

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Mémoire du Projet de Fin d'étude

2^{ème} Année Master



Département: Génie des Procédés
Spécialité :Génie des procédés des matériaux

Présenté par :

YAKHLEF Sarra

STITI Chayma

=====

**Étude comparative entre le traitement des eaux usées par
coagulation -floculation et le procédé d'épuration appliqué au
niveau de la STEP de Guelma**

=====

Sous la direction de :

Dr. BELBAH Hayet

Juin 2022

ملخص:

الهدف من هذا العمل هو المعالجة الفيزيائية والكيميائية لمياه الصرف الصحي عن طريق التخثر -التلبد باستخدام كبريتات الالمنيوم كمادة التخثر كيميائية، وكربونات الكالسيوم كمادة مساعدة. هذه الطريقة هي واحدة من أساليب العلاج المناسبة للحد من التلوث المياه. وبالتالي تم اجراء العديد من الاختبارات من الاجل تحديد الظروف المثلى التي تجعل من الممكن تقليل المواد العالقة،المواد العضوية،مقارنة بالاختبارات التي أجريت في محطة معالجة مياه الصرف الصحي لولاية قالمة لنبيين من هي أحسن طريقة للمعالجة.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها ان التخثر والتلبد هي تقنية جيدة للغاية في معالجة المياه مقارنة بالتقنية التي تستعمل في محطة معالجة الصرف الصحي لولاية قالمة.

الكلمات المفتاحية: مياه الصرف الصحي، محطة معالجة المياه،التخثر-التلبد، المواد المساعدة، الخصائص الفيزيائية والكيميائية.

Résumé

L'objectif de ce travail consiste au traitement physico-chimique des eaux usées par coagulation – flocculation en utilisant le sulfate d'aluminium comme coagulant chimique, et du carbonate de calcium comme adjuvant. 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 permet de réduire les matières en suspension (MES), les matières organiques (MO), par rapport aux essais réalisés dans la station d'épuration de Guelma STEP pour montrer quelle est la meilleure méthode de traitement.

Il en sort que la coagulant- flocculant choisis comme méthode de traitement des eaux usées joue un rôle très crucial dans l'élimination des polluants

Mots clés : Eaux usées, STEP Guelma, Coagulation–flocculation

Abstract

The objective of this work is the physico-chemical treatment of wastewater by coagulation-flocculation using aluminum sulphate as a chemical coagulant, and calcium carbonate as an adjuvant. This method is one of the appropriate treatment techniques to reduce water pollution. Thus, numerous jar-test tests have been carried out in order to determine the optimal conditions which make it possible to reduce suspended solids (SS), organic matter (OM), compared to the tests carried out in the Guelma wastewater treatment plant. STEP to show which is the best treatment method. It emerges that the coagulant-flocculant chosen as a method of wastewater treatment plays a very crucial role in the elimination of pollutants.

Keywords: Wastewater, STEP Guelma, Coagulation–flocculation,

Remerciements

En tout d'abord, nous remercions le Bon Dieu, Tout-Puissant, car il nous a donné la force, la santé et la volonté d'initier et de déformer ce travail.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mme H. BELBAH, on la remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa compétence, sa rigueur, et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Merci encore pour le responsable de la direction de la station d'épuration des eaux usées de Guelma qui nous ont accepté. nous remercions

également toute l'équipe du laboratoire surtout Mme . Benfreikh Abba qui nous ont fourni gracieusement du matériel d'analyse pour mener à bien nos expérimentations sur les paramètres physico chimiques et et qui nous ont donné tous les informations nécessaires pour enrichir notre travail.

Nos remerciements vont également aux membre de jury pour l'interet qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leur propositions

Nos remerciements vont également à tous les enseignants et le personnel de département génie des procédés faculté ST de l'Université 8 mai 45 qui nous ont beaucoup encouragé et soutenu tout au long du cycle d'étude. Mes sincères gratitudes vont également à tous mes collègues et amis(es).

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à:

*À mes chers parents, que nulle dédicace ne puisse exprimer
mes sincères sentiments,*

*Pour leur patience illimitée, leur encouragement
continu, leur aide, en témoignage de mon profond
amour et respect pour leurs grands sacrifices*

*À mes frères «Abd Ellmalak et Yahia et Ismail»
qui m'avez toujours soutenu et encouragé durant
ces années d'études*

*À tous mes amis de promotion de 2eme année
master génie chimique*

À mon chère binôme «StitiChaima»

À tous ceux que j'aime

*Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que
ce travail soit possible, je vous dis merci.*

Dédicace

*Avec l'aide et la protection d'ALLAH
s'est réalisé ce modeste travail
Je dédie ce travail à :*

A toi papa.

L'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que Dieu le bénisse.

A

La lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, Ma vie et mon bonheur ; maman que j'adore.

A

Pour l'amour et l'affection qui nous unissent. Je ne saurais exprimer ma profonde reconnaissance pour le soutien continu dont tu as toujours fait preuve. Tu m'as toujours encouragé, incité à faire de mon mieux, ton soutien m'a permis de réaliser le rêve tant attendu, mon mari Ahmed.

A

Mon espoir dans la vie et la plus belle chose que Dieu m'a donné. A mon fils, mon prunelle de mes yeux Que Dieu le protège et prenne soin de lui, abd raouf.

A mes frères : Bilal, raouf

A ma soeur : Roumaissa

A ma binôme : sarra

A tous mes enseignants

Et aux les familles Stiti et Henni petit et grand.

Chayma

Sommaire

Résumé	
Remerciements	
Dédicace	
Liste des figures	V
Liste des tableaux	VII
Liste des abréviations	VIII
Introduction générale	1
Chapitre I : Notions sur les eaux usées	
I.1 Introduction	3
I.2 Définition des eaux usées	3
I.3 Origines des eaux usées	3
I.3.1 Les eaux usées domestiques	4
I.3.2 Les eaux usées industrielles	4
I.3.3 Les eaux usées pluviales	4
I.3.4 Les eaux usées agricoles	5
I.4 Composition des eaux usées	5
I.5 Pollution des eaux usées	6
I.5.1 Pollution physique	6
I.5.2 Pollution chimique	6
I.5.3 Pollution microbiologique	7
I.6 Paramètres de mesure de la pollution	7
I.6.1 Paramètres physico-chimiques	8
I.6.1.1 Demande chimique en oxygène (DCO)	8
I.6.1.2 Demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	8
I.6.1.3 Biodégradabilité	8
I.6.1.4 Matières en suspension (MES)	9
I.6.1.5 Oxygène dissous (OD)	9
I.6.1.6 Conductivité électrique (EC)	10
I.6.1.7 La température	10
I.6.1.8 Potentiel hydrogène (pH)	10
I.6.1.9 Turbidité	11
I.6.1.10 Azote (N)	11
I.6.1.11 Ammonium (NH ₄ ⁺)	11
I.6.1.12 Phosphore	11
I.6.2 Paramètres biologiques	12
I.6.3 Paramètres organoleptiques	13
I.6.4 Paramètres toxiques	13
I.7 Normes de rejets	14
I.7.1 Normes internationales	14
I.7.2 Normes Algériennes	14
I.8 Impacts des eaux usées	15
I.8.1 Sur le milieu aquatique	15
I.8.2 Sur la santé humaine	16
I.9 Conclusion	16
Chapitre II : Procédés d'épuration des eaux usées	
II.1 Introduction	17
II.2 Définition de l'épuration	17
II.3 Description de la station d'épuration des eaux usées de Guelma	17
II.3.1 Emplacement et alimentation	17
II.3.2 Point de Rejet	18

II.4 Procédés d'épuration des eaux usées	19
II.4.1 Prétraitement	21
1- Dégrillage	21
2-Dessablage et Déshuilage	21
II.4.2 Traitement primaire	22
II.4.3.Traitement secondaire	23
1-Traitement biologique	23
2-Traitement par voie physico-chimique	25
II.5 Traitement des boues	27
II.6 Conclusion	28

Chapitre III : Coagulation-Floculation

III.1 Introduction	29
III.2 Particules en suspension et colloïdales	29
III.3 Théorie de la double couche	30
III.4 Clarification	30
III.4.1 Coagulation –floculation	31
III.4.2 Principe et mécanismes de la coagulation –floculation	31
III.4.2.1 Principe	31
III.4.2.2 Mécanisme	32
1) Optimisation de la coagulation	32
2) Modes de déstabilisation	33
III.4.3 Les coagulants utilisés	35
1) Les sels d'aluminium	35
2) Les sels de fer	36
III.4.4 Facteurs influençant la coagulation	37
1) Influence du pH	37
2) L'influence de la température de l'eau	38
3) L'influence du coagulant	38
4) Influence de la turbidité	38
5) Influence de la couleur	38
6) Influence de l'agitation	39
III.5 Floculation	39
III.5.1 Principe de la floculation	39
III.5.2 Flocculants utilisés	39
1) Flocculant organiques	40
2) Flocculant minérales	40
3) Flocculant de synthèses	40
III.6 Décantation	40
III.7 Filtration	40
III.8 Conclusion	41

