t - N_{organique}$$

Une autre classification des formes d'azote consiste à différencier les formes oxydées (N-NO³⁻ et N-NO²⁻) des formes réduites (N-NH⁴⁺ et N_{organique}) .



I.6.3.7. Nitrite (NO_2) :

Les nitrites sont considérées comme polluants très nuisibles à la santé de l'homme et aux animaux (le taux de NO_2 devient nocif quand il dépasse 0.5 mg/l). Ce taux doit être contrôlé régulièrement. Un taux important survient en générale lorsque l'eau est surchargée en matière organique, et que les bactéries ne sont pas suffisantes pour les transformer en nitrates. Les nitrites sont considérées comme polluants très nuisibles à la santé de l'homme et aux animaux (le taux de NO_2 devient nocif quand il dépasse 0.5 mg/l). Ce taux doit être contrôlé régulièrement. Un taux important survient en générale lorsque l'eau est surchargée en matière organique, et que les bactéries ne sont pas suffisantes pour les transformer en nitrates[25].

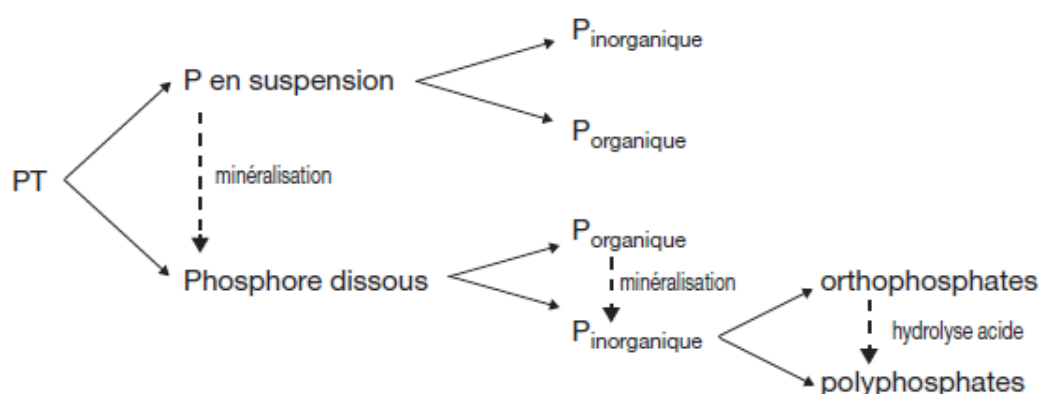
I.6.3.8. L'azote ammoniacal (NH_4^+) :

L'azote est très présent sous forme organique et ammoniacal (NH_4^+) dans les eaux usées urbaines. On note le plus souvent une faible teneur voire une absence de nitrites (NO_2^-) et de nitrates (NO_3^-).

I.6.3.9. Le phosphore :

Le phosphore peut exister dans les eaux à l'état dissous ou en suspension.

Le phosphore total dissous comprend le phosphore organique et le phosphore inorganique qui lui-même inclut les ortho phosphates et les Poly phosphates.



Les composés phosphorés qui, sans hydrolyse ou minéralisation, répondent au test spectrométrique sont considérés comme étant des ortho phosphates, Dont la teneur peut être exprimée en mg/L de P, de PO_4^{3-} ou de P_2O_5

$$1 \text{ mg/L PO}_4^{3-} = 0,747 \text{ mg/L P}_2\text{O}_5 = 0,326 \text{ mg/L P.}$$

Les ortho phosphates ne sont pas (ou rarement) dans les eaux sous forme

PO_4^{3-} qui est la base finale des trois équilibres suivants de l'acide phosphorique :



Aux pH des eaux naturelles (entre 7 et 8) les ortho phosphates sont sous formes H_2PO_4^- et HPO_4^{2-} principalement [26].

I.6.3.10. Biodégradabilité :

La biodégradabilité reflète la capacité des eaux usées à être décomposées ou oxydées par les micro-organismes impliqués dans le processus de purification biologique de l'eau. La biodégradabilité est exprimée par le facteur K, par exemple :

$$k = \text{DCO/DBO}$$

- ❖ Si $k < 1,5$: cela signifie que la matière oxydable est constituée majoritairement de matières hautement biodégradables ;
- ❖ Si $1,5 < K < 2,5$: Cela signifie que la matière oxydable est modérément biodégradable.
- ❖ Si $2,5 < K < 3$: Le matériau oxydable est peu biodégradable.
- ❖ Si $K > 3$: La matière oxydable n'est pas biodégradable[27].

I.6.4. Paramètre bactériologique :

I.6.4.1. Les Coliformes totaux (CT) :

Les bactéries coliformes se trouvent dans les matières fécales mais se développent également dans les milieux naturels et l'eau traitée ne doit pas contenir de bactéries coliformes, mais l'absence de bactéries coliformes ne signifie pas nécessairement que l'eau ne présente pas de risque de pathogène[28].

I.6.4.2. Les Coliformes fécaux (CF) :

Ils sont capables de se développer à 44°C, et permettent l'estimer le risque épidémiologique dans l'eau. Il faut en tout logique tenir compte de la présence plus aux moins importante d'germes pathogènes. La principale bactérie fécale est *Escherichia coli*[28].

I.6.4.3. Les streptocoques fécaux (SF) :

Ces bactéries appartiennent à la famille des Streptococcaceae et sont des cocci typiquement disposés en diplocoques ou en courtes chaînes. Elles ont une valeur de gramme négative, sont asporulantes, immobiles, aérobies facultatives et ont un profil métabolique fermentaire.

Ces micro-organismes vivent dans les animaux à sang chaud et les intestins humains. Leur présence dans l'environnement aquatique indique une contamination fécale de l'eau. Cependant, on peut également trouver des souches de streptocoques fécaux dans le sol, les plantes et les insectes[29].

I.7. Les stations d'épurations des eaux usées :

I.7.1. Définition de La station d'épuration des eaux usées :

L'épuration est un ensemble de techniques qui permettent le traitement des eaux usées des habitants et des industriels raccordés au réseau d'assainissement ainsi que des eaux pluviales, soit pour les recycler dans le milieu naturel, soit pour les transformer en eau potable [25]

La station d'épuration (**figure 2**) permet de traiter les eaux polluées de manière à réduire considérablement leur degré d'altération pour qu'elles puissent être réutilisées ou rejetées dans le milieu récepteur sans impacts [30].



Figure 2. station d'épuration[30].

I.7.2. Le rôle de la station épuration :

Ce rôle peut être résumé dans les points suivants :

- Traiter les eaux.
- Protéger l'environnement.
- Protéger la santé publique.
- Valoriser éventuellement les eaux épurées et les boues issues du traitement

I.7.3. Procédé d'épuration des eaux usées :

Une station d'épuration comprend obligatoirement deux filières de traitement, la filière eau et la filière boue. Les résidus générés de cette dernière, sont traités et déshydratés avant leur évacuation :

I.7.3.1. Prétraitement :

L'objectif principal de cette étape est de séparer de la phase liquide les matières

Solides grossières, parmi les étapes de prétraitements on peut citer : le dégrillage, le dessablage, déshuilage et le dégraissage.

a. Dégrillage :

Il s'agit de retenir les déchets solides qui peuvent arriver à la station d'épuration en faisant passer l'effluent à traiter à travers des grilles espacées de quelques centimètres, afin de protéger les ouvrages en aval.

L'opération peut être plus au moins efficace en fonction de l'écartement des barreaux des grilles, on distingue :

- Dégrillage fin, pour un écartement de 3 à 10 mm,
- Dégrillage moyen, pour un écartement de 10 à 25 mm,
- Pré dégrillages, pour un écartement de 30 à 100 mm[31].

b. Dessablage :

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes les graviers, les sables et les particules minérales plus ou moins fines, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduites, à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion et à éviter de surcharger les stades de traitements suivants L'écoulement de l'eau, à une vitesse réduite, dans un bassin appelé "désableur" entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage. Les sables récupérés, par aspiration, sont

ensuite essorés, puis lavés avant d'être soit envoyés en décharge, soit réutilisés selon la qualité du lavage[32].

c. Déshuilage et dégraissage :

Le déshuilage est une opération de séparation liquide-liquide, alors que le dégraissage est une opération de séparation solide-liquide (à la condition que la température de l'eau soit suffisamment basse, pour permettre le figeage des graisses).

Ces deux procédés visent à éliminer la présence des corps gras dans les eaux usées, qui peuvent gêner l'efficacité du traitement biologique qui intervient en suite **la figure3** suivant [33] :



Figure 3.Prétraitement[33].

I.7.3.2. Traitement primaire :

Le but du traitement primaire est de réduire la quantité de solides en suspension et dissous par des processus physico-chimiques. Des coagulants et des flocculant peuvent être ajoutés à l'eau. De grandes quantités de particules en suspension peuvent alors être récupérées par décantation ou flottation. (Boues physico-chimiques) Cette étape élimine 90% des particules et objets en suspension, ce qui est commun à la plupart des stations d'épuration. Mais tout ce qui est dissous dans l'eau est toujours là : éléments azotés et phosphatés, composés réactifs et particules fines. Ajoutez ensuite un traitement secondaire, voire tertiaire[34].

I.7.3.3. Traitement secondaire (traitement biologique):

Les techniques d'épuration biologiques (**figure 4**) utilisent l'activité des bactéries dans l'eau, qui dégradent la matière organique. Ces techniques peuvent être anaérobies, c'est-à-dire se déroulant en absence d'oxygène, ou aérobies c'est-à-dire nécessitant un apport oxygène.

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

L'élimination des matières organiques implique le recours à des traitements biologiques qui font intervenir des organismes vivants, essentiellement des bactéries [35]

a) Traitements aérobies

Les micro-organismes utilisés exigent un apport permanent d'oxygène.

En milieu est présence d' O_2 , (oxydation) de la matière organique se transforme en CO_2 et CH_4 .

b) Traitements anaérobies

Les traitements anaérobies font appel à des bactéries n'utilisant pas de l'oxygène, en particulier, aux bactéries méthanogènes qui conduisent, comme leur nom l'indique, à la formation du méthane à partir de la matière organique, et à un degré moindre de CO_2 . En milieu est absence d' O_2 de la matière organique à CO_2 et H_2O .



Figure 4. Traitement biologique dans un bassin de décantation [33].

I.7.3.4. Traitement tertiaire :

Les traitements complémentaires appelés aussi tertiaire, avancés, ou de finissage, ce sont des procédés pouvant améliorer les caractéristiques des eaux usées traitées après un traitement biologique ou un traitement physico-chimique.

Ces procédés ont notamment pour but :

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

a. Elimination de l'azote :

Elimination biologique de l'azote fait intervenir 2 réactions principales :

- **La nitrification** : c'est l'oxydation de l'azote ammoniacal en nitrite puis en nitrate.

La réaction de la nitrification : $\text{NH}_4^+ + 2\text{O}_2 \longrightarrow \text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$ (milieu aérobie (présence de l'oxygène)).

- **La dénitrification** : c'est un processus anaérobie (absence de l'oxygène) par lequel les nitrates sont réduits en azote et en oxydes d'azote.

La réaction de la dénitrification : $\text{NO}_3^- \longrightarrow \text{NO}_2^- \longrightarrow \text{NO} \longrightarrow \text{N}_2\text{O} \longrightarrow \text{N}_2$

b. Elimination du phosphore :

Le phosphore se présente lui aussi sous deux formes :

- **Phosphore minérale** : présente principalement sous formes d'ortho phosphate, de phosphures, de diverses combinaisons minérale come le triphosphate de sodium, le pyrophosphate tétra sodique et l'hexa méta phosphate de sodium.
- **Phosphore organique** : présente dans les combinaisons cellulaires organique soit en tant qu'élément de base substance bien déterminées, soit en tant qu'élément mobile du métabolisme cellulaire[36].

c. La désinfection :

La désinfection est une opération d'élimination volontaire et momentanée de certains germes. il sera réalisés par des traitements de désinfection chimique par :

- le chlore : est oxydant puissant qui réagit à la fois avec des molécules réduites et organique.

Les composés utilisés dans le traitement des eaux usées sont : le chlore gazeux (Cl_2), l'hypochlorite de sodium (NaClO) appelé communément « eau javel », l'hypochlorite de calcium ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$).

Il existe aussi des traitements physiques tel que :

- les rayons ultraviolets.
- La filtration.

I.7.3.5. Le traitement des boues :

Le principal résidu des stations d'épuration est la boue. le traitement des boues représente 30 % de l'investissement dans la station d'épuration. Les objectifs du traitement des boues (la figure 5) sont les suivants :

- ✓ Réduire leur volume global pour diminuer leur coût d'évaporation par déshydratation.
- ✓ diminuer leur contenu organique pour diminuer leur capacité de fermentation et les risques de contamination [37].

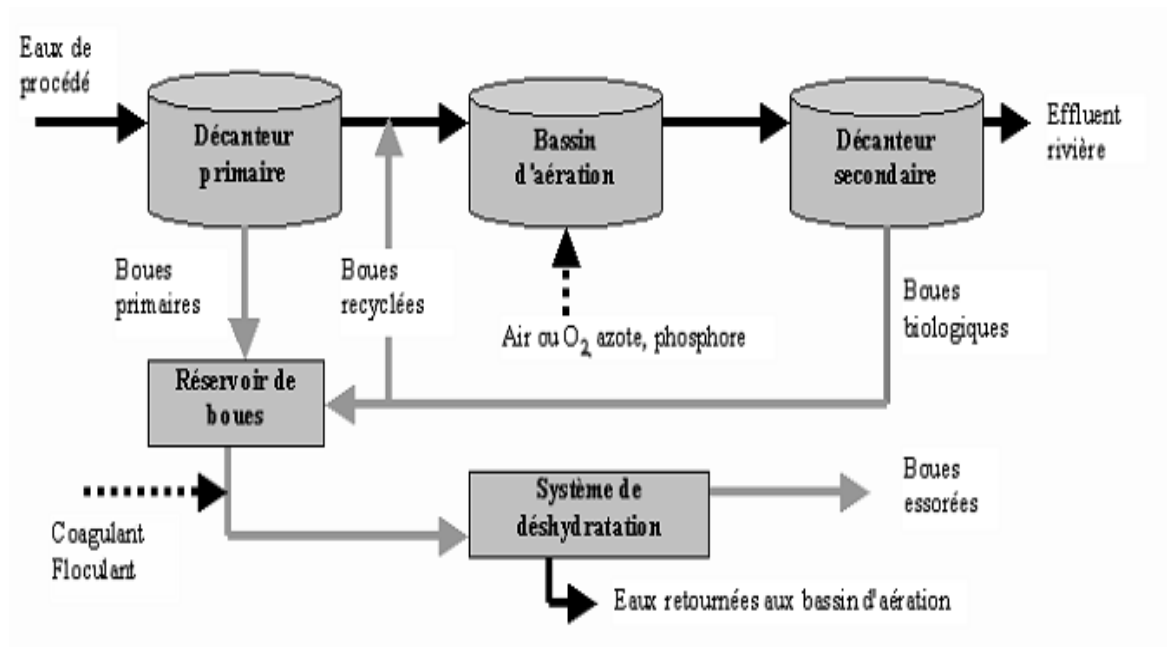


Figure 5. Schéma d'un traitement par boues activées.

I.8. Phosphatation des eaux usées :

Les phosphates et les nitrates sont le principal nutriment responsable de la perturbation de l'équilibre des écosystèmes aquatique. En générale des niveaux élevés de phosphate et d'azote provoquent une augmentation de la prolifération algale ce qui a des effets négatifs sur la qualité de l'eau –le phénomène est connu sous le nom d'eutrophisation[38] .