Chapitre IV : Matériels et méthodes

IV.1 Introduction	42
IV.2 Eaux usées traitées par boue activée	42
IV.2.1 Echantillonnage	42
IV.1.2 Condition de prélèvement	42
IV.1.3 Analyses physico –chimiques	43
1) Mesure de la température	43
2) Mesure du pH	43
3) Mesure de La conductivité électrique (CE)	44
4) Mesure de la matière en suspension (MES)	45

5) Demande chimique en oxygène (DCO)	46
6) L'azote des nitrites NO_2^-	47
7) L'azote des nitrates NO_3^+	48
8) L'azote ammoniacal NH_4^+	49
9) L'Orthophosphate OPO_4^{3-}	50
IV.2 Eaux usées traitées par coagulation – floculation	52
IV.2.1 Détermination de la dose optimale du coagulant	52
1) Préparation du coagulant	52
2) Dispositifs expérimentaux	52
IV.2.2 Détermination de la dose optimale du flocculant	53
1) Préparation du flocculant	53
2) Dispositifs expérimentaux	53
3) Appareillage	54
IV.3 Analyses physico-chimiques	55
1) Mesure Température	55
2) Mesure de pH	55
3) Mesure de conductivité	56
4) Mesure de la turbidité	56
5) Mesure de l'absorbance	56
6) Dosage du sodium (Na^+) et de potassium (K^+)	57
Chapitre V : Résultats et discussion	
V.1 Introduction	58
V.2 Analyses de l'eau au niveau de la STEP de Guelma	58
V.2.1 Analyses physiques	58
1) Variation de la température	58
2) Variation de potentiel hydrogène (pH)	59
3) Variation de la conductivité	60
4) Variation de la matière en suspension (MES)	61
V.2.2 Analyses chimiques	62
1) Demande chimique en oxygène (DCO)	62
2) Nitrate (NO_3^+)	63
3) Nitrite (NO_2^-)	63
4) Ammonium (NH_4^+)	64
5) Orthophosphore (OPO_4^{3-})	65
V.3 Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau traitée par coagulation-floculation	65
V.3.1 Phase coagulation	65
V.3.1.1 Caractéristiques de l'eau brute	65
V.3.1.2 Effet de sulfate d'aluminium sur la variation des paramètres physiques	66
1) Variation de potentiel hydrogène pH	66
2) Variation de la conductivité	67
3) Variation de la turbidité	68
4) Variation de l'absorbance-UV	69
V.3.3 Phase floculation	70
V.3.3.1 Effet du flocculant sur la variation des paramètres physiques	70
1) Variation de potentiel hydrogène pH	70
2) Variation de la conductivité	71
3) Variation de la turbidité	72
4) Variation de l'absorbance UV	72

V.4 Comparaison des paramètres physico-chimiques	73
1) variation de la matière en suspension (MES)	73
2) Résultats des analyses physico-chimiques	74
3) Variation de la concentration	75
4) Variation de la turbidité	76
5) Variation de l'absorbance	76
V.5 Conclusion	77
Conclusion générale	78
Références Bibliographiques	80

Liste des figures

Figure I.1: une eau usée	3
Figure I.2 : Vue microscopique des virus	12
Figure I.3 : Vue microscopique des bactéries	12
Figure II.1: Vu de la STEP de Guelma (Google earth, 2021)	18
Figure II.2: Filière d'épuration	20
Figure II.3 : Dégrillage (STEP Guelma 2022)	21
Figure II.4 : Déssableur – Déshuileur (STEP Guelma 2022)	22
Figure II.5 : Décanteur primaire (STEP Guelma 2022)	23
Figure II.6 : Bassin d'aération (STEP Guelma 2022)	25
Figure II.7: Clarificateur (STEP Guelma 2022)	26
Figure II.8 Bassin de désinfection (STEP Guelma 2022)	26
Figure II.9 : Épaississeur (STEP Guelma 2022)	27
Figure II.10: Lits de séchage (STEP Guelma 2022)	28
Figure III.1 : structure des colloïdes «théorie de la double couche	30
Figure III.2: Processus de coagulation -floculation	31
Figure III.3: Représentation schématique de la compression de la couche diffuse	33
Figure III.4 : Représentation schématique de neutralisation des charges	34
Figure III.5: Emprisonnement des particules dans les floes pendant la décantation	34
Figure III.6 : Adsorption et pontages à l'aide d'un polymère	35
Figure III.7 : Sulfate d'aluminium poudre	35
Figure III.8: Sulfate ferrique en poudre	36
Figure III.9: Chlorure ferrique en poudre	37
Figure IV. 1: Prélèvement à l'entrée	42
Figure IV. 2: Prélèvement à la sortie	42
Figure IV.3 : pH-mètre.	44
Figure IV.4: Conductimètre	44
Figure IV 5 : un dessiccateur, système d'aspiration et le filtrant	45
Figure IV.6: l'eau brute et l'eau épurée à gauche au milieu Réacteur utilisée pour la mesure de DCO à droite Spectrophotomètre	46
Figure IV7 : Demande chimique en oxygène (DCO)	47
Figure IV.8 : Analyse de l'azote des nitrites	48
Figure IV.9 : Analyse de l'azote des nitrates	49
Figure IV.10 : Analyse de l'ammonium	50
Figure IV.11: Analyse de l'Orthophosphate OPO_4^{3-}	51
Figure IV.12 : Becher sous agitation à gauche solution du coagulation à droite	52
Figure IV.13 : phase de floculation à gauche solution de la flocculant $CaCO_3$ à droite	53
Figure IV.14: Mesure de la température dans la phase coagulation - floculation	55
Figure IV.15 : Mesure du pH dans la phase coagulation-floculation	55
Figure IV.16 : Mesure de conductivité dans la phase coagulation-floculation	56
Figure V.1 : Histogramme des valeurs moyennes de la température de l'eau brute et épurée.	59
Figure V.2 : Histogramme des valeurs moyennes de pH de l'eau brute et épurée.	60
Figure V.3 : Histogramme des valeurs moyennes de la conductivité de l'eau brute et épurée.	60

Figure V.4 : Histogramme des valeurs moyennes de MES de l'eau brute et épurée.	61
Figure V .5 : Histogramme des valeurs moyennes de DCO de l'eau brute et épurée.	62
Figure V .6 : Histogramme des valeurs moyennes de NO_3^- de l'eau brute et épurée.	63
Figure V .7 : Histogramme des valeurs moyennes de NO_2^- de l'eau brute et épurée.	64
FigureV.8 : Histogramme des valeurs moyennes de NH_4^+ de l'eau brute et épurée	64
FigureV .9 : Histogramme des valeurs moyennes de (OPO_4^{3-}) de l'eau brute et épurée.	65
FigureV.10 : Histogramme des valeurs moyennes de différent paramètre de l'eau brute	66
Figure V .11 : Histogramme des valeurs pH de l'eau traité après coagulation.	67
Figure V .12 : Histogramme des valeurs moyennes de conductivité en fonction de la concentration de coagulant.	68
Figure V .13 : Histogramme des valeurs moyennes de la turbidité en fonction de la concentration de coagulante.	68
Figure V .14 : Histogramme des valeurs moyennes de l'absorbance UV en fonction de la concentration de coagulante	69
Figure V .15 : Histogramme des valeurs moyennes de pH en fonction de la concentration de floculant.	70
Figure V .16 : Histogramme des valeurs moyennes de la conductivité en fonction de la concentration de floculant.	71
Figure V .17 : Histogramme des valeurs moyennes de la turbidité en fonction de la concentration de floculant.	72
Figure V .18 : Histogramme des valeurs moyennes de l'absorbance.	73
Figure V .19 : Histogramme des valeurs moyennes de MES de l'eau brute et épurée par la STEP et l'eau traitée par coagulation- floculation.	74
Figure V .20 : Histogramme des valeurs moyennes de la concentration des éléments chimique.	75
Figure V .21 : Histogramme des valeurs moyennes de la turbidité de l'eau brute et épurée par la STEP et l'eau traitée par coagulation- floculation.	76
Figure V .22 : Histogramme des valeurs moyennes de l'absorbance de l'eau brute et épurée par la STEP et l'eau traitée par coagulation- floculation	76

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Composants majeurs typique d'eau usée domestique	5
Tableau I.2 : Classification des eaux d'après leur pH	10
Tableau I.3 : Classes de turbidité usuelles (NTU, Nephelométric Turbidité Unit)	11
Tableau I.4 : Normes de rejets internationales	14
Tableau I.5 : Normes de rejet des eaux usées appliquées en Algérie	15
Tableau III.1 : Les zones de prédominance des hydroxydes de fer et d'aluminium	37
Tableau IV.1 : Tableau d'appareillage	54
Tableau V.1 : Valeurs mesurées par la station d'épuration des eaux de Guelma pour la température, pH, conductivité et matière en suspension.	58
Tableau V.2 : Analyses chimiques de l'eau.	62
Tableau V.3 : Caractéristiques de l'eau brute	66
Tableau V.4 : variation de potentiel hydrogène	67
Tableau V.5 : La variation de la conductivité.	67
Tableau V.6 : La variation de la turbidité.	68
Tableau V.7 : La variation d'absorbance-UV pour deux longueurs d'ondes (254-270 nm) en fonction de la concentration du coagulant.	69
Tableau V.8 : La variation de potentiel hydrogène en fonction de la concentration du flocculant.	70
Tableau V.9 : La variation de la conductivité	71
Tableau V.10 : La variation de la turbidité	72
Tableau V.11 : La variation d'absorbance-UV254-270nm en fonction de la concentration du flocculant.	72
Tableau V.12 : La variation de la matière en suspension (MES)	74
Tableau V.13 : Résultats des analyses physico-chimiques des eaux (E.B, E.T, E.F)	75

Liste des abréviations

Abs :Absorbance
Al(OH)₃ : hydroxyde d'aluminium
C_c :Concentration du coagulant
C_f:Concentration du flocculant
C.E :Conductivité Électrique
DBO : Demande Biochimique en Oxygène pendant 5jours
DCO : Demande Chimique en Oxygène
EB :Eau Brute
E.C: Eau usée avec Coagulant
E.F :Eau avec Flocculant
E.T: Eau Traitée
FeCl₃ :Chlorure de fer
Fe(OH)₃ :Hydroxyde ferrique
K :Constatant de la biodégradabilité
MD:Matière Décantable
MES :Matière En Suspension
MEST :Matières En suspension Totale
MM:Matière Minerals
MO :Matière Organique
MVS : Matière volatiles Sèche
OD:Oxygène Dissous
OMS : OrganisationMondiale de la Santé
STEP :Station d'épuration des eaux usées
TDS: Taux des Sels Dissous
NTU : Unité Néphélométrique de turbidité
ms/cm : milli siemens par centimètre
nm : nanomètre
Trs/min : Tours par minute
uv : ultra-violet



Introduction

Générale



Introduction générale

Le traitement des eaux usées occupe une place importante dans les soucis environnementaux de notre pays car les rejets d'eaux résiduelles ont fortement évolués en quantité et qualité depuis quelques décennies. Les pollutions présentes dans l'eau sont d'origines diverses : industrielle, domestique ou agricole.

En Algérie, les rejets des eaux usées augmentent du fait de la croissance démographique, l'évolution des modes de vie de la population et l'industrialisation, les collectivités locales doivent chercher les meilleures solutions pour faire face aux quantités énormes des eaux usées déversées dans la nature sans aucun traitement. En effet ces rejets, peuvent non seulement détériorer gravement l'environnement mais aussi entraîner des risques sur l'homme, d'où la nécessité de traiter ces eaux usées avant de les rejeter dans le milieu récepteur ou leur réutilisation dans l'irrigation.

Déférentes techniques de traitement sont utilisées quelle soient mécaniques et physiques ou biologiques. Mais après ces opérations l'eau contient toujours une quantité des substances composées de matière en suspension, de colloïdes et des particules très fines difficilement décantables, pour éliminer ces particules, on a recours aux procédés de coagulation-floculation. La coagulation –floculation est un processus physico-chimique, qui permet de transformer la suspension colloïdale ainsi que la matière organique dissoute en des particules plus importantes aptes à sédimenter. **(Belhadj, 2019)**

La coagulation floculation est largement utilisée pour le traitement des eaux usées, car elle est efficace et simple à utiliser. Procédé d'ablation chimique permettant de convertir une suspension colloïdale ainsi que la matière organique dissoute en molécules plus grosses. Le but principal de la coagulation est de déstabiliser les particules en suspension pour faciliter leur agglomération. La floculation a pour but de favoriser la communication entre les particules instables, à l'aide d'un mélange lent. Ces particules s'accumulent pour former une masse qui peut être facilement éliminée par coulée. Dans cette technique, de nombreux facteur peuvent affecter l'efficacité du traitement, tels que le type de coagulant, son dosage, les adjuvants ainsi que le pH. **(Gadri ,2019)**

L'objectif général de notre travail est de déterminer l'efficacité de la coagulation – floculation pour éliminer ou réduire la concentration de différents polluants des eaux usées d'une part; en utilisant le sulfate d'aluminium comme coagulant et le bicarbonate de calcium comme floculant, tout en comparant son efficacité par rapport au procédé de traitement des eaux usées par boue activée au niveau de la station d'épuration STEP de Guelma. Notre manuscrit est composé en cinq chapitres. :

- Le premier chapitre donne des généralités sur les eaux usées (origine, composition, type et paramètre de pollution, normes de rejet).

- Le deuxième chapitre présente la description de la station d'épuration (STEP) de Guelma et traite le procédé d'épuration des eaux usées (prétraitement, traitement primaire, traitement secondaire et tertiaire), que doivent subir les eaux usées avant d'être rejetées dans le milieu naturel.
- Le troisième chapitre se focalise sur la méthode de coagulation -floculation
- Le quatrième chapitre présente le matériel et les méthodes analytiques utilisées dans cette étude.
- Le cinquième et dernier chapitre sera exclusivement à l'interprétation des résultats obtenus.
- Enfin, une conclusion générale et les références bibliographiques.

Chapitre



Notions sur les eaux usées

I.1 Introduction

La pollution de l'eau s'entend comme, une modification défavorable ou nocive des propriétés physico-chimiques et biologiques produite directement ou indirectement par les activités humaines. Les rendant impropres à l'utilisation normale établit.

Les eaux usées constituant donc un effluent pollué qui sont rejetées dans les canalisations d'assainissement. Ils regroupent les eaux usées domestiques (les eaux vannes et les eaux ménagères), les eaux de ruissellement et les effluents industriels (les eaux usées des usines). (Ahmed, 2014 ; Gharbi, 2019)

Ce chapitre a pour objectif de donner une idée sur les origines des eaux usées, leurs systèmes d'évacuations, les principaux polluants des eaux et leurs impacts sur la santé et l'environnement.

I.2 Définition des eaux usées

Une eau usée est généralement un mélange de matières polluantes répondant à ces catégories, dispersées ou dissoutes dans l'eau qui a servi aux besoins domestiques ou industriels.

Donc sous la terminologie d'eau résiduaire, on groupe des eaux d'origines très diverses qui ont perdu leurs puretés ; c'est-à-dire leurs propriétés naturelles par l'effet des polluants après avoir été utilisées dans des activités humaines (domestiques, industrielles ou agricoles) (Mehamdia, 2020)



Figure I.1 : une eau usée

I.3 Origines des eaux usées

L'eau, propre et potable à l'origine subit une altération et une dégradation par les multiples usages que l'on en fait dans les habitations, dans les établissements publics et dans les usines.

Les matières ajoutées dans l'eau lors de son utilisation se retrouvent dans les eaux usées soit à l'état dissous soit en suspension, soit à l'état solide. (1www, 2019; Gharbi, 2019)

Suivant l'origine et la qualité des substances polluantes, on distingue quatre catégories d'eaux usées :

- Les eaux usées domestiques
- Les eaux usées industrielles
- Les eaux pluviales
- Les eaux agricoles

I.3.1 Les eaux usées domestiques

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont constituées essentiellement d'excréments humains, des eaux ménagères de vaisselle chargées de détergents, de graisses appelées eaux grises et de toilette chargées de matières organiques

azotées, phosphatées et de germes fécaux appelées eaux noires. Ces eaux sont généralement constituées de matières organiques dégradables et de matières minérales, ces substances sont sous forme dissoute ou en suspension. Elles peuvent être un danger pour la santé car elles véhiculent des maladies d'origine virale et bactérienne. (Gadri, 2019 ; Rejesk, 2002)

I.3.2 Les eaux usées industrielles

Tous les rejets résultant d'une utilisation de l'eau autre que domestique sont qualifiés de rejets industriels. Cette définition concerne les rejets des usines, mais aussi les rejets d'activités artisanales ou commerciales ces eaux ont une grande variété et peuvent être toxique pour la vie aquatique, ou pour l'homme. (Arbis, 2014 ; Rodier, 2005)

Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus des matières organiques azotées ou phosphorées, elles peuvent aussi contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, et des hydrocarbures. Indépendamment de la charge de la pollution organique ou minérale, de leur caractère putrescible ou non, elles peuvent présenter des caractéristiques de toxicité propres liées aux produits chimiques transportés. (Sadik, 2017)

I.3.3 Les eaux usées pluviales

Ce sont les eaux de ruissellement (eaux pluviales ; eaux d'arrosage des voies ; eaux de lavage des caniveaux ; des marchés et des cours)