I.8.1. Le phosphore :

I.8.1.1.Définition de phosphore :

Le phosphore est nécessaire à toute vie sur Terre. C'est un nutriment important pour la reproduction De l'ADN de l'organisme au mécanisme de transfert d'énergie (ATP) et Contribue à la formation des cellules membranaires. Donc Le phosphore en tant qu'engrais est responsable du développement et de la croissance des plantes[38].

Le phosphore minéral est présent dans l'eau essentiellement sous forme de phosphates solubles ou insolubles (ortho phosphates, poly phosphates). Contrairement au nitrate, ces molécules sont assez peu mobiles dans les sols des régions tempérées. Les constituants du sol possèdent en effet la propriété de les fixer de manière plus ou moins irréversible (au niveau des oxydes de fer et d'aluminium). En conséquence, une part importante du phosphore qui aboutit dans les cours d'eau (hors rejets directs) provient des particules de sols érodés et des sédiment[39].

I.8.1.2.Les sources de phosphore :

Le phosphore naturel est extrait des sols (gisements miniers) sous forme de Phosphates de calcium dont l'apatite $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ et l'hydrox apatite $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$.

Phosphore Rassemblement dans les zones où la concentration de la population nécessite une présence dense Ferme agricole et élevage. Par conséquent, des concentrations élevées Le phosphate monte dans les eaux de surface, s'accumule dans le sol ou lessivage niveau hydrostatique[40].

I.8.1.3.Formes de phosphore :

Le phosphore apparait dans la nature sous trois formes principales :

- a) les ions ortho phosphates (PO_4^{3-})
- b) les poly phosphates (ou "condenser phosphates")
- c) phosphore organique sous forme complexe.

L'orthophosphate (spécifiquement connu sous le nom de PO_4^{3-} se compose de plusieurs Composés en équilibre. La forme principale de cet équilibre repose sur pH. Au pH de l'eau de ville, on trouve P sous la forme HPO_4^{2-} ne primaire-. Les poly phosphates peuvent Polymères considérés comme de l'acide phosphorique dans lesquels l'eau a été supprimé. Le résultat de l'hydrolyse complète du poly phosphate est ortho phosphate.

Étant donné que P se présente sous de nombreuses formes (organiques et inorganiques), il est nécessaire Il existe une unité de mesure qui prendra en compte toutes les formes possibles.

L'unité de mesure sera l'unité de phosphore total P_{totale} la quantifié L'ortho phosphate peut être dosé par colorimétrie (coloration à l'acide ascorbique). Cependant, cette valeur ne représente pas P_{totale} Pour un dosage global, il faut Les autres formes de P sont d'abord converties en ortho phosphate. Ce La conversion se fait par digestion acide (acide sulfurique) en présence Agent oxydant fort (persulfate de potassium)[41].

I.8.1.4. Origine de phosphore :

L'origine du phosphore dans les eaux usées est déduite de la connaissance des sources naturelles de phosphore et de leurs utilisations[42]. Elle est multiple

Cela peut provenir :

- Métabolisme humain : Une personne excrète 1 à 2 grammes de phosphore par jour. C'est la principale source de phosphore dans les cours d'eau
- Produits d'entretien : 1 à 2 grammes de phosphore par jour, équivalent par habitant.
- Emissions industrielles : Eaux usées de l'industrie agroalimentaire, des abattoirs, des blanchisseries industrielles, des industries de traitement de surface et des industries chimiques de spécialité.
- Les rejets agricoles ou naturels restent dans le sol et ne finissent pas dans les eaux usées. Comme l'érosion et le ruissellement transportent les particules de sol dans les cours d'eau, les eaux de surface peuvent éventuellement les contenir[43].

I.8.2. L'eutrophisation :

I.8.2.1. Définition de L'eutrophisation :

Un des grands problèmes de l'écologie des milieux naturels est l'apport excessif en nutriments dans les cours d'eau, étangs, lacs ou bords de mers, appelé couramment eutrophisation

(la figure 8) [44].

Le terme eutrophisation désigne à la fois Eau riche en nutriments - en particulier le phosphore et l'azote - et a augmenté Pertinence de la production de légumes aquatiques Principalement algues planctoniques ou restauratio [45].

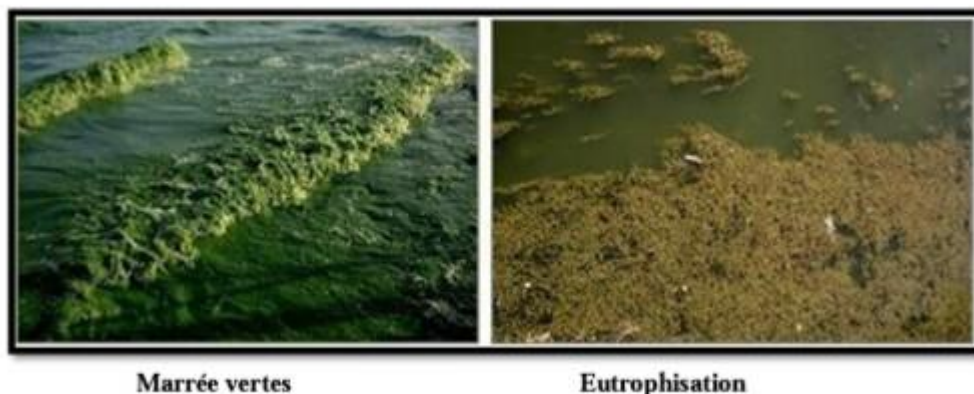


Figure 6. Le phénomène d'eutrophisation

I.8.2.2. Les étapes du processus d'eutrophisation :

L'évolution de l'eutrophisation de l'eau peut être divisée en quatre étapes. La première étape correspond au début de l'enrichissement de l'eau en nutriments (phosphore et azote). Les concentrations de nutriments augmentent, mais les organismes évoluent bien dans leur environnement car ils ont beaucoup de nourriture. Cela conduit à une augmentation du nombre d'organismes et de poissons qui se nourrissent de matière organique.

La deuxième étape concerne la reproduction du phytoplancton. En mourant, le phytoplancton contribue à l'augmentation de la matière organique au fond du lac. Les restes d'organismes morts se sont déposés au fond du lac. Des parties de la faune ont commencé à disparaître.

Dans la troisième étape, les dommages aux organismes deviennent de plus en plus graves, et il y a une forte prolifération d'algues et des proliférations d'algues. Au fur et à mesure que la matière organique se dépose, le fond du lac s'épaissit et un grand nombre de bactéries se multiplient. De plus, la dégradation de la matière organique se produit principalement en hiver, et cette dégradation consomme une grande quantité d'oxygène. Cet oxygène n'est pas renouvelé dans les couches profondes du lac en raison de la stratification thermique. Par conséquent, la consommation d'oxygène augmente chaque année.

La quatrième étape conduit à une activité élevée des bactéries anaérobies. Cette activité entraîne la décomposition de la matière organique[46].

I.8.2.3. Les effets de l'eutrophisation sur l'écosystème :

- une augmentation de la biomasse algale ;
- un envasement plus rapide et une apparition de vase putride et malodorante ;
- une obstruction mécanique du lit des cours d'eau (risque d'inondations, obstacles à la pêche...);
- une variation journalière importante de la qualité de l'eau (oxygène, pH, ammoniac), pouvant induire des mortalités massives de macrophytes, insectes, crustacés, mollusques ou poissons ;
- le développement éventuel de phytoplancton toxique (cyanobactéries ou algues bleues) en période de très faibles débits ou dans les lacs ;
- une diminution des indices biotiques et de la biodiversité animale et végétale au sein des écosystèmes aquatiques
- une dégradation des qualités chimique et organoleptique de l'eau, pouvant nécessiter

des traitements de potabilisation additionnels, la **figure 9** [39].

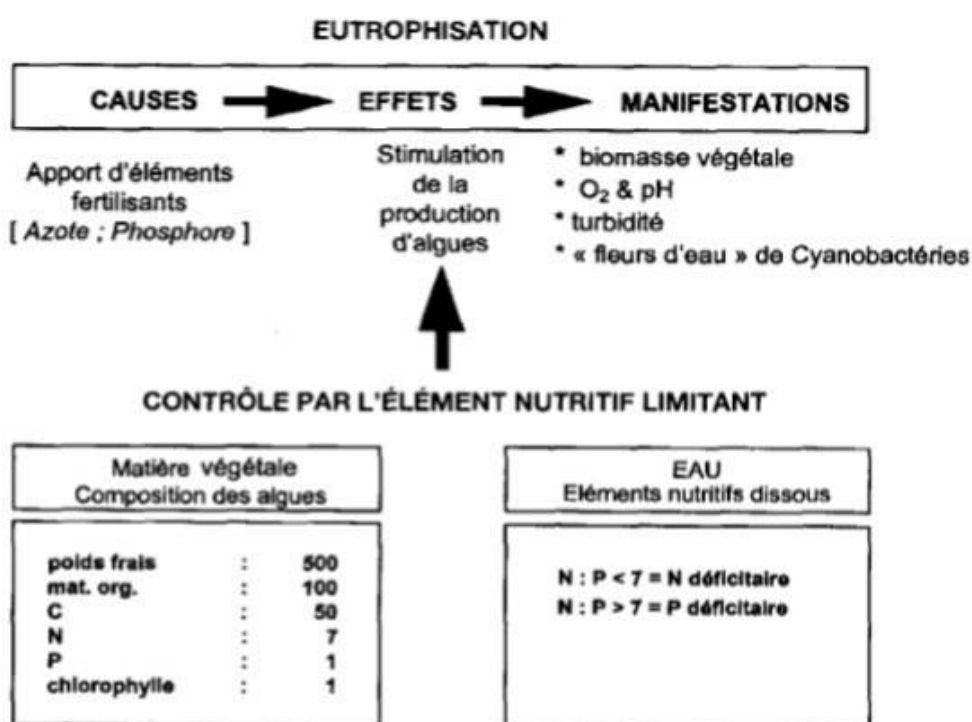


Figure 7.Présentation schématique du phénomène d'eutrophisation

I.8.3. Déphosphatation :

I.8.3.1. Définition de déphosphatation :

L'objectif de la déphosphatation chimique est de convertir une quantité suffisante d'orthophosphate en une forme spécifique après interaction chimique avec un coagulant métallique. Ces mêmes coagulants peuvent neutraliser les charges de répulsion des particules pour favoriser la floculation et la sédimentation. En outre, de nombreuses réactions compétitives favorisent également la production de solides et de floc. Après la formation d'une quantité suffisante de floc, la séparation "solide-liquide" est effectuée par décantation et/ou filtration. Cependant, l'ajout de coagulant a des effets secondaires qui doivent être pris en considération, tels qu'une modification du pH et une augmentation de la quantité de déchets produits (résidus)[47].

La déphosphatation chimique est divisé en trois catégories :

- Dosage du coagulant
- Pompe d'injection, point d'injection et mélange
- Durée de vie, livraison, abris, stockage et sécurité

I.8.3.2. Procédés des traitements de phosphore :

Trois grands types de procédés sont développés pour concentrer le phosphore dans la fraction solide[48] :

- ✓ Les procédés physico-chimiques qui consistent à précipiter le phosphore par modification des conditions du milieu (pH) et/ou par ajout de réactifs,
- ✓ Les procédés biologiques qui consistent à créer les conditions favorables à la croissance de micro-organismes capables d'accumuler le phosphore au delà de leurs stricts besoins de croissance.
- ✓ Les procédés mécaniques de séparation.

La combinaison de deux ou trois de ces possibilités permet d'atteindre des objectifs de qualité des rejets élevés[49].

I.8.3.3. Élimination de phosphore :

On trouve l'élimination par voie chimique et l'élimination par voie biologique :

❖ Élimination chimique du phosphore :

Vue leur faible prix, les sels de sulfate d'aluminium et de chlorure ferrique sont les coagulants les plus utilisés pour l'élimination chimique de P. Les ions de fer et d'aluminium forment des

complexes avec les ortho phosphates présents dans les eaux usées. Ces complexes seront par la suite précipités, décantés et séparés par combinaison avec un système de filtration et décantation. Avec les méthodes chimiques, la concentration du phosphore à l'effluent peut atteindre 0.05mg-P/. La formation des complexes de phosphate de fer ou d'aluminium dépend du pH[38].

❖ **Élimination biologique de phosphore :**

L'élimination biologique du phosphore a graduellement été introduite dans les stations de traitement des eaux usées. Les eaux usées contiennent une quantité suffisante de matières organiques qui peuvent être fermentées dans des conditions anaérobies produisant ainsi des acides gras volatiles (AGV). Les bactéries spécifiques connues sous le nom d'organismes accumulateurs de poly phosphate utilisent l'énergie des poly phosphates intracellulaires pour convertir les AGV dans des stocks organiques nommés polyhydroxyalkanoates (PHA). Sous cet effet, la concentration de phosphates augmente dans la liqueur mixte par relargage des ortho phosphates libéré du poly phosphate[50].

Conclusion :

Le but de ce chapitre est d'identifier les concepts de base et les normes liées au traitement des eaux usées. après les caractéristiques décrire les principales étapes liées aux systèmes de traitement dans station d'épuration des eaux usées.

Chapitre II

Procédé de traitement des eaux usées

(Coagulation et floculation)

Chapitre II. Procédé de traitement des eaux usées par (coagulation-floculation).

Introduction :

Dans le traitement des eaux usées, la coagulation est pratiquée depuis les temps les plus reculés et l'objectif principal est d'éliminer les impuretés colloïdales. L'objectif principal est d'éliminer les impuretés colloïdales et, par conséquent d'éliminer la turbidité de l'eau[4].

II.1. Coagulation et floculation :

II.1.1. Généralités (définition de coagulation et floculation) :

La coagulation/floculation(**la figure 10**) est considérée comme une technologie économique et pratique pour éliminer les matières organiques réfractaires des eaux usées [51].

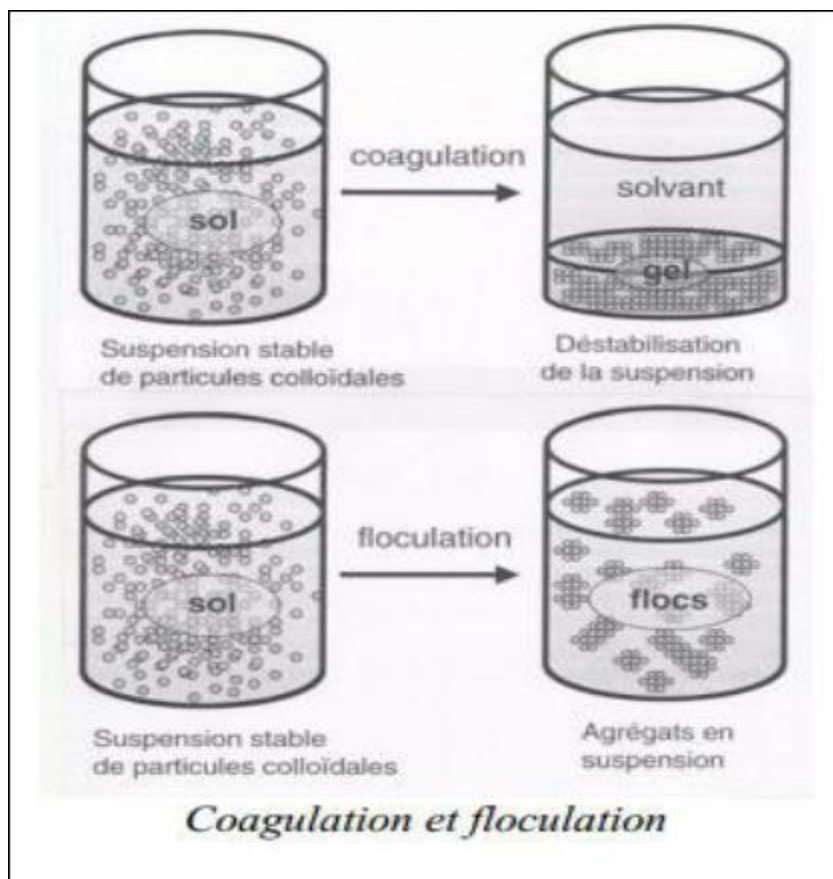


Figure 8.phénomène de coagulation-floculation chimique [52].