Les eaux qui ruissellent sur les toitures, les cours, les jardins, les espaces verts, les voies publiques et les marchés entraînent toutes sortes de déchets minéraux et organiques : de la terre, des limons, des déchets végétaux et toutes sortes de micropolluants (huiles de vidange, carburant, résidus de pneus, métaux lourds, pesticides). (Luc, 2004 ; Sadik, 2017)

I.3.4 Les eaux usées agricoles

Ce sont des eaux qui ont été polluées par des substances utilisées dans le domaine agricole. Dans le contexte d'une agriculture performante et intensive, l'agriculteur est conduit à utiliser divers produits d'origines industrielle ou agricole dont certaines présentent ou peuvent présenter, des risques pour l'environnement et plus particulièrement pour la qualité des eaux (Gadri, 2019)

Les eaux agricoles issues de terres cultivées chargées d'engrais nitrates et phosphates, sous une forme ionique ou en quantité telle, qu'ils ne seraient pas finalement retenus par le sol et assimilés par les plantes, conduisent par ruissellement à un enrichissement en matière azotées ou phosphatées des nappes les plus superficielles et des eaux des cours d'eau et des retenues. (Metahri, 2012 ; Mehammedia, 2020)

I.4 Composition des eaux usées

La composition des eaux usées est extrêmement variable en fonction de leur origine. Elles peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux microorganismes. En fonction de leurs caractéristiques physiques, chimiques biologiques et du danger sanitaire qu'elles représentent, ces substances peuvent être classées en quatre groupes : les matières en suspension, les micro-organismes, les éléments traces minéraux ou organiques, et les substances nutritives. (Zeghoud, 2014)

Tableau I.1 : Composants majeurs typique d'eau usée domestique (Dekhil, 2012)

constituants	Concentration (mg/l)		
	fort	Moyen	Faible
Solides totaux	1200	700	350
Solides dissous(TDS)	850	500	250
Solides suspendus	350	200	100
Azote(N)	85	40	20
Phosphore (P)	20	10	6
Chlore (Cl)	100	50	30
Alcalinité(en CaCO₃)	200	100	50
Graisses	150	100	50
DBO₅	300	200	100

Le DBO₅ est la demande biochimique en oxygène à 20°C pendant 5 jours, c'est une mesure de la matière organique biodégradable dans les eaux usées. Elle dépend de :

*L'activité humaine et la nature des effluents industriels éventuellement rejetés dans le réseau urbain.

*La composition des eaux d'alimentation en eau potable, et la nature des matériaux des canalisations d'eau.

I.5 Pollution des eaux usées

Une eau est dite polluée lorsque son équilibre est modifié de façon durable par l'apport en quantités très importantes des substances plus ou moins toxiques, d'origines naturelles ou issues d'activités humaines. L'activité humaine, qu'elle soit industrielle; urbaine ou agricole, produit une quantité de substances polluantes de toutes natures qui sont à l'origine de différents types de pollution qui peuvent être permanentes (rejets domestiques d'une grande ville par exemple); périodique ou encore accidentelles ou aiguës, à la suite du déversement intempestif des produits toxiques d'origine industrielle ou agricole, ou de lessivage des sols urbains lors de fortes pluies. **(Bounouache, 2017)**

I.5.1 Pollution physique

➤ Pollution mécanique

Elle résulte des décharges de déchets et de particules solides apportés par les eaux résiduaires industrielles, ainsi que les eaux de ruissellement. Ces polluants sont soit les éléments grossiers soit du sable. **(Galaf, 2003)**

➤ Pollution thermique

Les eaux rejetées par les usines utilisant un circuit de refroidissement de certaines installations (centrales thermiques, nucléaires, raffineries, aciéries, etc.....). L'élévation de température qu'elle induit diminue la teneur en oxygène dissous, elle accélère la biodégradation et la prolifération des germes. **(Galaf, 2003)**

➤ Pollution radioactive

C'est celle qui est occasionnée par une éventuelle radioactivité artificielle des rejets qui trouvent leur source dans l'utilisation de l'énergie nucléaire sous toutes ces formes (installation et centrales d'exploitation de mine d'uranium, traitement des déchets radioactifs). **(Mekhalif, 2009)**

I.5.2 Pollution chimique

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

➤ Pollution organique

C'est les effluents chargés des matières organiques fermentescibles (biodégradables), fournis par les industries alimentaires et agroalimentaires (laiteries, abattoirs, sucreries, etc. ...) et les effluents

domestique (déjections humain, graisses, etc.). La première conséquence de cette pollution est la consommation d'oxygène dissous de ces eaux. Les polluants organiques ce sont principalement les détergents, les pesticides et les hydrocarbures. **(Baumont, 2004)**

➤ **Pollution minérale**

La pollution minérale des eaux peut provoquer le dérèglement de la croissance végétale ou trouble physiologique chez les animaux. Les polluants minéraux sont principalement les métaux lourds et les éléments minéraux nutritifs.

***Les métaux lourds**

Sont essentiellement le mercure(Hg), le cadmium (Cd), le plomb (Pb), l'argent (Ag) ,le cuivre(Cu) ,le chrome (Cr) ,le nickel (Ni) et le zinc (Zn).ces éléments ,bien qu'ils puissent avoir une origine naturelle (roches du sous –sol ,minerais),proviennent essentiellement de la contamination des eaux par des rejets d'activités industrielles diverses .ils ont la particularité de s'accumuler dans les organismes vivants ainsi que dans la chaine trophique.**(Keck ,2000)**

***Les éléments minéraux nutritifs**

les éléments minéraux tels que les nitrates et phosphates provenant essentiellement de l'agriculture et des effluents domestiques ils sont à l'origine du phénomène d'eutrophisation c'est à dire la multiplication excessive d'algues et de plancton dans les milieux aquatiques.

I.5.3 Pollution microbiologique

Les eaux usées contiennent tous les micro-organismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes. L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre grands groupes, par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes.**(Baumont, 2004)**

I.6 Paramètres de mesure de la pollution

L'estimation de la pollution industrielle est problème complexe, l'évaluation de la qualité de l'eau nécessite de nombreuses analyses, incluant le dosage de multiples paramètres physico-chimiques et microbiologiques et des tests de différents paramètres servant à caractériser de manière globale et pertinente le niveau de la pollution présente dans les effluents. Parmi ces paramètres on cite les plus importants.**(Rahmani ; 2015)**

I.6.1 Paramètres physico-chimiques

I.6.1.1 Demande 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. Elle est d'autant plus élevée qu'il y a des corps oxydables dans le milieu. L'oxygène affecte pratiquement la totalité des matières organiques biodégradables et non biodégradables. La DCO est mesuré en mg dO₂/l.

Généralement la valeur de la DCO est :

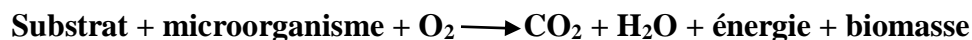
- DCO = 1.5 à 2 fois DBO pour les eaux usées urbaines ;
- DCO = 1 à 10 fois DBO pour tout l'ensemble des eaux résiduaires ;
- DCO > 2.5 fois DBO pour les eaux usées industrielles.

La relation empirique de la matière oxydable en fonction de la DBO₅ et la DCO est donnée par l'équation suivante :(**Rodier, 2005**)

$$MO = (2 DBO_5 + DCO) / 3$$

I.6.1.2 Demande biochimique en oxygène (DBO₅)

La DBO₅ comme étant la quantité d'oxygène consommée par les bactéries ,à 20°C ,à l'obscurité et pendant 5 jour d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé ,temps qui assure l'oxydation biologique d'une fraction de matière organique carbonée. Ce paramètre mesure la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction des matières organiques grâce aux phénomènes d'oxydation par voie aérobie .pour la mesurer, on prend comme référence la quantité d'oxygène consommée au bout de 5 jours ; c'est la DBO₅ .Elles se résume à la réaction chimique suivante (**Lebbihi, 2018**)



I.6.1.3 Biodégradabilité

La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les micro-organismes qui interviennent dans les processus d'épuration biologique des eaux. Elle est exprimée par un coefficient **K** :

$$K = DCO / DBO_5$$

* Si $K < 1,5$, cela signifie que les matières oxydables sont constituées en grande partie des matières fortement biodégradables.

* Si $1,5 < K < 2,5$, cela signifie que les matières oxydables sont moyennement biodégradables.

* Si $2 < k < 3$, les matières oxydables sont peu biodégradables.

* Si $k > 3$, les matières oxydables sont non biodégradables.

Un coefficient K très élevé traduit la présence dans l'eau d'éléments inhibiteur de la croissance bactérienne, tels que :

Les sels métalliques, les détergents, les phénols, les hydrocarbures ...etc.la valeur du coefficient k détermine le choix de la filière de traitement à adopter, si l'effluent est biodégradable on applique un traitement biologique, sinon on applique un traitement physico-chimique .(**Metahri , 2012**)

I.6.1.4 Matières en suspension (MES)

Les MES sont très fines particules en suspension (sable, argile, produit organismes,...) qui donnent un aspect trouble à l'eau (turbidité) et s'opposent à la pénétration de la lumière nécessaire à la vie aquatique.