II.1.2. Définition de coagulant :

Le coagulant est un produit chimique qui est ajouté à l'eau pour retirer les forces qui stabilisent les particules colloïdales et qui font que les particules sont en suspension dans l'eau. Les particules colloïdales et les mettre en suspension dans l'eau. Une fois que le coagulant est introduit dans l'eau, les colloïdes individuels doivent s'agréger et grossir pour que les impuretés puissent se déposer au fond du béccher. au fond du béccher et séparées de la suspension d'eau.. Les coagulants à base d'aluminium et de fer sont couramment utilisés dans la plupart des industries. Cependant, lorsque l'aluminium est utilisé comme coagulant dans le traitement des eaux usées, il peut causer plusieurs problèmes[4].

II.1.2.1. Coagulant PASA (poly-silicate d'aluminium de sulfate):

Le sulfate de poly-silicate d'aluminium (PASS) est l'un des coagulants polymères inorganiques qui peuvent être préparés par polymérisation de l'acide poly-silicique et des sels d'aluminium sels d'aluminium hydroxylés.

L'acide poly silicique peut neutraliser la charge positive du poly aluminium et se combiner avec l'aluminium. la charge positive du poly aluminium et se combiner à l'Al et à ses produits d'hydrolyse par et ses produits d'hydrolyse par l'intermédiaire des liaisons Al-O-Si pour former l'hydroxyle aluminosilicate en raison de la charge négative de son polymère , **la figure 11** [53].

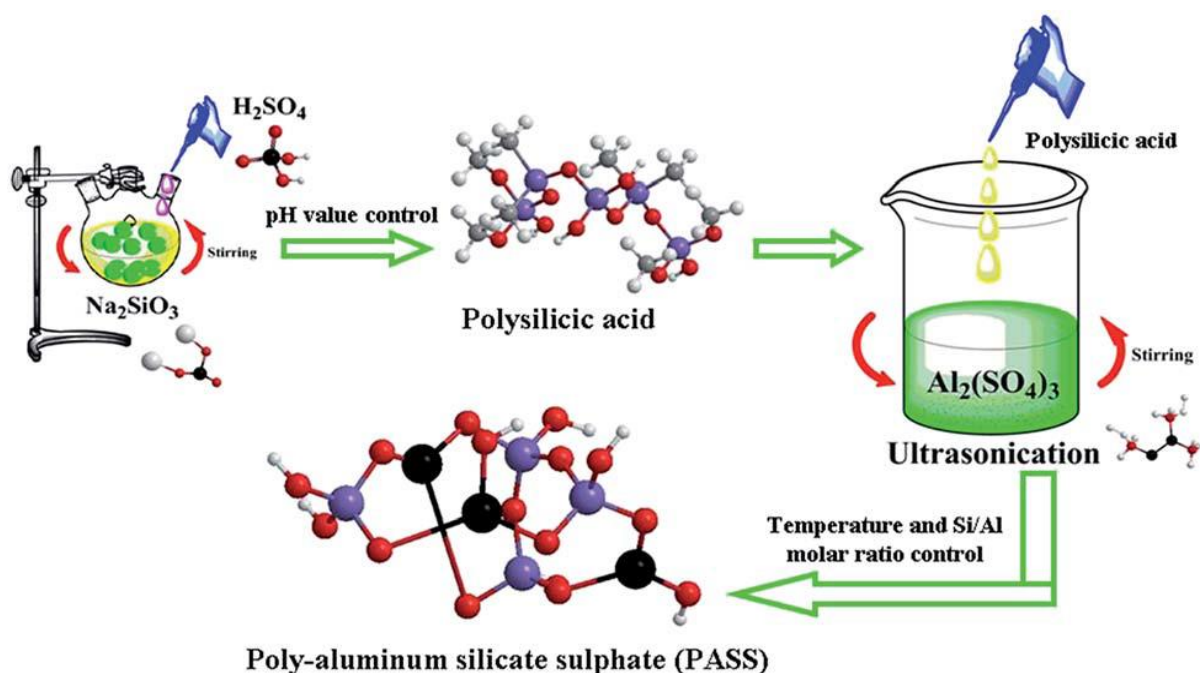


Figure 9. Représentation schématique de la fabrication du PASS

II.2. Caractéristiques des particules à éliminer :

II.2.1. Généralités :

Les matières existantes dans l'eau peuvent se présenter sous les trois états suivants:

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

Cette classification est déterminée par la taille des particules. Les colloïdes ont un diamètre allant de 1µm et 1 nm. Ils ont également deux autres caractéristiques très importantes. Leur rapport surface/volume leur confère des propriétés d'adsorption des ions présents Dans l'eau. Ce phénomène explique en partie la présence de charges à leur surface. Ces charges sont généralement négatives et créent des forces répulsives entre les colloïdes. Ceux-ci pourraient expliquer la grande stabilité de ces particules en solution. Leurs densités peuvent atteindre 2,5 sans modifier leurs valeurs de vitesse de sédimentation. Les sources de colloïdes sont très diverses. Les exemples incluent l'érosion du sol, la dissolution Décomposition de minéraux, matière organique, déversement Eaux usées municipales et industrielles et déchets agricoles[54].

II.2.2. Matières en suspension et colloïdales :

L'eau contient une variété de composés qui peuvent être regroupés en trois catégories :

- Les matières en suspension : Ces produits peuvent avoir une origine minière (sable, limons, argiles...) ou organique (produits de la dégradation de la matière végétale ou animale, comme les acides humiques ou fulviques). L'ajout à ces mélanges de micro-organismes tels que les bactéries, le plancton, les algues et les virus. Ces composés sont notamment responsables de la couleur et de la turbidité.
- Matériaux disséminés : (moins de quelques nanomètres) Les deux principaux types sont les cations et les anions. Une partie de la matière organique est également dissoute. Il y a aussi des gaz (O₂, CO₂, H₂S, etc.).
- *Matières colloïdales*: (moins de 1micron) : Ce sont des MES de même origine que les précédentes mais de plus petite taille, dont la décantation est excessivement lente. Elles sont également génératrices de turbidité et de couleur[3].

Il ya deux types de colloïdales aquatiques organiques et inorganiques. le rôle de chaque classe de colloïdes est discuté en ce qui concerne l'homoagrégation (agrégation au sein d'une

classe de colloïdes) et de l'hétéroagrégation (agrégation entre différents types de types de colloïdes) , **la figure 12** [55].

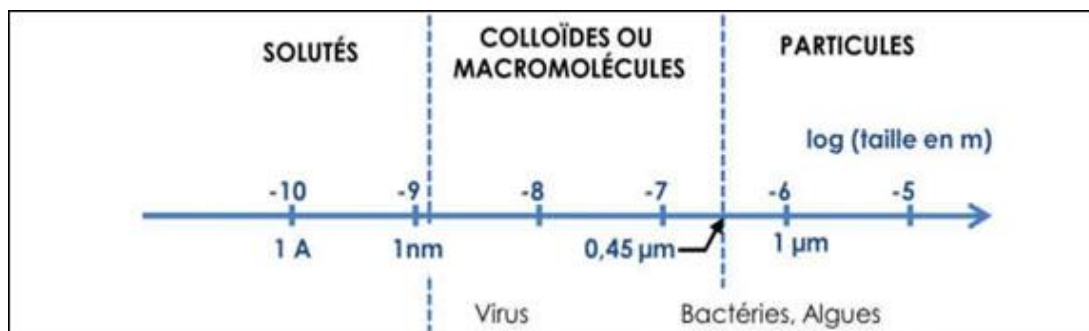


Figure 10. nature et taille des particules colloïdales dans l'environnement[56].

II.2.3. Etat de surface des colloïdes :

Les particules colloïdales ont une charge de surface, généralement négative. Ils acquièrent ces charges, soit par ionisation de leurs groupements constitutifs, soit par Adsorption sélective des ions du milieu. Lorsqu'une particule colloïdale est en suspension dans l'eau, elle acquiert une charge d'origine généralement négative, puis s'entoure de plusieurs couches successives (voir image ci-dessous) :

- une couche d'ions de charge opposée accompagnés de leur eau de solvatation ; cette couche fixe est dite couche de Stern.
- entre cette couche fixe et la phase liquide, il existe une couche diffuse ou couche de Gouy, siège de transfert d'ions entre la couche fixe et la phase liquide. Dans la couche diffuse on rencontre des anions et des cations.

L'importance relative de ces deux couches dépend de :

- La charge centrale primitive
- L'agitation thermique des molécules et des ions.

L'agitation thermique tend à réduire l'importance de la couche fixe et à dilater la couche diffuse (**la figure 13**) [57].

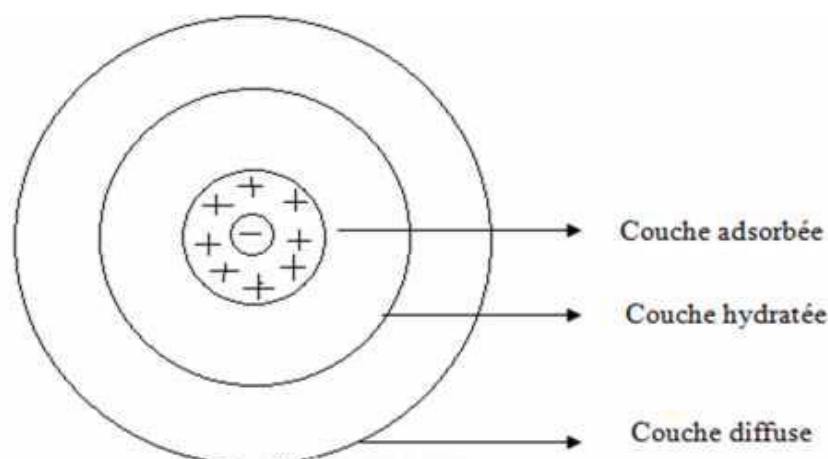


Figure 11. Représentation schématique de la double couche
Électrique[57].

II.3. La potentielle thermodynamique ou potentiel Stern :

Les potentiels thermodynamiques peuvent également être utilisés pour estimer la quantité totale d'énergie disponible pour un certain système thermodynamique sous certaines contraintes.

Les potentiels thermodynamiques sont très utiles pour calculer le résultat d'équilibre d'une réaction chimique ou bien pour mesurer les propriétés des espèces lors d'une réaction chimique[58].

II.4. La potentielle électrocinétique Zêta :

Le potentiel zêta représente la charge électrique qu'une particule acquiert grâce au nuage d'ions qui l'entourent quand elle est en suspension ou en solution. . En effet, lors de son déplacement dans le liquide, il est entouré d'ions organisés en « double couche électrique » :

- ✓ une partie des ions s'accroche à la particule formant ainsi une couche d'ions adhérents dite couche dense
- ✓ l'autre partie des ions forme une couche non liée dite diffuse.

Le « plan de cisaillement » délimite ces deux couches. C'est la différence de potentiel entre le milieu de dispersion et le potentiel au plan de cisaillement qui définit le potentiel Zêta (I figure 14) [59].

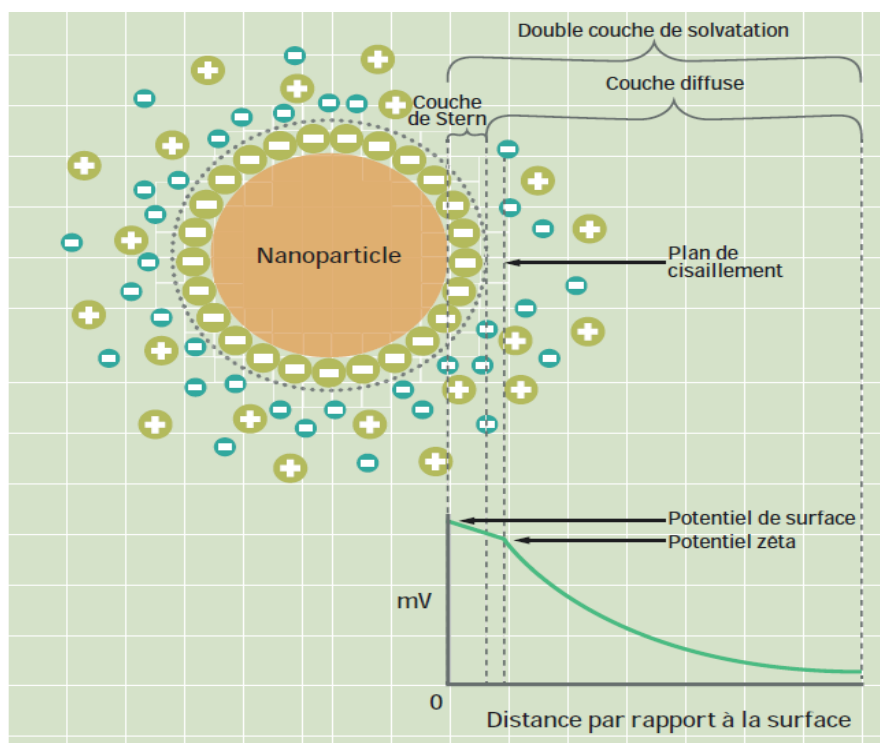


Figure 12. Schéma de la double couche et du potentiel Zêta[59].

II.5. Le procédé de coagulation floculation:

II.5.1. Définition de coagulation :

La coagulation est l'une des étapes les plus importantes dans le traitement des eaux. La difficulté principale est de déterminer la dose optimale de coagulant à injecter en fonction des caractéristiques de l'eau brute. Un mauvais contrôle de ce procédé peut entraîner une augmentation importante des coûts de fonctionnement et le non-respect des objectifs de qualité en sortie de la station de traitement[60].

II.5.2. Le but de coagulation :

Le but de la coagulation est de neutraliser les charges de ces particules afin de favoriser la formation d'un agglomérat. Pour ce faire, on introduit habituellement dans l'eau à traiter un produit chimique nommé « coagulant », le plus souvent des sels d'aluminium ou de fer[61].

II.5.3. Etape de la coagulation :

Dans le processus de coagulation, on dit que la déstabilisation des particules colloïdales provoque leur agglutination pour produire des floccs qui sont facilement éliminés par sédimentation.

Il existe deux façons de briser la barrière énergétique entre les interactions des particules colloïdales :

- a) la réduction du potentiel zêta par l'utilisation de minéraux réactifs comprenant des cations multivalents qui adhèrent à la surface des particules. Il en résulte une neutralisation de la charge électrique, connue sous le nom de coagulation en général.
- b) l'utilisation de polymères organiques ayant la capacité d'agréger les colloïdes à la fois par la neutralisation de la charge électrique et par les effets de pontage entre les colloïdes. Ces polymères fonctionnent comme un filet, en maintenant les particules en place. Le nom de floculation est souvent réservé à ce type de déstabilisation, tandis que la coagulation est réservée à la déstabilisation des particules colloïdales induite par l'annulation électrostatique. D'après les revues bibliographiques, il existe quatre mécanismes fondamentaux de déstabilisation des particules colloïdales.
- c) compression de la double couche (coagulation électrostatique).
- d) adsorption et neutralisation des charges électriques.
- e) emprisonnement des particules dans un précipité.
- f) adsorption et pontage[56].