En trop grande quantité elles constituent donc une pollution solide des eaux. La quantité de matière en suspension totale (MEST) se mesure par filtration d'un litre d'eau et passage des résidus séchés ; le résultat s'exprime en mg/l. (**Directive, 2000**)

➤ **Matières volatiles en suspensions (MVS)**

Elle représente la fraction organique de MES et sont obtenues par calcination de ces MES a 525°C pendant 2h .la différence de poids entre MES a 105°C et MES a 525°C donne la perte au feu et correspond à la teneur en MVS (en mg/l) d'une eau. (**Boumediene, 2013**)

➤ **Matières organiques(MO)**

Les matières organiques proviennent des êtres vivants (matières végétales ou animales, excréments, urines....) ou des produits fabriqués à partir de ces êtres vivants (papier, tissus). On retiendra que les matières organiques sont principalement composées par (de l'hydrogène, de l'oxygène, du carbone, de l'azote, du phosphore, du soufre).(**Boumediene, 2013**)

➤ **Matières minérales (MM)**

Elles représentent le résultat d'une évaporation totale de l'eau, c'est à dire «extrait sec ».constitué à la fois par les matières minérales en suspension et la matière solubles (chlorures, phosphate,...etc.). (**Boumediene, 2013**)

➤ **Matières décantables (MD)**

On distingue les fractions qui décantent en un temps donné (2heures) suivant des conditions opératoires particulières (utilisation de cône Imhof ou coin). Les matières non décantables sont celles qui restent dans le surnageant et qui vont donc être dirigées vers le procédé de traitement biologique ou chimique

I.6.1.5 Oxygène dissous (OD)

L'oxygène est toujours présent dans l'eau. Sa solubilité est en fonction de la pression partielle dans l'atmosphère et de la salinité.la teneur de l'oxygène dans l'eau dépasse rarement 10 mg/l.

Elle est en fonction de l'origine de l'eau ; l'eau usée domestique peut contenir de 2 à 8 mg/l.(**Ladjel, 2006**)

I.6.1.6 Conductivité électrique (EC)

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

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

Ce paramètre doit impérativement être mesuré sur le terrain. La procédure est simple et permet d'obtenir une information très utile pour caractériser l'eau. (2 www, 2022)

I.6.1.7 La température

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usagers. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment) de plus, en mettant en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu ,il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau.(2 www, 2022)

I.6.1.8 Potentiel hydrogène (PH)

Le PH mesure la concentration en ion H^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14 étant le pH de neutralité. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico –chimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau.

Le pH doit être impérativement mesuré sur le terrain à l'aide d'un pH-mètre ou par colorimétrie.(Cherif, 2012; 2www, 2022)

Tableau I. 2 :Classification des eaux d'après leur pH

pH < 5	Acidité forte \longrightarrow présence d'acides minéraux ou organique dans les eaux naturelles
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée \longrightarrow majorité des eaux de surface
5.5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines
pH = 8	Alcalinité forte, évaporation intense

I.6.1.9 Turbidité

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. La turbidité traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débit organique, argiles, organismes microscopiques...). Les désagréments causés par une turbidité auprès des usagers sont relatifs car certaines populations sont habituées à consommer une eau plus ou moins trouble et n'apprécient pas les qualités d'une eau très claire. Cependant une turbidité forte peut permettre à des micro-organismes de se fixer sur des particules en suspension. La turbidité mesure sur le terrain à l'aide d'un turbidimètre. (Cherif, 2012)

Tableau I.3: Classes de turbidité usuelles (NTU, Nephelométric Turbidité Unit)

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

I.6.1.10 Azote (N)

L'azote peut être présent dans les eaux usées sous plusieurs formes :

- Forme réduite : Azote organique (N_{org}) et Azote ammoniacal (NH_4^+).
- Forme moléculaire : Azote dissous (20mg/l à la température ambiante)
- Formes oxydée : Azote nitreux (NO_2^-) et Azote nitrique (NO_3^-)

L'azote contenu dans les eaux résiduaires domestiques est essentiellement sous forme ammoniacale. Les formes oxydées n'apparaissent pas ou seulement en faibles quantités dans les effluents urbains, ce qui s'explique par le fait qu'une eau usée est toujours considérée comme étant un milieu réducteur. (Abdelkader, 1984)

I.6.1.11 Ammonium (NH_4^+)

La forme réduite de l'azote souvent rencontrée dans les eaux usées et qui constitue le premier stade de dégradation de la matière organique azotée.

Sa présence peut avoir comme origine probable la réduction des nitrates et des nitrites (Rodier, 2005)

I.6.1.12 Phosphore

Le phosphore se présente dans les eaux résiduaires brutes sous deux formes:

- Organique : d'origine industrielle ou biologique provenant des matières fécales.
- Minérales : les ortho et poly phosphates provenant de lessive, d'engrais phosphatés.)

I.6.2 Paramètres biologiques

Les eaux usées contiennent tous les microorganismes (champignons, les helminthes, protozoaires, bactéries et virus) dont certaines sont pathogènes. Les présences de coliformes et de streptocoques témoignent d'une contamination fécale de ces eaux qu'il est impératif de les épurer pour préserver le milieu naturel.

➤ Virus

Les virus sont des agents pathogènes extrêmement petits, visibles seulement au microscope électronique et qui ne peuvent se multiplier qu'à l'intérieur d'une cellule vivante. (3www, 2022)



Figure I.2 : Vue microscopique des virus.

➤ Bactéries

Ce sont des micro-organismes qui peuvent dégrader et assimiler une grande partie de la matière organique contenue dans les eaux usées. Ces bactéries rejettent dans le milieu des produits de dégradation qui sont les matières minérales soluble et les gaz dissous. On constate une régulation naturelle du taux bactérien en fonction de la matière organique présente dans le milieu et des autres conditions de développement (température, oxygène, dissous, PH.....). (Dahou, 2013)

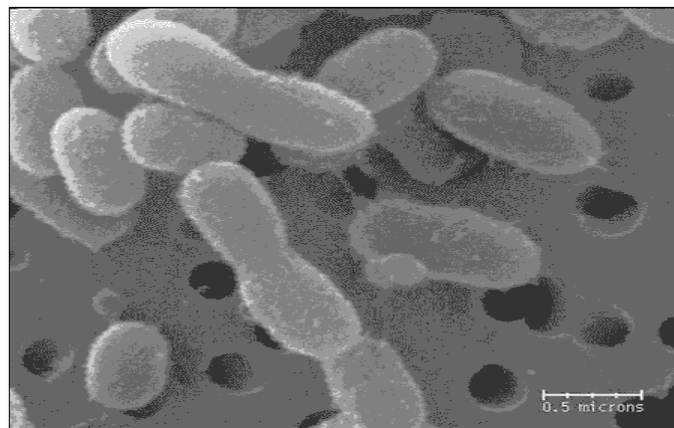


Figure I.3 : Vue microscopique des bactéries

➤ **Protozoaires**

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires munis d'un noyau, plus complexes et plus gros que les bactéries. La plupart des protozoaires pathogènes sont des organismes parasites, c'est-à-dire qu'ils se développent aux dépens de leur hôte.

Certains protozoaires adoptent au cours de leur cycle de vie une forme de résistance, appelée kyste. Cette forme peut résister généralement aux procédés de traitements des eaux usées. **(Djeddi ,2007)**

➤ **Helminthes**

Les helminthes sont des vers multicellulaires plats (plathelminthes) ou ronds (némathelminthes).

Ce sont majoritairement des organismes parasites. Ce sont, pour la plupart, des vers intestinaux, rejetés avec les matières fécales, sous forme d'œufs très résistants. La souvent contamination se fait par ingestion ou par voie transcutanée (par fixation puis pénétration des larves la peau).Et peuvent notamment survivre plusieurs semaines, voire plusieurs mois sur les sols ou les plantes cultivées

I.6.3 Paramètres organoleptiques

➤ **Couleur**

L'eau pure observée sous une lumière transmise sur profondeur des plusieurs mètres émet une couleur bleu clair car les longueurs d'ondes courtes sont peu absorbées alors que les grandes longueurs d'onde (rouge) sont absorbées très rapidement. **(Degremont, 2005)**

➤ **Odeur**

L'odeur est un signe de pollution ou de présence de matières organiques en décomposition. L'odeur peut être définie comme :

L'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles.