II.5.4. Paramètres influençant le processus de coagulation :

Les principaux paramètres influençant l'élimination de l'arsenic par coagulation floculation sont : le type de coagulant, sa concentration et le pH. Cependant, la spéciation de l'arsenic, sa Concentration et la présence d'ions compétiteurs peuvent aussi intervenir dans l'efficacité du Traitement[63].

II.5.5. Le processus de coagulation et de floculation :

Les processus de coagulation et de floculation (**figure 15**) contribuent à l'élimination des MES et des colloïdes en les concentrant en floccs qui sont ensuite séparés par filtration[64].

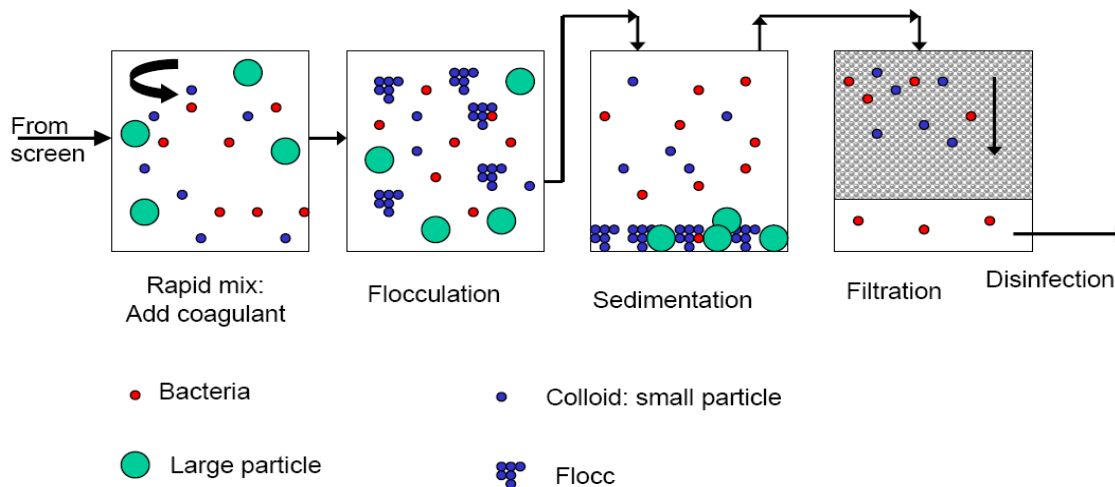


Figure 13.Processus de coagulation floculation

II.6. Définition de la floculation :

La floculation est le processus qui favorise les contacts entre les particules colloïdales déstabilisées et leur agglomération. Deux mécanismes assurent la mobilité des particules : le mouvement brownien (floculation péncinétique); et le brassage mécanique (Floculation orhocinétique)[65].

II.6.1. Le processus de floculation :

Le procédé de floculation Les particules colloïdales ont tendance à coalescer une fois qu'elles ont été déstabilisées et qu'elles entrent en contact les unes avec les autres .Le but de la floculation est d'augmenter la probabilité que les particules entrent en contact les unes avec les autres. La figure II.3 résume les nombreux phénomènes de coagulation-floculation provoqués par un polymère pour mieux l'illustrer , **figure 16** [66].

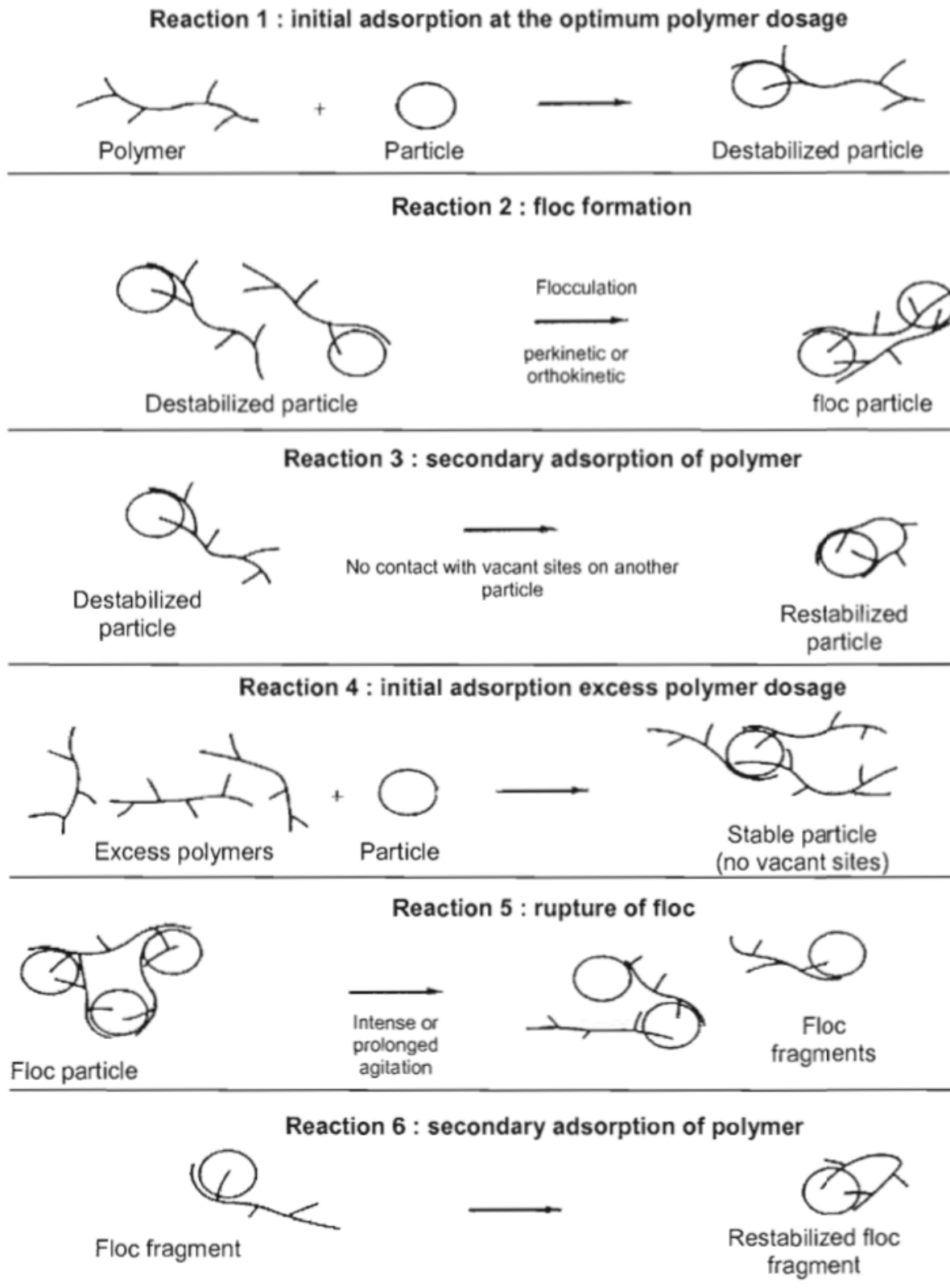


Figure 14. Différents phénomènes de coagulation-floculation produits par un polymère.

II.7. La décantation :

L'un des objectifs des essais de décantation est de déterminer la relation qui relie la vitesse de sédimentation et la concentration solide locale à l'interface. Après le test de coagulation-floculation, les matières en suspension s'agglomèrent et leur vitesse de chute varie au cours de la décantation suivant l'hypothèse de Kynch. Cette vitesse ne dépend que de leur concentration initiale. La décantation est caractérisée par une interface très nette entre le voile de boues et l'eau clarifiée[67].

Conclusion :

Dans ce chapitre, consiste au traitement physico-chimique des eaux usées par Coagulation floculation en utilisant le sulfate d'aluminium ($Al_2(SO_4)_3$) comme coagulant chimique. Cette méthode s'inscrit parmi les techniques de traitement appropriées pour réduire la pollution des eaux. Ainsi, de nombreux essais de JAR test ont été effectués afin de déterminer les conditions optimales qui permettent de réduire les matières en suspension. Une diminution très importante de la turbidité a été observée suite à la décantation des matières en suspension existantes dans les eaux usées[67].

L'objectif de cette étude présente étude est d'observer l'efficacité de la coagulation-floculation par le sulfate d'aluminium sur l'élimination des composés organiques[68].

Chapitre III

Méthodes et techniques expérimentales

Méthodes et techniques expérimentales

Introduction :

Toutes les stations d'épuration dépendent de la réalisation d'analyse d'eau brute (entrée) et d'eau traitée (sortie) afin de déterminer les paramètres physiques et chimiques.

Dans ce chapitre, nous vous présentons les méthodes et équipements utilisées au laboratoire pour l'épuration utilisé au laboratoire pour l'épuration et le traitement de l'eau de sortie issue de la station d'épuration de SIDI AISSA, en utilisant le coagulant PSAS et l'appareil Jar-Test. En mesurant les paramètres les plus importants (pH –conductivité-Turbidité -absorbances-MES).

III.1.Situation de station d'épuration de SIDI-AISSA :

La commune de **SIDI-AISSA** est située à environ 90 kilomètres (km) au nord-ouest du chef-lieu de la Wilaya de **M'SILA**. Elle a une superficie de 632,5 km².

Elle est située dans une région qui prolonge le bassin du Hodna vers le nord. Ouest et fait partie de l'ensemble des grandes plaines steppiques de la zone des hauts plateaux et présente un caractère agro-pastoral (80% du terrain est constitué de parcours).

La communauté est traversée par trois rivières : L'Oued **Lham** et l'Oued **Guterini** s'étendent du nord au nord-est. **Oued Djenane** à l'est (**L'ONA STEP de SIDI –AISSA**) , (figure 17).

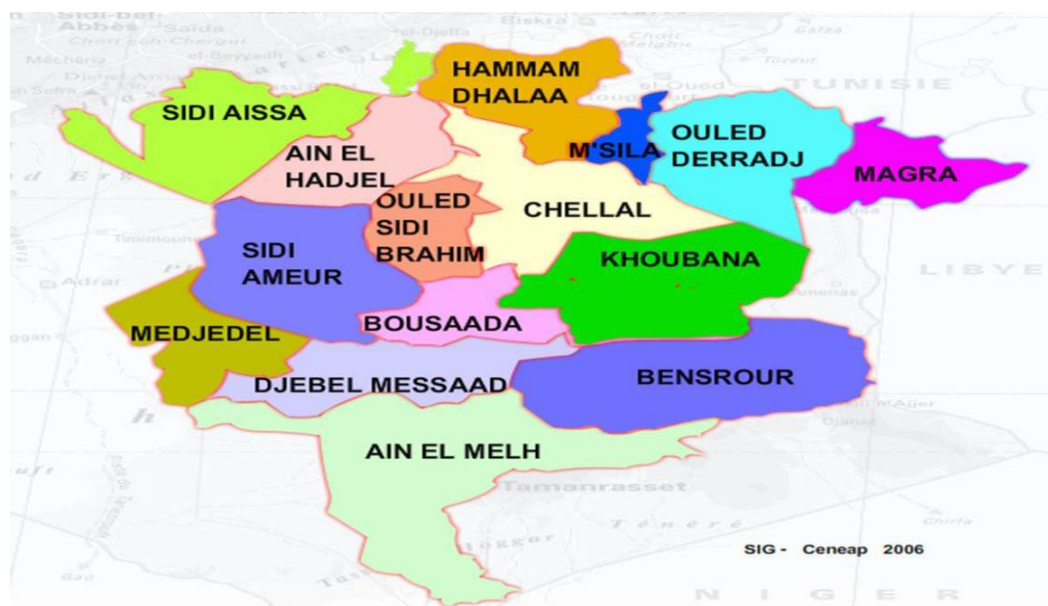


Figure 15.plan de situation de STEP de SIDI-AISSA.

III.2.Procédés d'épuration des eaux usées :

On générale, une station d'épuration des eaux usées comprends les étapes suivante :

III.2.1.Prétraitement :

a. Dégrillage :

Le dégrillage (**la figure 18**) a pour but d'éliminer les déchets des eaux usées entrantes. Cette opération constitue donc la phase préliminaire de l'épuration. L'élimination des matières retenues sur les barreaux des grilles.



Figure 16.Dégrillage de STEP de « SIDI AISSA ».

b. Dessablage déshuilage et dégraissage :

Les sables sédimentés sont pompés vers le classificateur, les sables doit être évacuées périodiquement de la banne d'stockage.

Les huiles et graisses seront raclées vers le concentrateur de graisses. Après elles sont stockées dans une benne de stockage, qui doit être vidé périodiquement, (**figure 19**).



Figure 17.prétraitement de STEP de « SIDI AISSA ».

III.2.2. Traitement biologique (bassin biologique) :

L'épuration naturelle d'une eau polluée est assurée par l'action de l'oxygène contenu dans le milieu récepteur, sur la matière organique, par l'intermédiaire des bactéries aérobies.

- **Voie aérobie** ; en milieu oxydant et présence de O_2 , oxydation de la matière organique à CO_2 et H_2O .
- **Voie anaérobie** : en milieu réducteur et sans présence O_2 , la matière organique se transforme en CO_2+CH_4 .
- **Voie anoxie** : un environnement exempt d'oxygène dissous mais où nitrates sont présents.

Les boues activées font appel au même processus, mais à grande concentration et dans un espace restreint.

Pour qu'une boue activée se forme et opère une épuration biologique (**figure 20**), il faut trois conditions :

- ✓ Une nourriture suffisante : c'est la matière organique apportée par l'eau et en particulier, certains éléments de base tels que l'azote et la le phosphore.
- ✓ L'apport d'une quantité d'oxygène supplémentaire, proportionnelle à la charge de pollution, et exprimée par la DBO_5 .
- ✓ La limitation de la prolifération des cellules par extraction d'une partie des boues, qui sont les boues en excès.



Figure 18.traitement biologique de STEP de « SIDI AISSA ».

III.2.3. Décanteurs secondaires :

Nous avons deux décanteurs (la **figure 21**) secondaires. Chaque un est équipé d'une vanne murale pour régler le débit de l'eau, et pour décider avec quelle on veut travailler. (on peut travailler avec une seule ligne, et faire fonctionner le réacteur numéro 1, avec le décanteur numéro 2).

La décantation a pour but séparer l'eau traité des boues, ces dernière se déposent sur le fond du bassin.



Figure 19. décanteurs secondaires.

III.2.4. Traitement tertiaire (la chloration) :

L'eau claire sortant des décanteurs arrive par gravité dans le canal de contact de la chloration pour un ultime traitement avant rejet, c'est la phase désinfection qui consiste à les germes pathogène et les virus. L'hypochlorite de sodium est l'agent chimique utilisé comme oxydant pour la désinfection. Le temps de contact est un facteur déterminant, avec le dosage du chlore, dans l'efficacité de la désinfection. (Cette étape n'existe pas dans la station).

III.2.5. Traitement des boues :

Les boues sont en partie recyclées pour ensemercer les bassins de traitement biologique. C'est la dernière étape et elle passe par plusieurs opérations : épaissement, stabilisation, déshydratation, lits de séchage.

- a. **Épaisseur à boue :** l'excès de boues dans le poste de recirculation sera pompé vers l'épaisseur de boues, équipé d'un mécanisme de rotation lent (agitateur) pour permettre un milieu rendement.
- b. **Stabilises de boues :** est une opération qui consiste à appliquer un traitement aux boues d'épuration afin de limiter la production de mauvaises odeurs.

c. **Déshydratation mécanique** : le poste de déshydratation mécanique est équipé de deux filtres à bonde avec le fonctionnement du filtre à bonde, les éléments de l'équipement transportent la boue à déshydrater à travers les différentes zones de la machine.

d. **Lits de séchage** :

Les lits sont dimensionnés pour assurer une autonomie de séchage aux conditions nominales de fonctionnement.

Les aires sont équipées avec un système de drainage. L'eau ainsi récupérée dans une fosse est dirigée par pompes submersibles vers le distributeur des bassins biologiques.



Figure 20. Lits de séchage de STEP de SIDI AISSA.

III.3. Les appareils d'expérimentation :

III.3.1. Les appareils :

Les appareils utilisés dans cette étude sont représentés dans **le tableau 3** suivant :

Tableau 3 .les appareils importants utilisés dans cette recherche :

Les appareils	Le rôle
Ph mètre	Mesurer le Ph d'une solution (l'acidité ou la basicité).

Conductimètre	Mesurer la conductivité d'une solution (mesure la capacité).
Turbidimètre	Mesurer les particules solides en suspension dans l'eau,
Jar-test	Déterminer la concentration en coagulant/floculant et la vitesse d'agitation.
Agitateur magnétique	Mélange deux composants homogènes.
Balance analytique	Mesurer la masse (le poids) des échantillons.
L'étuve	Chauffer au sécher l'échantillon.
Spectromètre UV	Mesurer l'absorbance.

III.3.2. Matériels et produits :

Les produits et les matériels utilisés dans ce étude sont :

➤ Les matériels utilisés sont :

Béchers, micropipette, erlenmeyer, entonnoir, éprouvette gradué, verre de montre, spatule, papier filtre, Büchner, barreau magnétique, pince, dessiccateur.

➤ Les produits utilisés sont :

- * Sulfate d'aluminium ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)
- * Silicate sodium (Na_2SiO_3)
- * L'oxyde de silicium (le dioxyde de silicium) (SiO_2)
- * Eau distillée

- * Acide ascorbique($C_6H_8O_6$)
- * Molybdate ($(NH_4)_6MO_7O_{24} \cdot 4H_2O$)
- * Tartrate ($KNa(C_4H_4O_6) \cdot 4H_2O$)
- * Acide sulfurique(H_2SO_4)
- * Sodium hydrogen phosphate (hydrogénphosphate de sodium) (Na_2HPO_4)

III.3.3.Procédure expérimentale :

III.3.3.1.Coagulation – floculation par jar-test :

Le traitement des eaux par le procédé (coagulation-floculation) est l'application principale des polymères préparés dans le présent travail. Ce procédé s'effectue en deux grandes étapes, la coagulation qui nécessite une grande vitesse d'agitation (150 tr/min) pendant une courte durée (3 minutes), puis l'étape de la floculation à une vitesse d'agitation faible (50 tr/min) pendant (30 minutes)[69] .

III.3.4.Dispositifs expérimentaux :

III.3.4.1.Jar-test :

Le Jar-test (**la figure 23**) est un outil bien connu pour la sélection des produits chimiques destinés au traitement physico-chimique des eaux usées. Les résultats du Jar-test montrent l'efficacité du traitement en termes d'élimination des matières en suspension et des matières organiques. Cependant, malgré tous ces résultats, la sélection des coagulants n'est pas une tâche facile car un coagulant peut éliminer efficacement les solides en suspension mais en même temps augmenter la conductivité ou accroître considérablement la production de boues contenant des produits chimiques et des colorants toxiques. La sélection finale des coagulants dépend donc fortement de l'importance relative attribuée à chaque paramètre mesuré[70].

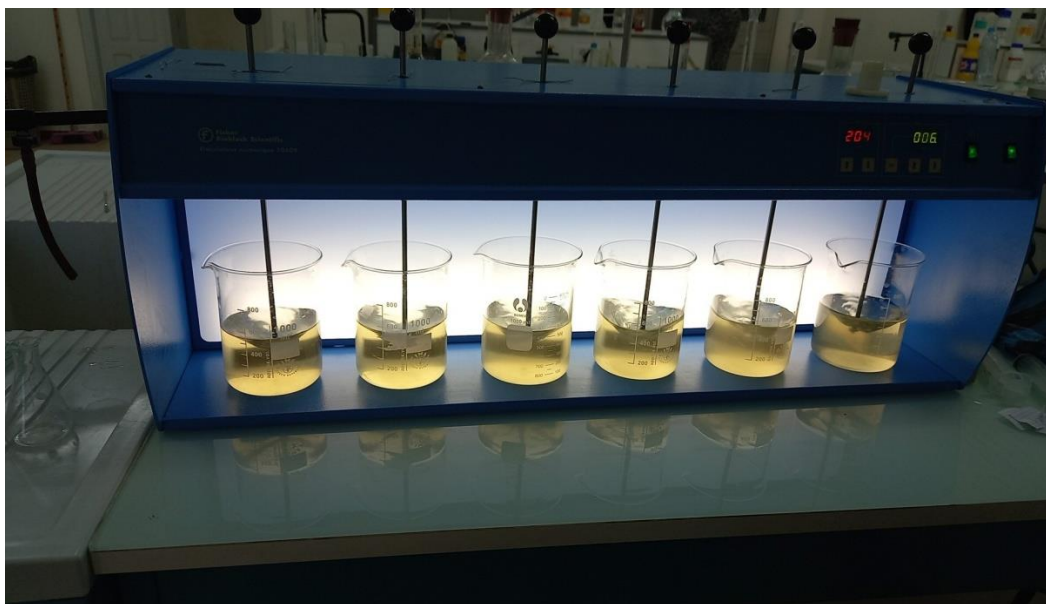


Figure 21. Jar-test.

III.3.4.2. Le potentiel hydrogène (pH) :

Le potentiel hydrogène; noté pH, Le pH est une grandeur sans unité. Un indice qui permet de mesurer l'activité de l'ion hydrogène (H^+) dans une solution, le pH est fonction de la concentration en ions hydronium. Il est donné par la relation suivante : $pH = -\log [H_3O^+]$.

Mesure de le potentiel hydrogène (pH) avec pH-mètre (**la figure 24**) . Avant chaque test, nous faisons le calibre de l'appareil à l'aide de solutions tampons 4 et 7 et 10.

Classification de pH :

- **pH < 5** milieu acide.
- **pH = 7** pH neutre.
- **pH = 8** Alcalinité forte.
- **pH > 10** milieu basique.
 - Les matériels utilisés sont : pH-mètre, bécher.
 - Le produit utilisé est : eau distillée.

Mode opératoire :

- Allumez ou démarrez PH –mètre.
- Équipement d'étalonnage ;
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée avant utilisation ;

- Homogénéisation des échantillons ;
- Immerger l'électrode dans l'eau à analyser ;
- Obtenir les résultats de mesure.



Figure 22. pH-mètre.

III.3.4.3. La turbidité :

La mesure de la turbidité permet de déterminer la qualité de l'eau. La turbidité est une caractéristique optique de l'eau, à savoir sa capacité à diffuser ou absorber la lumière incidente. La turbidité est donc un des facteurs de la couleur de l'eau. Cependant une turbidité forte peut permettre à des micro-organismes de se fixer sur des particules en suspension. La turbidité est en fonction des particules en suspension. Elle se mesure sur le terrain à l'aide d'un turbidimètre

(la figure 25).

Mesure de turbidité en (NTU et FTU).

Tableau 4. Classes de turbidité usuelles (NTU, nephelometric turbidity unit) :

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

- Le matériel utilisé est : turbidimètre.
- Le produit utilisé est : eau distillée.

Mode opératoire :

- Allumez ou démarrez PH -mètre ;
- Équipement d'étalonnage ;
- Pend la cuve, Homogénéisation et verser l'échantillon ;
- Mettre la cuve dans l'appareil et lire la valeur de la turbidité(NTU).

**Figure 23.** Turbidimètre.

III.3.4.4. La conductivité :

La conductivité est la capacité d'une solution, d'un métal ou d'un gaz – autrement dit de tous les matériaux – à faire passer un courant, La conductivité mesurée à l'aide d'un conductimètre (**figure 26**).

Mesure de la conductivité avec «Cond 3110 » donne des mesures en $\mu\text{s}/\text{cm}$ et ms/cm .

- Les matériels utilisés sont : conductimètre, bécher.
- Le produit utilisé est : eau distillée.

Mode opératoire:

- Allumez ou démarrez conductimètre.
- Équipement d'étalonnage ;
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée avant utilisation ;
- Homogénéisation des échantillons ;
- Immerger l'électrode dans l'eau à analyser ;
- Obtenir les résultats de mesure.



Figure 24. Conductimètre.

III.3.4.5. L'absorbance :

L'absorbance (A), également appelée densité optique (DO), est la quantité de lumière absorbée par une solution. La transmittance est la quantité de lumière traversant une solution. L'absorbance et la transmittance en % sont souvent utilisées en spectrophotométrie (**la figure 27**) et peuvent s'exprimer de la façon suivant :

Equation d'absorbance : $A = \log_{10}(I_0/I)$.

Où I_0 est l'intensité de la lumière incidente, et I est l'intensité de cette lumière après qu'elle a traversé l'échantillon. $T = I/I_0$ et $T\% = 100(T)$.

Mesure de l'absorbance (A) avec spectrophotomètre. Avant chaque test, nous lavons la cuve avec de l'eau distillée.

- Les matériels utilisés sont : spectrophotomètre, cuve.
- Le produit utilisé est : l'eau distillée.

Mode opératoire :

- Lancement du spectrophotomètre UV-Vis ;
- Introduire le pot contenant le solvant (eau distillée) dans le spectrophotomètre ;
- Appuyez sur la touche "ZERO" pour régler le blanc ;
- Remplacer le réservoir contenant de l'eau distillée par un réservoir contenant la solution colorée à l'étude ;
- Indiquer la valeur d'absorbance A indiquée par le spectrophotomètre dans le tableau ;
- Les autres longueurs d'onde sont traitées de la même manière.



Figure 25. Spectrophotomètre UV-Visible.

III.3.4.6. les matières en suspension (MES) :

Elles représentent la fraction organique de MES et sont obtenues par calcination de ces MES à 525°C pendant 2 heures. La différence de poids entre les MES à 105°C et les MES à 525°C donne la « perte au feu » et correspond à la teneur en MVS en (mg/l) d'une eau.

Passer un volume connu de surnageant à travers le filtre, préconditionner et peser. La différence entre la masse initiale et finale du filtre donne la concentration de MES.

- Les matériels utilisés sont : papier filtre, Erlenmeyer, Büchner, étuve, dessiccateur, balance analytique.
- Le produit utilisé est : l'eau distillée.

Mode opératoire :

- Laver les papiers filtres avec l'eau distillée.
- Sécher les papiers filtres dans une étuve pendant 2 heures.
- Mettez des papiers filtres dans un dessiccateur pour éliminer l'humidité pendant 10 minutes.
- Puis nous pesons les papiers filtres vides avec une balance électronique avant faire la filtration des MES (m_0).
- Placer les papiers filtres dans les Büchner.
- Rincer le matériel utilisé (bécher avec échantillon + Büchner) ;
- Verser l'échantillon (50 ml) pour démarrer la filtration ;
- sécher les papiers filtres pendant 2 heures après filtration dans une étuve ;
- Laisser refroidir les papiers filtres dans un dessiccateur ;
- Le poids des papiers filtres obtenus (m_1).

Relation des matériaux en suspension (g/l) = $((m_1/m_0)/v)*1000$

- **V (ml)** : le volume en millilitres d'échantillon mis en jeu.
- **m_0 (mg)** : la masse en mg du disque filtrant avant utilisation.
- **m_1 (mg)** : la masse en mg du disque filtrant après utilisation.



Figure 26.les matières en suspension (MES).

Chapitre IV: Résultats expérimentaux et discussion

Résultats expérimentaux :

Introduction

Notre objectif dans ce travail est d'utiliser le procédé de coagulation-floculation pour la clarification des eaux usées de la station d'épuration de SIDI AISSA Willaya de M'Sila, pour éliminer la pollution de certains paramètres tels que les MES, Turbidité, UV_{254nm} et le phosphore.

Nous avons testé ce procédé sur un échantillon d'eau usée traité à la sortie de la station après traitement. Notre but est de synthétiser et caractériser au laboratoire un coagulant de type polymère inorganique tel que le PSAS, puis le tester dans le processus de coagulation, pour déterminer et caractériser leurs performances.

IV.1.Échantillonnage et prélèvement Des échantillons :

Des échantillons d'eau usée ayant subi un traitement ont été prélevés à la sortie de la station d'épuration de SIDI AISSA M'Sila afin d'être analysés. Les prélèvements sont étalés sur une période de deux mois entre mars et avril. Au niveau de la station, les échantillons sont prélevés à l'aide des flacons en verre pyrex munis de bouchon métallique à vis, stérile.

Les caractéristiques physico-chimiques de ces eaux sont présentées dans le **Tableau 5**.

Tableau 5.Caractéristiques des échantillons utilisés.

Paramètres	pH	Conductivité (mS/cm)	Turbidité (NTU)	Absorbance	Matière en suspension (g/l)	Phosphore (mg/l)
Eau usée traité à la sortie de station	7-8	5.94	6	0.415	0,0304	7,69

IV.2. Description des tests de floculation :

IV.2.1. Préparation des coagulants :

Dans un bécher, nous préparons (5,5g) de (Al_2SO_4) et (6,5g) de (Na_2SiO_2) et (5,5g) de (SiO_2) avec 400 ml d'eau distillée, à l'aide d'un agitateur nous agitons le mélange pendant (30min), le mélange est placé sous agitation pendant (3heures) supplémentaires sur une plaque chauffante à une température de 90°C. Après avoir laissé le mélange se décanté, nous récupérons un précipité solide (résidu). Ce solide est lavé à plusieurs reprises avec de l'eau distillée jusqu'à ce que le pH atteigne 7, puis placé dans une étuve pendant 7(heures), **la figure 29**



Figure 27. Préparation de coagulant.

IV.2.2. L'essai de Jar-Test :

Les essais de coagulation-floculation ont été effectués conformément au protocole "Jar Test" sur un flocculateur à six agitateurs, où chaque agitateur avait une vitesse de rotation allant de 0 à 200 tr/min. Ce dispositif permet d'agiter simultanément le liquide contenu dans un certain nombre de bécher, chaque bécher contenant 1L d'eau. Chaque test de floculation a été réalisé en suivant trois étapes :

Une première étape d'agitation rapide de 150 tr/min d'une durée de 3 minutes, durant laquelle le coagulant a été introduit. Une étape d'agitation lente de 30 minutes à 40 tr/min.

Une étape de décantation de 15, 30 ou 60 minutes, après laquelle le surnageant a été recueilli et filtré. Le filtrat a ensuite été analysé. Afin d'évaluer l'efficacité du coagulant dans le traitement des eaux usées, les paramètres suivants ont été déterminés : pH ; Conductivité ; Turbidité ; Matière en suspension ; L'absorbance UV_{254nm}.

IV.2.3.Détermination de la concentration optimale des coagulants :

Pour ce faire, En utilisant des concentrations variant de 5 à 25mg/L, des tests ont été effectués sur le "jar test" en utilisant différentes concentrations de coagulants, tout en maintenant les vitesses d'agitation et le pH aux valeurs optimales obtenues lors des essais précédents. L'objectif était de déterminer la concentration optimale de 15mg/L. Les résultats obtenus ont été représentés dans les courbes suivantes :

IV.3.Etude cinétique du coagulant :

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

IV.3.1.Effet de la concentration du coagulant sur la coagulation :

Les prélèvements sont effectués à une température de 18°C et le pH est de 8,01. Cette eau est traitée par le coagulant PSAS avec des concentrations allant de 5 à 25 mg/l pour chaque dose.