La qualité de cette sensation particulière est provoquée par chacune de ces substances.**(Hadj Ahmed, 2021).**

I.6.4 Paramètres toxiques

On distingue parmi ces paramètres les toxicités des eaux. La notion de toxicité est très générale, elle peut être aigue ou à terme, directe ou indirecte. Certains toxiques ont une influence néfaste sur le déroulement des opérations de biodégradation des eaux usées ou minéralisation biologique des boues **(Boumediene ,2013).**

I.7 Normes de rejets

Les normes de rejet sont des valeurs des paramètres polluants d'une eau usées à ne pas dépasser. On distingue :

I.7.1 Normes internationales

La norme est représentée par un chiffre qui fixe une limite supérieure à ne pas dépasser ou une limite inférieure à respecter un critère donné est rempli lorsque la norme est respectée pour un paramètre donné. Une norme est fixée par une loi, une directive, un décret de loi. Les normes internationales selon l'organisation mondiale de la santé pour les eaux usées sont présentées dans le tableau suivant : (Mehammedia,2020)

Tableau I.4 : Normes de rejets internationales

Caractéristiques	Normes utilisés par OMS
pH	6.5-8.5
DCO (mg/l)	<90
DBO₅ (mg/l)	<30
MES (mg/l)	<20
NH₄⁺ (mg/l)	<0.5
NO₃⁻ (mg/l)	<1
P₂O₅ (mg/l)	<1
NO₂⁻ (mg/l)	1
Température	<30
Couleur	Incolore
Odeur	Incolore

I.7.2 Normes Algériennes

Les eaux usées se caractérisent par des paramètres physico-chimiques et bactériologiques, qui permettent de déterminer leur éventuelle origine et de connaître l'importance de leur charge polluante. Avant qu'elles ne soient rejetées dans le milieu naturel et ne le dégradent, elles doivent impérativement obéir à des normes

Établies pour protéger les milieux récepteurs contre la pollution .pour cela, elles sont acheminées vers une station d'épuration ou elles subissent plusieurs phases de traitement. Alors les normes Algériennes les valeurs limites maximales de rejet d'effluents sont regroupées dans le tableau suivant : (Kraa, 2017)

Tableau I 5 : Normes de rejet des eaux usées appliquées en Algérie

paramètres	Normes Algérienne
T (°C)	30
pH	6.5-8.5
O₂ (mg/l)	5
DBO₅ (mg/l)	30
DCO (mg/l)	90
MES (mg/l)	30
azote (mg/l)	30
Phosphate (mg/l)	0,2

I.8 Impacts des eaux usées

Les eaux usées ont des impacts sur les milieux aquatiques mais également sur la santé de l'homme.

I.8.1 Sur le milieu aquatique

Si le réseau de collecte des eaux usées ne couvre pas l'ensemble de la population. Ce manque d'infrastructure a un impact non négligeable sur la qualité des milieux naturels.

➤ L'océan

Lorsque les eaux usées sont rejetées dans la mer après un traitement insuffisant ou sans épuration, elles polluent les eaux de baignades. Ces sites sont contaminés par des bactéries, des virus parasites issus des eaux usées domestiques rejetées en mer sans traitement. Ces eaux peuvent transmettre à l'homme des maladies, en cas d'ingestion ou de contact. **(Baumont, 2004)**

➤ Eaux superficielles

Il arrive que ces déchets soient déversés directement dans le milieu naturel. La présence excessive de phosphates, en particulier, favorise le phénomène d'eutrophisation, c'est à dire la prolifération d'algues qui diminue la quantité d'oxygène contenue dans l'eau et peut provoquer à terme la mort des poissons et des autres organismes aquatiques qui y vivent.

Les métaux lourds comme le mercure, le chrome et l'arsenic peuvent avoir des effets sur les espèces aquatiques les plus fragiles. Sous certaines condition physico-chimiques, certains métaux lourds tel que mercure peuvent s'accumuler le long de la chaine trophique et avoir un impact sur l'homme. **(Mehammedia, 2020)**

➤ **Eaux souterraines**

La qualité de l'eau des nappes phréatiques peut être dégradée par les eaux usées, si l'étanchéité de la station d'épuration ou de la lagune est défectueuse ou lorsque le système d'assainissement non collectif présente des dysfonctionnements. **(Baumont ,2004)**

I.8.2 Sur la santé humaine

L'eau est une ressource naturelle indispensable à la vie, est aussi devenue, de manière directe ou indirecte, la première cause de mortalité et de maladie au monde. L'inégalité dans la répartition des ressources en eau associée à la dégradation de la qualité de l'eau engendrent de grands problèmes de santé. Ainsi, dans les pays en développement 80% des maladies sont dues à l'eau, un africain sur deux souffre d'une maladie hydrique.

Par exemple la fièvre typhoïde est une maladie causée par les bactéries salmonella typhi. la transmission peut se faire par :

*le contact direct avec une personne infectée

*la consommation d'aliments contaminés par de l'eau souillée par des matières fécales.

*la consommation d'aliments contaminés, lors de leur préparation, par une personne malade (ou porteuse saine).

* Le contact prolongé avec les eaux usées, lors de baignades peut entraîner des infections au niveau de la peau, de la gorge, du nez et des oreilles. **(Mehammedia, 2020 ; Baumont ,2004)**

I.9 Conclusion

Compte tenu des éléments présents dans les eaux usées, la réutilisation d'une eau de mauvaise qualité peut présenter des risques pour la santé et l'environnement, et poser des problèmes d'ordre technique.

On peut dire qu'à partir d'une eau usée et grâce aux procédés de traitement il est clair que les traitements qui existent peuvent réduire les concentrations des polluants sous toutes leurs formes, à des niveaux qui sont actuellement considérés comme non dangereux.

Chapitre II



Procédés d'épuration des eaux usées

II.1 Introduction

Les eaux usées qu'elles soient industrielles ou ménagères ne devraient pas être directement rejetées dans le milieu naturel, car elles peuvent engendrer de graves problèmes environnementaux et de santé publique. Le traitement ou l'épuration des eaux a donc pour objectif de réduire la charge polluante qu'elles véhiculent. (Sahri ,2021)

II.2 Définition de l'épuration

En assainissement, l'épuration constitue le processus visant à rendre aux eaux résiduaires rejetées la qualité répondant aux exigences du milieu récepteur, il s'agit donc d'éviter une pollution de l'environnement et non de produire de l'eau potable (Saggai , 2004 ; Mehammedia, 2020).

Le but du traitement est de séparer l'eau des substances indésirables pour le milieu récepteur. Une station d'épuration est généralement installée à l'extrémité d'un réseau de collecte. Elle peut utiliser plusieurs principes, physico-chimiques et biologiques.

Une station d'épuration est constituée d'une succession de dispositifs, conçus pour extraire en différentes étapes les différents polluants contenus dans les eaux. La pollution retenue dans la station d'épuration est transformée sous forme de boues. La succession des dispositifs est calculée en fonction de la nature des eaux usées recueillies sur le réseau et des types de pollutions à traiter. (Bekkouche, 2004; Mahdjar, 2016)

II.3 Description de la station d'épuration des eaux usées de Guelma

II.3.1 Emplacement et alimentation

La station d'épuration des eaux usées de la ville de Guelma est située à 2 km de la ville sur une superficie de 08 hectares, sur le flanc droit de la vallée développée par oued SEYBOUSE, et sans habitations existantes à la proximité.(fig.II.1)

Elle est alimentée par deux conduites de refoulement, l'une en diamètre 700 cm en provenance de la première station de relevage SR1 (OUED MAIZ) avec un débit de 1575 m³/h, l'autre en diamètre 500cm en provenance de la seconde station de relevage SR2 (OUED SKHOUNE) son débit est de 1125 m³/h qui collecte de réseaux (Urbain et Pluvial) passe à la STEP par pompage et l'emplacement de ces deux postes était également pris en considération. La station d'épuration des eaux usées de la wilaya de Guelma est fonctionnelle depuis le 28 Février 2008.



Figure II.1: Vu de la STEP de Guelma (Google earth, 2021).

II.3.2 Point de Rejet

➤ L'eau épurée

Le rôle principal de la station de traitement des eaux usées est de réduire la pollution (en nettoyant) les eaux usées domestiques de façon à rejeter à la rivière des eaux traitées compatibles avec la qualité souhaitée et dans les normes idéales.

Le rejet est déversé dans Oued Seybouse situé en contrebas de la station d'épuration à 331 m de distance, les effluents sont acheminés jusqu'à l'Oued par une canalisation de rejet.

Pour la STEP de Guelma le rejet doit se conformer aux normes ci-après:

- DBO : inférieure à 35 mg/l sur 24h. Sans dépasser 40mg/l sur 02 heures ;
- MES : inférieure à 35mg/l sur 24heures ;
- DCO : inférieure à 130mg/l sur 24h sans dépasser 120mg/l sur 02heures.

Ceci conduit aux rendements d'élimination moyens suivant :

- DBO : 91,12%.
- MES : 93,15%.
- DCO : 82,00 %. (Beskri, 2010; Djehaichia , 2020)

➤ Les sous-produits issus de l'épuration

* **Boues** : Les boues sont épaissies puis hydratées sur lits de séchage avant leur envoi en décharge (ou autres utilisations agricoles).

- * **Les produits de dégrillage** : Les refus de dégrillage sont évacués par un tapis transporteur, ou une vis de convoyage dans une benne à ordures.
- * **Graisses et Huiles** : Elles sont stockées dans une fosse à graisse avant enlèvement.
- * **Sables** : Ils sont extraits de l'ouvrage de prétraitement, séparés de leur eau par un classificateur, puis stockés dans une benne relevable. (**Djamame, 2009; Djehaichia, 2020**).

II.4 Procédés d'épuration des eaux usées

Pour recycler les eaux usées dans le milieu naturel et les rendre propres et sécuritaires, l'épuration des eaux usées s'avère une nécessité primordiale. Elle est effectuée au niveau des stations d'épuration (STEP) où les eaux usées subissent des prétraitements et différents types de traitements : physiques biologiques et physicochimiques. (**Belhadi., 2011**) fig.II.2

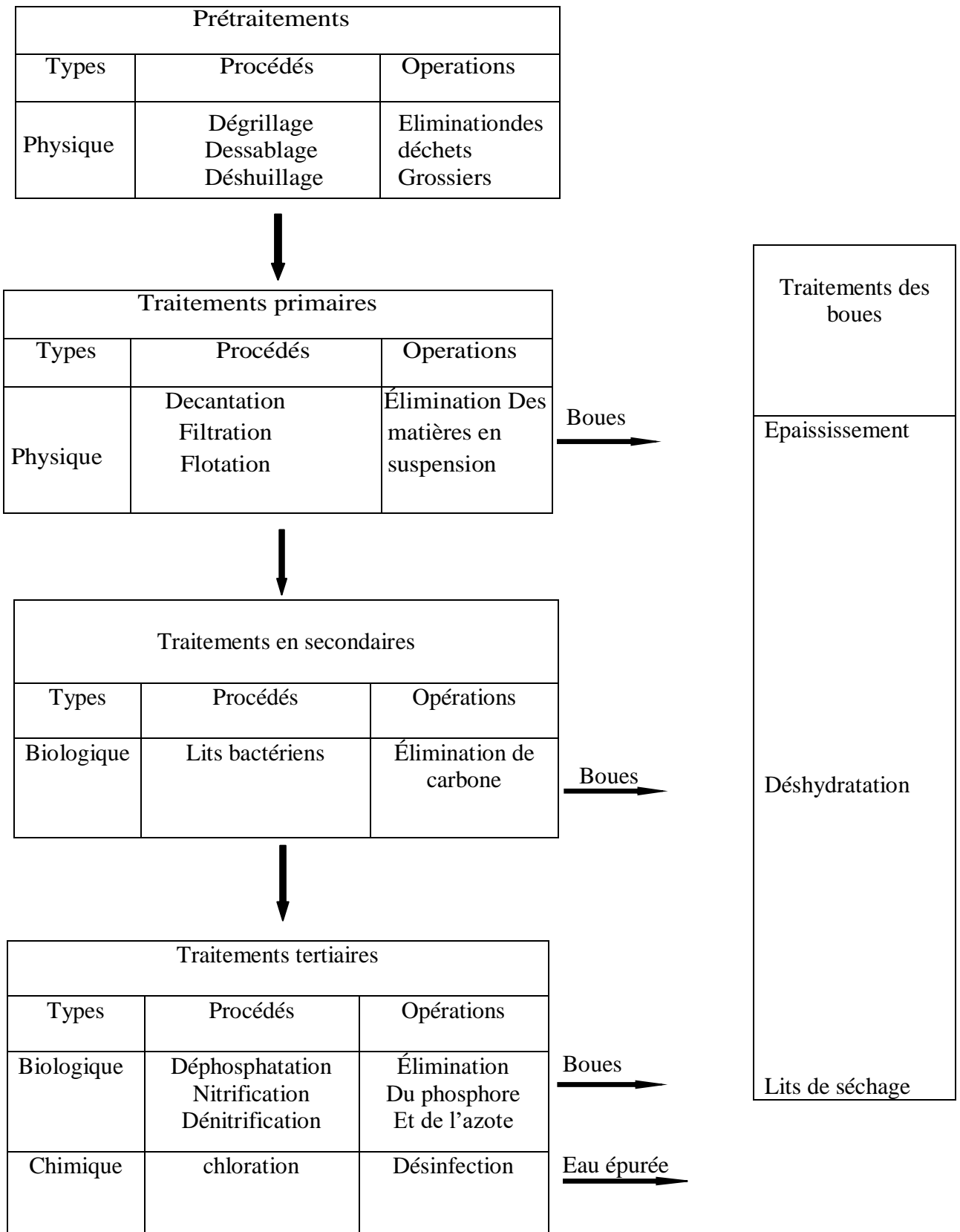


Figure II.2: Filière d'épuration (Bakiri, 2007; Djehaichia, 2020)

II.4.1 Prétraitement

Le prétraitement des eaux usées comporte une succession d'opérations physiques ou mécaniques destinées à séparer les éléments les plus grossiers (les déchets volumineux «dégrillage», les sables et graviers «dessablage» et les graisses «dégraissage-déshuilage»), qui sont susceptibles de gêner les traitements ultérieurs et d'endommager les équipements. (Iwww, 2022; Gharbi, 2019)

1- Dégrillage

A l'arrivée, l'eau usée en provenance des égouts passe entre les barreaux métalliques d'une grille (ou d'un tamis) qui retiennent les déchets volumineux (papiers, feuilles, matières plastiques, objets divers, etc.) et l'effluent est relevé jusqu'au niveau de l'usine à l'aide de vis d'Archimède ou de pompes. Ce prétraitement se décline en trois sous-catégories : le pré-dégrillage (de 30 à 100 mm), le dégrillage moyen (de 10 à 30 mm) et enfin le dégrillage fin (les barreaux sont espacés de moins de 10 mm). Les grilles peuvent être verticales, mais elles sont le plus souvent inclinées de 60° à 80° sur l'horizontale (Zizi, 2015; Mehamdia, 2020) Dans le cas de la STEP de Guelma, un dérailleur automatique permet de bloquer les déchets d'une taille supérieure à 20 mm.



Figure II.3 : Dégrillage (STEP Guelma 2022).

2-Dessablage et Déshuilage

Le dessablage-déshuilage permet la décantation des résidus les plus denses (sable) et la flottation des déchets les plus légers (huiles), à l'aide des pompes, qui sont présents dans les eaux usées. Le système de pont racleur de surface pousse les flottants dans une fosse à graisse (Les graisses seront traités) et les sables sont aspirés par des pompes aspiratoires vers un classificateur de sable pour son séchage ensuite le sable séché est stocké dans une benne. (Fig II.4)

Ces deux opérations sont réalisées ensemble bien que correspondant à deux phénomènes physique différents. 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). (Chadli , 2017 ; Gharbi, 2019)



Figure II.4 : Dégrossissement – Déshuilage (STEP Guelma 2022)

II.4.2 Traitement primaire

Après les prétraitements, il reste dans l'eau une charge polluante dissoute et des matières en suspension. En épuration des eaux usées, le traitement primaire est une simple décantation qui permet de supprimer la majeure partie des matières en suspension. (Boualla, 2011)

Dans ce cas, la séparation qui s'effectue par gravité ne concerne que les particules de diamètre supérieur à 100 micromètres. Celle de diamètre inférieur à 100 micromètres ne décantent pas, mais seront entraînées vers les unités ultérieures de traitement.

Les bassins de décantation (Fig.II.5) sont des bassins à ciel ouvert, l'effluent brut arrive par un point central, les matières décantables en suspension dans l'eau vont se séparer de l'effluent et se déposer au fond du bassin ou elles seront raclées par un pont radial tournant et les eaux de surface sont déversant.

Les matières décantables ainsi obtenues par séparation de l'effluent appelée les boues primaires, qui sont récupérées et orientées vers le traitement des boues. (Allel, 2013; Djehaichia, 2020) La décantation permet d'alléger les traitements biologiques ou chimiques ultérieurs, en éliminant une partie des particules solides en suspension (boues primaire). L'efficacité de ce traitement dépend du temps de séjour et de la vitesse ascensionnelle.



Figure II.5 : Décanteur primaire (STEP Guelma 2022)

II.4.3. Traitement secondaire

Cette étape est conçue sur le principe des boues activées à moyenne charge, afin d'éliminer la pollution carbonée. L'épuration par boue activée consiste à mettre en contact les eaux usées avec un mélange riche en micro-organismes appelés bactéries, par brassage pour dégrader la matière organique en suspension ou dissoute. Il y a une aération importante pour permettre l'activité des bactéries et la dégradation de ces matières (Bassin d'aération). (**Mehammedia, 2020**)

Il est nécessaire de fournir aux bactéries épuratrices des conditions pour commencer leurs activités

- La température : (10°C- 30°C).
- Le pH : de 7 jusqu'à 8.
- L'oxygène dissous grâce à des turbines d'aération.