IV.3.2.Effet de la dose de PSAS sur le pH :

A partir des expériences du jar test, on a remarqué que la valeur initiale du pH pour l'eau prélevée est comprise entre 7 à 8,01 car l'eau à traiter est basique à cause des charges négatives des colloïdes. Les résultats obtenus confirment les données bibliographiques, concernant l'ajout du coagulant qui entraîne la formation d'hydroxyde du métal avec libération d'une certaine acidité(hydrolyse) ce qui explique la diminution de la valeur du pH

$$M^{3+} \rightarrow M(OH)^{+2} \rightarrow M(OH)^{+2} \rightarrow M(OH)_3 \rightarrow M(OH)^{+4}$$

La valeur du pH continue à diminuer avec l'augmentant de la concentration du coagulant et elle a atteint **7,10 pour 25 mg/l**. les particules du coagulant apportent aussi des charges positives ce qui contribue aussi à la diminution de la valeur du pH. Arrivant à une certaine concentration de coagulant, le pH diminue avec une variation très faible .Cela est représenté dans la **figure 30**.

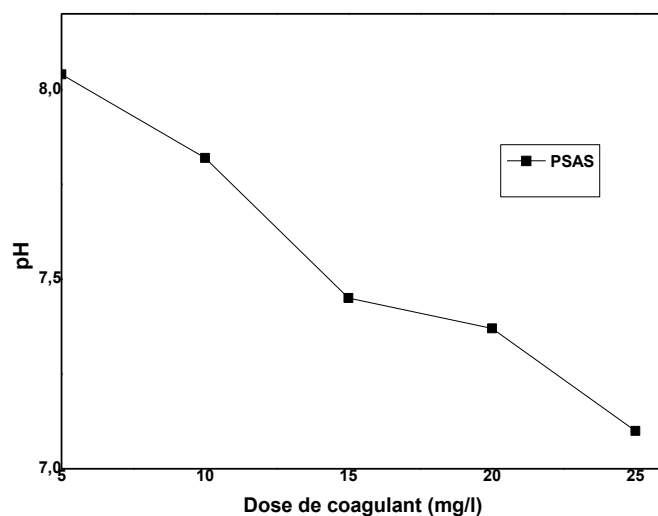


Figure 28. Variation de pH en fonction de la dose de coagulant (PSAS)

Comme La dose du coagulant peut influencer le pH dans le processus de coagulation-floculation dans plusieurs étapes :

Premièrement la Neutralisation des charges, Les coagulants sont utilisés pour neutraliser les charges électriques des particules présentes dans l'eau. Lorsqu'une dose croissante de coagulant est ajoutée, il y a une augmentation de la neutralisation des charges négatives, ce qui peut entraîner une diminution du pH. Puis suivi par une Réactions chimiques, tels que le PAC, peuvent réagir chimiquement avec les composés présents dans l'eau, y compris les ions hydroxyle (OH^-). Ces réactions peuvent entraîner une consommation des ions hydroxyle, entraînant ainsi une diminution du pH.

En fin le procédé ce termine par la Formation des floccs, qui favorisent l'agrégation des particules en floccs plus volumineux. Lorsque la dose du coagulant augmente, une meilleure formation de floccs peut se produire, ce qui peut entraîner une séparation plus efficace des particules et une clarification de l'eau. Cela peut influencer indirectement le pH en éliminant les composés qui peuvent influencer l'alcalinité de l'eau et donc son pH.

IV.3.3.Effet de la dose de PSAS sur La conductivité :

Dans le procédé coagulation-floculation, la mesure de la conductivité est un paramètre important pour obtenir des informations et pour juger la fiabilité du processus, néanmoins sa variation peut nous aider sur le comportement des sels dissous pendant le traitement.

Au cours de notre expérience, nous avons observé une variation peu significative de la conductivité, se situant entre 5.51 et 5.92. De plus, cette variation s'est avérée très peu dépendante, de la concentration du coagulant ajouté, comme illustré dans la **figure 31**.

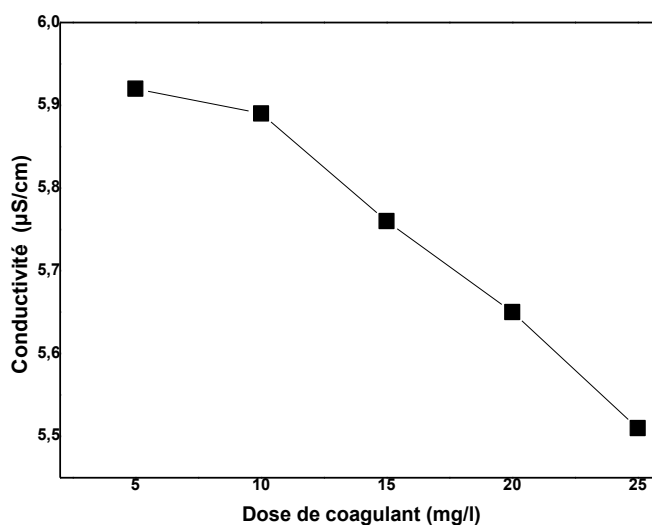


Figure 29. Variation de conductivité en fonction de la dose de coagulant (PSAS)

IV.3.4.Effet de la dose de PSAS sur turbidité :

En se référant aux données présentées dans la figure 29, il est clairement observé qu'une addition d'une dose de coagulant a entraîné une diminution de la turbidité de 5,92 à 2,31 NTU. Ces valeurs de turbidité continuent à diminuer en fonction de la croissance de la dose de coagulante jusqu'à au point optimale qui correspond à la dose de 15 mg/l de PSAS. Des travaux de recherche antérieurs expliquent que cela est dû à la capacité des particules du coagulant à déstabiliser les colloïdes négativement chargés présents dans l'eau à traiter. En neutralisant les charges qui génèrent les forces de répulsion entre les colloïdes, la turbidité diminue. Lorsque la concentration du coagulant atteint 15 mg/l, il a été observé que la valeur de la turbidité atteint 2,31 NTU et reste stable.

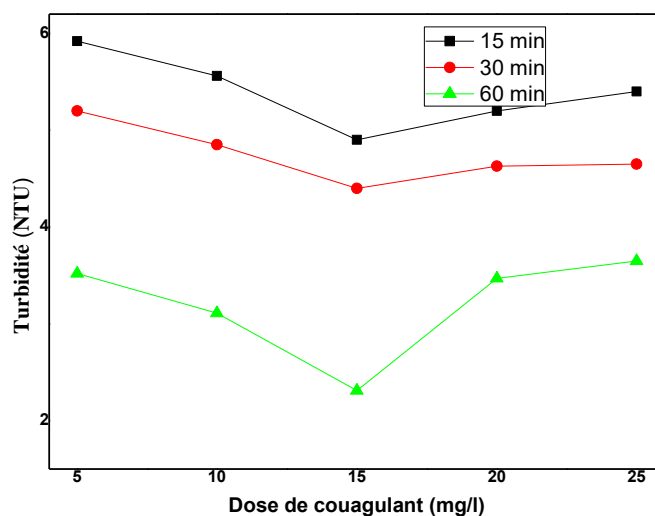


Figure 30. Variation de la turbidité en fonction de la dose de coagulant (PSAS)

La concentration idéale de ce coagulant dans l'eau peut être considérée comme étant **15 mg/l**. À cette concentration, les cations introduits par le coagulant ont été coagulés par la grande majorité des suspensions colloïdales présentes dans le liquide, ce qui a entraîné une amélioration significative de sa transparence.

Lorsque la dose du coagulant dépasse **15 mg/l**, on a observé une augmentation des paramètres mesurés, lesquels augmentent proportionnellement à la quantité de coagulant utilisée. Ceci suggère qu'une surdose de coagulant conduit à la ré-stabilisation des particules colloïdales, réduisant ainsi la disponibilité des sites de liaison entre les particules. Par conséquent, l'eau devient surchargée en coagulant, ce qui entraîne une augmentation de la turbidité. Ces constatations confirment que la dose optimale de coagulant est de **15 mg/l**.

IV.3.5. Effet de la dose de PSAS sur la matière en suspension MES :

La dose du coagulant PSAS utilisé dans ce procédé de coagulation-floculation a une influence directe sur les matières en suspension présentes dans l'eau traitée. Voici comment la dose du coagulant PSAS peut influencer ces matières comme le montre la **figure 33**.

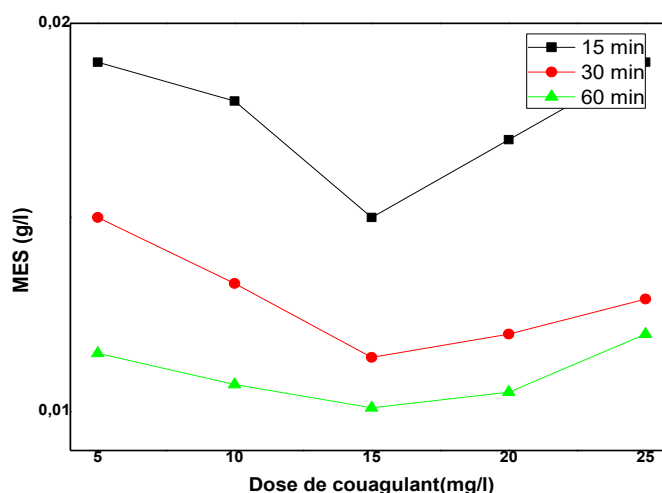


Figure 31. Variation de la matière en suspension (MES) en fonction de la dose de coagulant (PSAS)

Premièrement Formation de floccs : Lorsque la dose de coagulant est trop faible, les matières en suspension ne seront pas efficacement agglomérées et piégées par les particules de coagulant. Cela peut entraîner une inefficacité dans la formation des floccs, qui sont des agrégats de particules en suspension. Par conséquent, une dose adéquate de coagulant qui correspond à **15 mg/l** est nécessaire pour favoriser une agglomération efficace des matières en suspension et la formation des floccs de taille appropriée.

En deuxième phase l'Élimination des matières en suspension avec l'augmentation de la dose du coagulant peut améliorer l'efficacité de l'élimination des matières en suspension. L'ajout de coagulant favorise la neutralisation des charges électriques présentes sur les particules en suspension, ce qui facilite leur regroupement en floccs plus volumineux. Ces floccs plus gros sont plus susceptibles de se déposer ou d'être filtrés, permettant ainsi une élimination plus efficace des matières en suspension de l'eau traitée.

L'Agglomération des particules fines : telles que les colloïdes, peuvent être plus difficiles à éliminer lors du procédé de coagulation-floculation. Une dose adéquate de coagulant favorise la formation de floccs plus solides et plus compacts, ce qui facilite l'agglomération des particules fines. Cela permet une meilleure précipitation et séparation des matières en suspension.

En fin le Surdosage de coagulant quand les dose dépassé **15 mg/l** Cependant, une dose excessive de coagulant peut avoir des effets inverses. Un surdosage peut entraîner une surcoagulation, où

les particules sont excessivement agglomérées, formant des floccs trop gros et lourds. Cela peut entraîner des problèmes de sédimentation inefficace.

Dans notre étude la dose optimal par le coagulant PSAS obtenue à 15 mg/l dans le processus de coagulation-floculation pour assurer une élimination efficace des matières en suspension de 0,0304 à 0,015 , 0,0114 et 0,0101 a différents temps de décantation 15 ,30 et 60min

IV.3.6.Effet de la dose de PSAS sur l'UV₂₅₄ nm :

Dans le procédé de coagulation-floculation, le paramètre UV₂₅₄ nm est un indicateur important pour obtenir des informations ou évaluer l'efficacité du processus. L'UV₂₅₄ nm est une mesure utilisée pour évaluer la matière organique dissoute dans l'eau, notamment les composés organiques aromatiques. L'effet de la dose de coagulant, comme le PSAS (Poly Silicate d'Aluminium de Sulfate), sur l'UV₂₅₄ nm résumé comme suit :

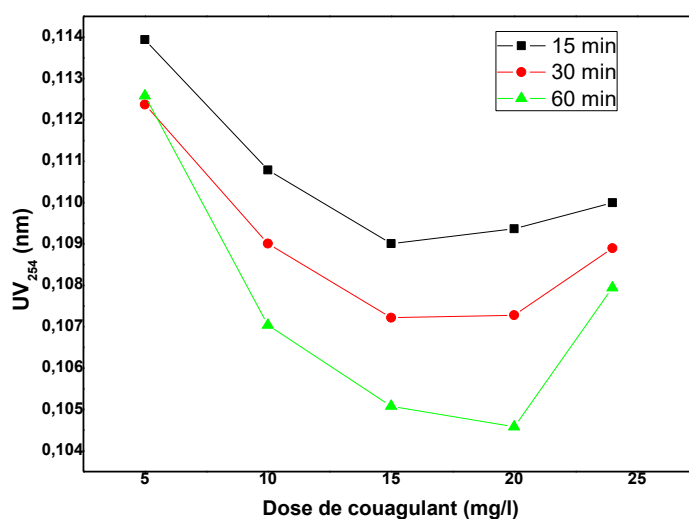


Figure 32. Variation de l'UV₂₅₄ nm en fonction de la dose de coagulant (PSAS)

Pour une dose compris entre 5 à 15 mg/l en remarque le Sous-dosage du coagulant PSAS est insuffisante, il peut y avoir une réduction limitée de l'UV₂₅₄nm. Cela signifie que la quantité de matière organique dissoute dans l'eau n'est pas suffisamment réduite. Les particules en suspension et la matière organique dissoute peuvent ne pas être complètement agglomérées et éliminées par le processus de coagulation-floculation.

À une dose optimale de 15mg/l de PSAS a réagi efficacement avec la matière organique dissoute. Les charges positives générées par le coagulant neutralisent les charges négatives des composés organiques, favorisant ainsi leur agglomération en floccs. Cela conduit à une diminution significative de l'UV_{254nm}, indiquant une réduction efficace de la matière organique dissoute dans l'eau.

Surdosage du coagulant lorsque la dose de PSAS est excessive qui dépasse la dose optimale, cela peut entraîner une sur-agglomération des floccs et la formation de floccs plus volumineux. Cela peut entraîner une réduction de la surface spécifique des floccs, ce qui limite leur capacité à adsorber la matière organique dissoute. Dans ce cas, l'effet sur l'UV_{254nm} peut ne pas être significatif.

En résumé, la dose de coagulant PSAS au tour 15mg/l utilisée dans le processus de coagulation-floculation peut avoir un effet sur l'UV_{254nm}, qui est une mesure de la matière organique dissoute dans l'eau. Une dose optimale de 15mg/l de coagulant permettra une réduction significative de l'UV_{254nm} de 0,415 à 0,103, indiquant une diminution efficace de la matière organique dissoute. Ce qui est montré par nous résultats.

IV.3.7.Effet de la dose de PSAS sur La relation entre la matière en suspension et la turbidité :

La dose de PSAS obtenue dans le processus de coagulation-floculation peut influencer sur la relation entre la matière en suspension et la turbidité de l'eau traitée comme suivants : Une dose optimale permet une agglomération efficace des particules en suspension, conduisant à une réduction de la turbidité. Cependant, un sous-dosage ou un surdosage peut avoir un effet négatif sur cette relation, entraînant une turbidité plus élevée. Il est donc important de trouver le bon dosage pour obtenir les meilleurs résultats en termes de réduction de la matière en suspension et de la turbidité, comme on peut le voir dans la **figure35**.

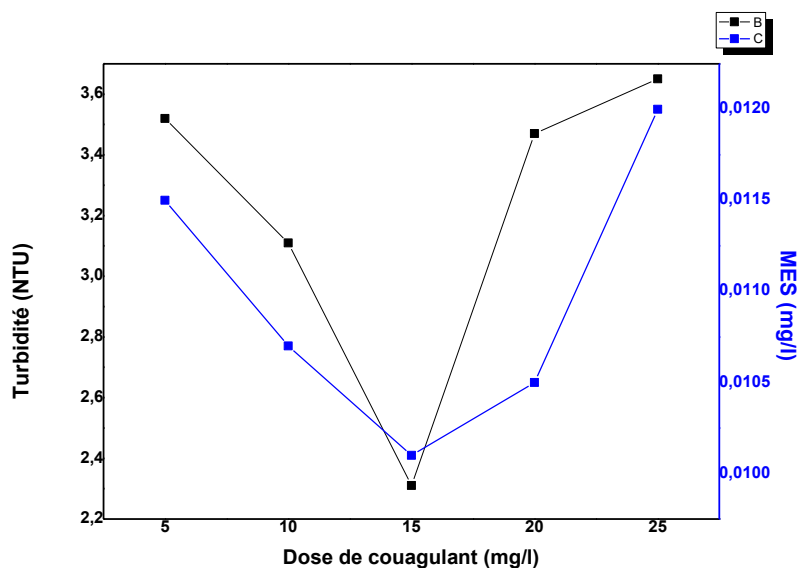


Figure 33. variation de la turbidité en fonction de la matière en suspension par coagulant (PSAS)

Dans la gamme où les doses sont inférieures à la dose optimale de PSAS, celle-ci est insuffisante, il peut y avoir une faible agglomération des particules en suspension. Cela peut entraîner une turbidité plus élevée dans l'eau traitée, car les particules en suspension ne sont pas complètement neutralisées et agglomérées. La quantité de matière en suspension reste élevée, ce qui se traduit par une turbidité élevée.

À une dose optimale qui correspond à **15 mg/l**, le PSAS réagit efficacement avec les particules en suspension présentes dans l'eau. Les charges positives générées par le coagulant neutralisent les charges négatives des particules, favorisant ainsi leur agglomération en floccs plus gros et plus lourds. Cela conduit à une diminution significative de la matière en suspension et, par conséquent, à une réduction de la turbidité de l'eau traitée.

Au-dessus de la dose optimale **15 mg/l** de PSAS, cela peut entraîner une sur-agglomération des particules en suspension et la formation de floccs plus volumineux. Ces floccs peuvent être plus difficiles à éliminer pendant la décantation ou la filtration, ce qui peut entraîner une augmentation de la turbidité de l'eau traitée.

IV.4.Élimination de phosphore par coagulation :

La réduction des taux de phosphates dans les eaux usées traitées est nécessaire pour le contrôle de l'eutrophisation et pour éviter d'autres risques sanitaires liés à ce composé. À cet égard, diverses méthodes sont appliquées pour l'élimination de ce polluant et comprennent plusieurs méthodes de traitements chimiques, biologiques (Deronzier et Choubert, 2004), l'application de procédés de coagulation-floculation par un coagulant polymère inorganique PSAS l'objet de notre étude :

Dans cette partie nous nous sommes proposés d'étudier l'élimination des phosphates par coagulation-floculation par un coagulant PSAS. À cet effet, nous avons étudié l'effet de certains paramètres importants sur le pouvoir d'abattement des phosphates par ce coagulant testé, en particulier, le temps de contact, le pH de la solution, la masse de coagulant, ainsi que la concentration initiale en phosphates.

IV.5.Dosage des phosphates :

IV.5.1.Préparations de la solution mère de phosphate :

La solution contenant du phosphate est préparée en dissolvant 0,440 g de dihydrogénophosphate de potassium séché (formule KH_2PO_4), masse molaire de 136,09 g/mol, souvent abrégé en KDP) dans 1 L d'eau distillée. Ce choix est basé sur deux raisons : d'abord, il permet d'obtenir une composition très similaire aux formes biodisponibles de phosphate (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^-) présentes dans les eaux usées (Nesbitt, 1986). Ensuite, le KDP présente une solubilité élevée dans l'eau, ce qui facilite sa dissolution dans la solution.

IV.5.2.Principe de dosage :

Le dosage des phosphates dans les solutions testées a été fait selon la norme européenne NF EN 1189. Les ions orthophosphates réagissent avec une solution acide contenant des ions molybdate et d'antimoine pour former un complexe d'antimonyl-phospho-molybdate. La réduction du complexe par l'acide ascorbique donne un complexe de molybdène coloré en bleu. La teneur en phosphates peut être exprimée en mg/l de P, de PO_4^{3-} ou de P_2O_5 par la relation :

$$1 \text{ mg/l } \text{PO}_4^{3-} = 0,747 \text{ mg/l } \text{P}_2\text{O}_5 = 0,326 \text{ mg/l } \text{P}$$

Pour déterminer la concentration en orthophosphates présents, on mesure l'absorbance de ce complexe. L'étude de son spectre visible à des longueurs d'onde comprises entre 400 et 800 nm, réalisée à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible type JENWAY 6305 muni d'une cuve de

1cm de largeur, a permis de déterminer la longueur d'onde qui correspond au maximum d'absorbance (λ_{\max}), elle est de l'ordre de 700nm.

IV.5.3.Préparation des solutions étalons :

Nous avons préparé des solutions étalons à des concentrations comprises entre 0 et 1 mg/l en P dans des fioles jaugées de 25 ml à partir de la solution mère qui a été diluée 100 fois. Le réactif combiné a été préparé à partir de :

- 50 ml de la solution d'acide sulfurique ($d = 1,84$, à 15% environ en volume);
 - 5 ml de la solution de tartrate de potassium et d'antimoine (à 2,8 g/l);
 - 15 ml de la solution de molybdate d'ammonium (à 40 g/l).
- Ce réactif a été conservé au réfrigérateur à 4°C.

Dans chaque fiole contenant la solution étalon, on introduit 1 ml de solution d'acide ascorbique à 20 g/l. Après agitation, on rajoute 4 ml de réactif combiné, on mélange et on complète le volume à 25 ml. Après 30 minutes, la coloration se stabilise et on peut effectuer la mesure au spectrophotomètre UV-visible. En accord avec la loi de Beer-Lambert, la densité optique mesurée est linéairement proportionnelle à la concentration en P (**figure36**).

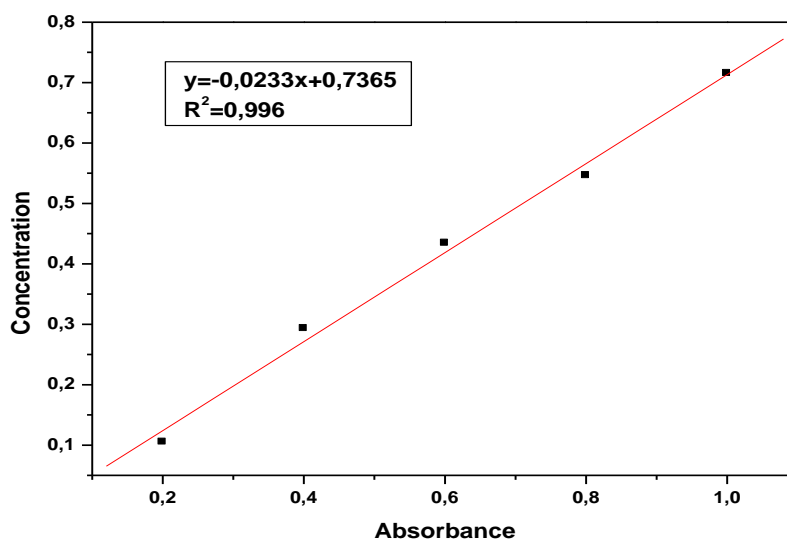


Figure 34. Courbe d'étalonnage du phosphore

IV.5.3.1. Effet de la dose du coagulant sur la déphosphatation:

L'influence de la dose du coagulant sur l'efficacité du traitement est le premier paramètre à étudier lors de la déphosphatation par le procédé coagulation floculation. La dose du coagulant est un paramètre critique, il est le seul paramètre que l'on peut contrôler directement. Pour cela, nous avons effectué une série d'essais en variant la dose du coagulant allant de 5 à 25 mg/l, tout en gardant les autres paramètres constants, comme le pH, température etc.

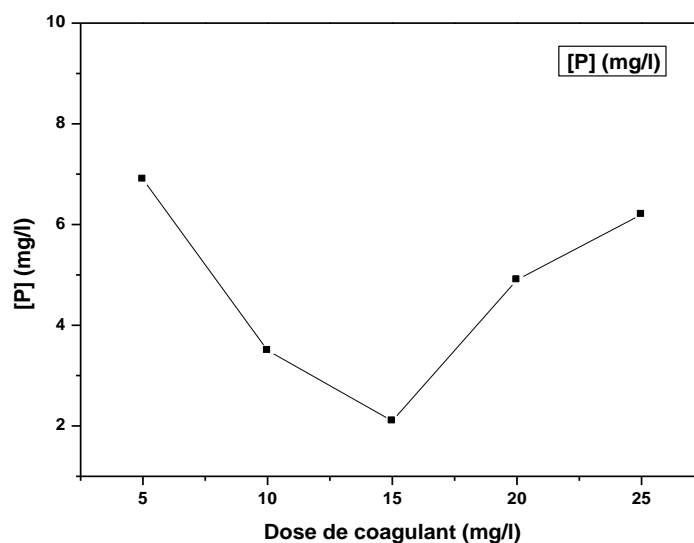
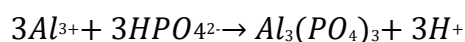
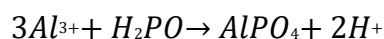


Figure 35. variation de phosphore en fonction de la dose (PSAS).

En suivant l'évolution des taux d'abattement des phosphates en fonction de la dose du coagulant sur la (figure 37) Nous remarquons que le taux d'abattement des phosphates est plus important pour une dose qui correspond à 15 mg/l.

Les orthophosphates sont initialement sous la forme $H_2PO_4^-$ ou HPO_4^{2-} , elles sont probablement éliminées par précipitation avec les ions aluminium selon les réactions suivantes :



IV.5.3.2.Effet de pH sur la déphosphatation :

Pour étudier l'effet du pH sur la cinétique de déphosphatation, nous avons effectué une série d'essais avec sept valeurs du pH : 3,4, 5, 6, 7,8 et 9. Ces valeurs sont ajustées avec des solutions de NaOH et HCl de concentrations identiques (0.1N). Les résultats obtenus sont mentionnés sur la **figure 38**.

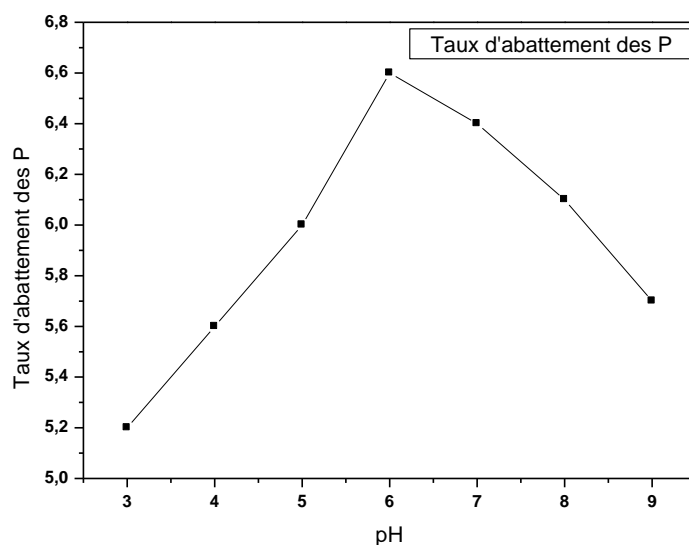


Figure 36. Variation de taux d'abattement des Phosphores (p) en fonction de pH.

D'après les résultats obtenus, on peut constater que le pH a une grande importance sur l'abattement des phosphates qui est plus significatif pour les valeurs 5, 6 et 8 (valeurs proches de la neutralité), mais la valeur optimale de pH qui a donné le meilleur rendement d'élimination des phosphates est le pH 6. Comparativement à pH = 3 (acide), le taux d'abattement est relativement faible, Ce résultat est en accord avec les travaux de Kobya et al, (2010)[58]. Nous pouvons expliquer cela par la présence de certaines espèces monomériques et polymériques à ces valeurs de pH ($Al(OH)^{2+}$, $Al_2(OH)_4^{2+}$, $Al_{13}(OH)_{32}^{7+}$) qui sont très favorables à la formation de l'hydroxyde d'aluminium $Al(OH)_3$, élément actif de la coagulation floculation[61].

Pour une meilleure visibilité des résultats, nous nous sommes intéressés à porter la dose optimale de PSAS qui correspond à 15 mg/l pour l'abattement des phosphates initiales en fonction du pH initial de la solution sur la figure 35.

IV.5.3.3. Effet du temps de la décantation sur la déphosphatation:

Ce paramètre teste l'effet du temps de décantation sur la déphosphatation par ce procédé pour éliminer des fortes teneurs en ions phosphates par un coagulant polymère inorganique le PSAS. Pour ce la nous avons laissé nous différentes solutions à décanter pendant 15,30 et 60min

Le suivi de l'évolution de la concentration des phosphates en fonction du temps de décantation pour les différentes concentrations initiales est illustré sur la (**figure 39**).

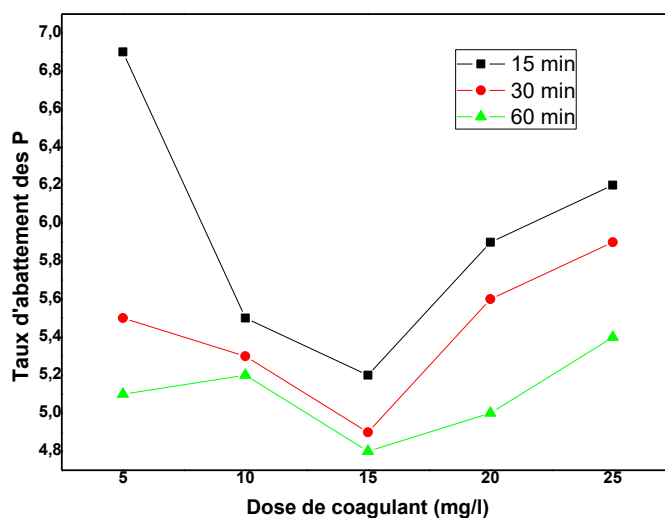


Figure 37. Variation de taux d'abattement des Phosphores (p) en fonction de la dose de coagulant.

La cinétique d'abattement est d'autant plus faible pour un temps de décantation 15 min pour aboutir à l'élimination maximum des phosphates ça nécessite un temps de décantation plus long. En portant sur la figure 39, le temps de décantation nécessaire à l'abattement de la totalité pollution en phosphates en fonction de la teneur initiale, nous constatons que la concentration voisine de 15 mg/l est la charge optimale, avec un temps plus un hour pour avoir un rendement important pour l'abattement du phosphate dans cette eau par ce procédé.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

En conclusion, le traitement des eaux usées par le procédé de coagulation-floculation avec l'utilisation du Poly Silicate d'Aluminium de Sulfate (PSAS) dans les stations d'épuration s'est avéré comme une méthode efficace. Le PSAS agit en tant que coagulant, facilitant l'agrégation des particules et des impuretés présentes dans les eaux usées.

Ce procédé permet non seulement d'éliminer les matières en suspension et les colloïdes, mais il contribue également à améliorer la qualité globale de l'eau traitée. Le PSAS forme des flocons plus volumineux, ce qui facilite leur sédimentation et leur élimination ultérieure.

L'utilisation du PSAS dans le traitement des eaux usées offre plusieurs avantages, tels qu'une efficacité accrue, aussi est une approche prometteuse pour assurer la purification efficace des eaux usées une réduction des coûts d'exploitation et une diminution de l'empreinte environnementale. De plus, ce procédé permet de répondre aux normes réglementaires en matière de rejet d'eaux traitées dans l'environnement.

Nos résultats ont permis de conclure que les eaux usées traitées de la station d'épuration de SIDI AISSA suivies par le procédé coagulation-floculation par les coagulants (PSAS) sont respectueuses à la norme de rejets, en particulier par des matières en suspension (MES) avec des concentrations allant de **0,0304 g/l** jusqu'à 0,015, 0,0114 et 0,0101 g/l à différents temps de décantation 15, 30 et 60 min.

L'efficacité de coagulant présente également un abattement de turbidité de **5,92 à 2,31** NTU, et une réduction significative de l' UV_{254nm} de 0,415 à 0,103, indiquant une diminution efficace de la matière organique dissoute. Ce qui est montré par nos résultats. Et un taux de déphosphatation variant de **7,69** à 4,8 mg/l, pour un temps de décantation 60 min.

Après avoir réalisé une analyse expérimentale sur ces eaux usées, nous avons observé que le procédé de coagulation-floculation avec l'utilisation des coagulants (PSAS) s'avère hautement efficace dans le traitement des eaux usées. Il est essentiel de prendre en compte deux facteurs clés, à savoir le temps d'agitation et de décantation à la fin du processus, afin d'assurer le bon déroulement de ce procédé.

La détermination de la concentration optimale de coagulant est un paramètre essentiel pour la déstabilisation des colloïdes. Nous avons déterminé que la concentration optimale de **15mg** pour un litre d'échantillon, associée à la concentration optimale, ce qui a donné d'excellents résultats en termes d'abattement de pollutions.

Comme perspective, Il est encore nécessaire de caractériser le coagulant PSAS à l'aide des méthodes d'analyse afin de déterminer leur composition chimique et leurs caractérisations texturales et structurales tel que (DRX, FTIR, ATG, MEB, potentiel zêta). De plus, il est essentiel de réaliser des études de traitement supplémentaires sur différents types d'eaux en utilisant d'autres techniques de traitement.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- [1] A. O. Oluduro and B. I. Adewoye, “Efficiency of *Moringa oleifera* seed extract on the microflora of surface and ground water,” *J plant Sci*, vol. 6, pp. 438–453, 2007.
- [2] M. Von Sperling, *Wastewater characteristics, treatment and disposal*. IWA publishing, 2007.
- [3] A. Salim, E. C. E. Coagulation-, and F. E. T. Electrocoagulation-, “Remerciements.”
- [4] N. Fathinatul and R. Nithyanandam, “Wastewater Treatment by using Natural Coagulant,” pp. 2–3, 2014.
- [5] J. Rout, M. Misra, S. S. Tripathy, S. K. Nayak, and A. K. Mohanty, “The influence of fibre treatment on the performance of coir-polyester composites,” *Compos. Sci. Technol.*, vol. 61, no. 9, pp. 1303–1310, 2001.
- [6] S. Boukary, “Traitement des eaux usées industrielles par des procédés membranaires sous climat sahélien : cas des eaux usées de brasserie au Burkina Faso Boukary Sawadogo To cite this version : HAL Id: tel-02071743,” p. 177p, 2019, [Online]. Available: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02071743>.
- [7] S. Dauphin, “Connaissance et controle du fonctionnement des stations d’épuration, interet et limites des moyens metrologiques actuels. Application a la gestion hydraulique d’un decanteur secondaire.” Université Louis Pasteur (Strasbourg)(1971-2008), 1998.
- [8] R. Bourrier, M. Satin, and B. Selmi, *Guide technique de l’assainissement*. Éd. le Moniteur, 2010.
- [9] M. M. Asma, “Diplôme de Doctorat en Sciences Présenté et Soutenu par : A mes deux adorables et agréables parents , mon,” 2016.
- [10] F. BENMEZIANE, “Évaluation du degré de la pollution inorganique des trois bassins du port de Bejaia.” Université de Béjaia-Abderrahmane Mira, 2008.
- [11] B. Lemièrre *et al.*, “Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes,” *BRGM éditions*, vol. 300, p. 132p, 2001.
- [12] E. Koller, *Traitement des pollutions industrielles: eau, air, déchets, sols, boues*. Dunod Paris, France, 2004.
- [13] R. D. Holbrook, J. H. Yen, and T. J. Grizzard, “Characterizing natural organic material from the Occoquan Watershed (Northern Virginia, US) using fluorescence spectroscopy and PARAFAC,” *Sci. Total Environ.*, vol. 361, no. 1–3, pp. 249–266, 2006.

- [14] B. Benkaddour, "Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'Oued Chélif (Algérie)." Université de Perpignan; Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem ..., 2018.
- [15] MIZIA, "Traitement des eaux de rejets d'une raffinerie des corps gras région de Bejaia et valorisation des déchets oléicoles," 2006.
- [16] A. Botta and L. Bellon, "Pollution de l'eau et santé humaine," *Univ. Euro-Méditerranéen TEHYS, Lab. biogénotoxicologie Mutagen. environnementale*, 2001.
- [17] J.-P. Duguet, F. Bernazeau, D. Cleret, A. Gaid, C. Helmer, and A. Laplanche, "Réglementation et traitement des eaux destinées à la consommation humaine," *Astee, Paris*, 2006.
- [18] A. Gaid, *Epuration biologique des eaux usées urbaines*. Office des publications universitaires, 1984.
- [19] L. E. Atomique, "CONTRIBUTION A L ' ETUDE DE LA CONDUCTIVITE DE L ' EAU DE HAUTE PURETE Chantai NENS Rapport C E A - R."
- [20] H. Messrouk, "Contribution à l'évaluation et au traitement des eaux usées dans la région de Ouargla: Cas des composés phénoliques," *Mém. Magister. Univ. KASDI MERBAH Ouargla*. 127p, 2011.
- [21] J. Rodier, "L'analyse de l'eau naturelle, eaux résiduaires, eaux de mer. 8ème Edition DUNOD technique," *Paris*, pp. 1008–1043, 2005.
- [22] T. M. H, "chimie des eaux," 1992.
- [23] J. Suschka and E. Ferreira, "Activated sludge respirometric measurements," *Water Res.*, vol. 20, no. 2, pp. 137–144, 1986.
- [24] M. S. Metahri, "Elimination siultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes: cas de la STEP est de la ville de Tizi Ouzou." Université Mouloud Mammeri, 2012.
- [25] M. D. E. F. I. N. D. Etude, "Memoire de fin d'etude," no. Urac 42.
- [26] "analyse eau -rodier--1.pdf." .
- [27] M. D. E. F. I. N. D'ETUDES, M. D. E. T. I. DE DONNÉES, C. A. S. D. Q. S. ÉLECTRIQUES, and A. U. B. DE LA MER, "MENTION PHYSIQUE ET APPLICATIONS."

- [28] J. E. Potelon and K. Zysman, “Guide des analyses de l’eau potable, Ed.»,” *La Lett. du cadre Territ. SERT Doss. d’expert, Fr.*, 1998.
- [29] G. S. Pettygrove and T. Asano, “Irrigation with reclaimed municipal wastewater,” Univ. of California, 1985.
- [30] O. Hydrauliques, “Mémoire de Master Thème : La réutilisation des eaux usées traités en agriculture à partir de la station d ’ épuration (Ain Bouchakif) de la wilaya de Tiaret,” 2019.
- [31] A. Stoddard, J. B. Harcum, R. K. Bastian, J. T. Simpson, and J. R. Pagenkopf, *Municipal wastewater treatment: evaluating improvements in national water quality*. John Wiley & Sons, 2003.
- [32] C. Richard, *Les eaux, les bactéries, les hommes et les animaux*. Elsevier, 1996.
- [33] B. BERNIER, P. P. DUMOULIN, and R. TETREAULT, “Guide pour l’étude des technologies conventionnelles de traitement des eaux usées d’origine domestique Direction des politiques du secteur municipal,” *Serv. l’expertise Tech. en eau. Fr.*, 2001.
- [34] A. and ADEME, ““Guide méthodologique d’évaluation des émissions de gaz à effet de serre des services de l’eau et de l’assainissement,”” 2013.
- [35] B. N. et E. F., “Épuration des eaux usées par les procédés des boues activées au niveau de la commune de Touggourt.,” 2009.
- [36] A. Gaid, “Épuration biologique des eaux usées urbaines tome I, édition OPU, Alger,” 1984.
- [37] S. Marc and B. Selmi, “Guide technique de l’assainissement, 3eme édition, LE MONITEUR,” *P389 P*, vol. 406, 2006.
- [38] S. Daneshgar, A. Callegari, A. G. Capodaglio, and D. Vaccari, “The potential phosphorus crisis: resource conservation and possible escape technologies: a review,” *Resources*, vol. 7, no. 2, p. 37, 2018.
- [39] V. Brahy, “L ’ eutrophisation et l ’ enrichissement en nutriments.”
- [40] S. M. Rybicki and E. Plaza, “Gains of Swedish-Polish research co-operation in environmental engineering,” in *Proceedings of Polish-Swedish seminar on integration and optimization of urban sanitation systems*, 2006, pp. 17–18.
- [41] D. Alderson, J. Charles & Wall, “No Titleバイオフィードバックへの工学的アプローチ,” *Japanese Soc. Biofeedback Res.*,

- vol. 19, pp. 709–715, 1992, doi: 10.20595/jjbf.19.0_3.
- [42] J. F. Villebrun, “La déphosphatation biologique appliquée à la station d’épuration de Craon,” *Rapp. la DDAF la Mayenne*, 1989.
- [43] M. Dernas, P. Elmerich, and M. Pouillot, “Vers une optimisation de la déphosphatation physico-chimique,” *L’eau, l’industrie, les nuisances*, no. 182, pp. 34–38, 1995.
- [44] D. Frioux, “Le numérique à l’école : l’eutrophisation des esprits,” vol. 1, pp. 1–3, 2017, doi: 10.3917/etu.4234.0099.
- [45] J. Capblancq and H. Decamps, “ARTICLE L ’ eutrophisation des eaux continentales : questions propos d ’ un processus complexe,” vol. 10, pp. 6–17, 2002.
- [46] M.-A. Parant, “Évaluation de la performance en essais en colonnes d’un recouvrement actif pour contrer l’eutrophisation du lac Saint-Augustin (Québec).” Université Laval, 2007.
- [47] D. U. Qu *et al.*, “Étude du processus de coagulation-floculation du système montmorillonite-chitosane dans l’élimination de métaux de transition,” 2006.
- [48] M. Maurer and M. Boller, “Modelling of phosphorus precipitation in wastewater treatment plants with enhanced biological phosphorus removal,” *Water Sci. Technol.*, vol. 39, no. 1, pp. 147–163, 1999.
- [49] G. Deronzier and J.-M. Choubert, “Traitement du phosphore dans les petites stations d’épuration à boues activées,” *Doc. Tech. FNDAE*, vol. 29, 2004.
- [50] S. Y. Gebremariam, M. W. Beutel, D. Christian, and T. F. Hess, “Research advances and challenges in the microbiology of enhanced biological phosphorus removal—a critical review,” *Water Environ. Res.*, vol. 83, no. 3, pp. 195–219, 2011.
- [51] H. Zhang *et al.*, “Removal of refractory organics in wastewater by coagulation/flocculation with green chlorine-free coagulants,” *Sci. Total Environ.*, vol. 787, p. 147654, 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.147654.
- [52] “Coagulants et floculants Par Yves Mottot Une application majeure : le traitement des eaux,” pp. 1–10, 2000.
- [53] T. Chen, M. Niu, X. Wang, W. Wei, J. Liu, and Y. Xie, “RSC Advances,” *RSC Adv.*, vol. 5, pp. 93187–93193, 2015, doi: 10.1039/C5RA13996A.
- [54] L. E. S. Particules, M. E. Jeu, and L. E. S. Colloïdes, “Chapitre I COAGULATIO - FLOCCULATIO.”

- [55] J. Buffle, K. J. Wilkinson, and S. Stoll, "A Generalized Description of Aquatic Colloidal Interactions : The Three-colloidal Component Approach," vol. 32, no. 19, pp. 2887–2899, 1998.
- [56] S. Matériaux, "Thèse lmd," 2018.
- [57] U. Kasdi, M. Ouargla, F. Des, S. Appliquees, M. Academique, and H. H. Saadia, "Imen," 2017.
- [58] A. S. U. R. Les, "Potentiels thermodynamiques (PC*)," vol. 0, pp. 1–20, 2010.
- [59] SDTech Nano, "La mesure du potentiel Zêta pour comprendre , stabiliser et contrôler," *SDTech Nano*, pp. 1–4, 2017, [Online]. Available: <http://nano.sdttech.com/files/fr/pdf/publication/2017/Zeta.pdf>.
- [60] S. Heddami and A. Bermad, "Journal of Water Science Modélisation de la dose de coagulant par les systèmes à base d ' inférence floue (ANFIS) application à la station de traitement des eaux de Boudouaou (Algérie) Modelling coagulant dose with an adaptive neuro-fuzzy inference sy," 2021.
- [61] M. Achak, N. Ouazzani, A. Yaacoubi, and L. Mandi, "Revue des sciences de l ' eau Journal of Water Science Caractérisation des margines issues d ' une huilerie moderne et essais de leur traitement par coagulation-floculation par la chaux et le sulfate d ' aluminium . Modern olive mill effluent characteriza," 2023.
- [62] P. 1 : T. de l ' Eau"., "No Title."
- [63] G. De Recherche, E. Sol, and V. Pallier, "Ecole Doctorale Science - Technologie - Santé Pour obtenir le grade de Discipline : Chimie et Microbiologie de l ' Eau Présentée par Elimination de l ' Arsenic par Coagulation Floculation et Electrocoagulation d ' Eaux Faiblement Minéralisées," 2008.
- [64] P. Mouchet, "traitement des eaux avant utilisation (matière particulaire)," 2010.
- [65] C. Desjardins, "Titre: Simulation et étude en laboratoire de la floculation lestée," 1999.
- [66] Teramoto, "Deep ocean circulation: physical and chemical aspects.," p. 382, 1993.
- [67] I. Majdy, E. Cherkaoui, A. Nounah, and M. Khamar, "Le traitement physico-chimique par coagulation-floculation des rejets des eaux usées de la ville de Salé (The physico-chemical treatment by coagulation flocculation of wastewater discharges from the city of Sale)," vol. 6, no. 3, pp. 834–839, 2015.
- [68] L. Hecini, "Journal of Water Science Coagulation-floculation au sulfate d ' aluminium de

-
- composés organiques phénoliques et effet de sels de calcium et de magnésium
Coagulation-flocculation by aluminum sulfate of organic phenolic compounds and effect
of calcium and m,” 2023.
- [69] T. Hocine, K. Benhabib, B. Bouras, and A. Mansri, “Comparative study between new polyacrylamide based copolymer poly (AM-4VP) and a cationic commercial flocculant: application in turbidity removal on semi-industrial pilot,” *J. Polym. Environ.*, vol. 26, pp. 1550–1558, 2018.
- [70] P. Aragonés-Beltrán, J. A. Mendoza-Roca, A. Bes-Piá, M. García-Melón, and E. Parra-Ruiz, “Application of multicriteria decision analysis to jar-test results for chemicals selection in the physical–chemical treatment of textile wastewater,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 164, no. 1, pp. 288–295, 2009.