1-Traitement biologique

Il consiste à mettre en contact l'eau usée avec une biomasse épuratrice qui est en fait un écosystème simplifié et sélectionné ne faisant appel qu'à des micro-organismes. Elle est constituée d'être vivants de petite taille, inférieure au millimètre, microflore de bactéries et microfaune d'animaux, protozoaires. Dans le cas des eaux usées urbaines, on favorise le développement de bactéries aérobies, c'est-à-dire, qui utilisent l'oxygène pour se développer. (**Azzedine, 2016; Sahri, 2021**)

Le traitement biologique se déroule au niveau de bassin d'aération (fig.II.6) et comporte :

➤ **Élimination de Carbone**

La nature des composés organiques constituant la pollution influe naturellement sur le genre dominant, de même les conditions du milieu : PH, température, oxygène dissous. Pour l'élimination du carbone dans les effluents la voie aérobie est utilisée car l'oxygène est associé aux réactions de dégradation et elles s'instaurent spontanément dans les eaux suffisamment aérées. Le carbone organique se retrouve sous forme de CO₂ et de biomasse. Après la dégradation des matières organique la cellule passe par différentes phases de croissance et décroissance. Mais la croissance bactérienne nécessite la présence d'autres éléments nutritifs en particuliers l'azote et le phosphore contenus dans les effluents dont l'élimination est également nécessaire.

➤ **Élimination de l'azote**

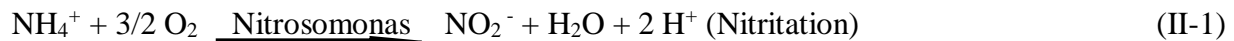
Les eaux résiduaires contiennent différents composés azotés : protéines, urée et produits de décomposition ainsi que de l'azote sous forme minérale. Le traitement biologique des composés azotés se déroule en deux étapes :

***Nitrification**

La nitrification consiste en l'oxydation biologique de l'azote ammoniacal en nitrates.

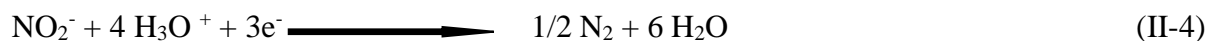
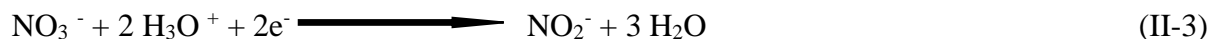
C'est l'oxydation de l'azote ammoniacal (NH₄⁺) en azote nitreux (NO₂⁻) par des bactéries autotrophes du genre Nitrosomonas et Nitrobacter. **(Ramdani ,2016 ; Gharbi, 2019).**

La transformation chimique de l'azote ammoniacal s'écrit par l'équation :



***Dénitrification**

Dans le cas de l'élimination biologique des nitrates, la dénitrification, la réaction nécessite l'oxydation concomitante d'une molécule organique ou minérale qui fournira l'énergie nécessaire à la réduction des nitrates en azote N₂. **(Abibsi , 2011)**



➤ Élimination de phosphore

Le principe de la déphosphoration biologique consiste en une suraccumulation de phosphore dans la biomasse. Si des teneurs de 2 à 3 % en phosphore dans les boues sont obtenues sous des conditions normales et correspondent aux besoins des bactéries, le mécanisme de suraccumulation nécessite de placer la biomasse alternativement en phase anaérobie et aérobie. En phase anaérobie des bactéries céto-gènes anaérobies facultatives utilisent le carbone organique pour produire de l'acétate. La succession de phases anaérobies - aérobies, on peut obtenir une accumulation progressive du phosphore dans ces micro-organismes jusqu'à des valeurs pouvant atteindre 10% de leur poids sec. L'élimination du phosphore peut être réalisée par un traitement chimique par l'utilisation des réactifs chimiques qui précipitent le phosphore, par exemple, la chaux, les sels d'aluminium et de fer. (Karaali, 2008; Djehaichia, 2020).



Figure II.6 : Bassin d'aération (STEP Guelma 2022).

2-Traitement par voie physico-chimique

➤ Clarification

La clarification permet de séparer par décantation l'eau épurée des boues « secondaires » issues du traitement biologique. Cette décantation se fait dans des ouvrages spéciaux, le plus souvent circulaires, appelés clarificateurs ou décanteurs secondaires (fig.II.7).

Une partie des boues « secondaires » est évacuée en aval vers le traitement des boues ; l'autre partie est recyclée vers le bassin d'aération pour maintenir la masse biologique nécessaire au fonctionnement de l'installation. Dans la plupart des cas, l'effluent peut être rejeté dans le milieu naturel (Oued Seybouse) après la clarification et ne nécessite pas, au préalable, une désinfection. (Zizi, 2015; Sahri, 2021)



Figure II.7: Clarificateur (STEP Guelma 2022).

➤ Désinfection

Après la récupération des eaux clarifiées, ces dernières seront envoyées vers un bassin rectangulaire formé des chicanes (fig.II.8) afin de recevoir des doses de chlore préparées à partir de l'hypochlorite de calcium, cette étape permet de détruire toutes germes avant le rejet.

Un contrôleur de chlore est installé à la sortie du bassin pour pouvoir contrôlé le taux du chlore

(Ladjel,2008 ; Djehaichia, 2020)

Il existe de nombreuses techniques de désinfection des eaux. Les techniques disponibles actuellement dans le monde sont les suivantes

- * Désinfection à l'ozone;
- * Désinfection par rayonnement UV;
- * Désinfection utilisant le chlore.



Figure II.8 Bassin de désinfection (STEP Guelma 2022)

II.5 Traitement des boues

La boue activée, composée essentiellement de micro-organismes hétérotrophes, qui dégradent les matières organiques, dont les matières azotées, dégradées en nitrates. L'introduction d'oxygène par aération est donc indispensable à leur action. Les micro-organismes sont maintenus en mélange intime avec l'eau à traiter et ainsi, entrent constamment en contact avec les polluants organiques des eaux résiduaires. (2www, 2022)

Le mélange de boues primaires et secondaires conduit à l'obtention des boues mixtes.

Le traitement des boues est défini comme l'ensemble des opérations visant à modifier les caractéristiques des boues en excès afin de rendre leur destination finale fiable et sans nuisance. Visant à diminuer la quantité de boues à stocker et à épandre, ou améliorer leurs caractéristiques physiques par :

➤ L'épaississement

Visé à augmenter la siccité (teneur en matière sèche)des boues sans pour autant modifier le caractère liquide de la boue. Qui peut se faire simplement par voie gravitaire dans un concentrateur ou par des moyens mécaniques (égouttage, flottation ou centrifugation) (fig II.9).



Figure II.9 : Épaississeur (STEP Guelma 2022).

➤ La déshydratation

Qui correspond en fait à une augmentation forte de siccité, modifie l'état physique des boues, celles-ci passant de l'état liquide à l'état pâteux ou solide.

➤ Le séchage

Élimine en grande partie ou en totalité l'eau par évaporation, soit par voie naturelle (lits de séchage (fig II.10), soit par voie thermique.

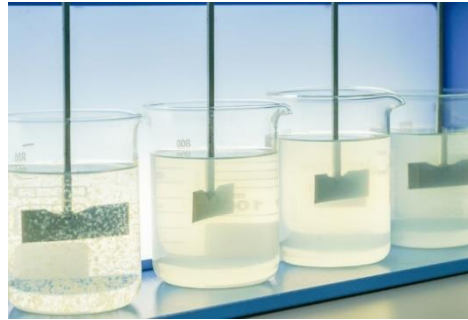


Figure II.10: Lits de séchage (STEP Guelma 2022).

II.6 Conclusion

Les eaux usées de différentes compositions et de diverses origines constituent un problème pour la nature lors du rejet sans subir de traitements au préalable. Afin de montrer l'intérêt de leur épuration, nous avons présenté dans ce chapitre d'une part, les origines des eaux usées et la description de la station d'épuration de Guelma et d'autre part, les différentes méthodes utilisées pour leur épuration.

Chapitre III



Coagulation-Flocculation

III.1 Introduction

La coagulation floculation est un traitement de clarification très efficace dont l'objectif primordial est l'élimination de la portion non décantable des matières en suspension. Cette catégorie de substances est représentée essentiellement par les colloïdes, caractérisés par leur grande stabilité.

En tant que processus simple du traitement de l'eau, la coagulation résulte de l'addition de réactifs chimiques dans des dispersions aqueuses, afin d'assembler en floccs plus gros les fines particules dispersées, ces nouveaux agrégats (floccs) peuvent être éliminés, après floculation, par des procédés tels la décantation ou la filtration. La floculation est considérée ici comme processus distinct qui a lieu en fin de coagulation, elle consiste à favoriser la croissance de floccs macroscopiques, avec ou sans utilisation d'additifs tels les adjuvants de floculation. Bien que la floculation soit la conséquence naturelle de la coagulation, les deux procédés correspondent à des technologies spécifiques qui doivent être mises en œuvre selon des règles spécifiques de conception ; ceci signifie que la floculation doit être envisagée comme un processus à part entière. (**Selka 2013**)

La préhension de ce phénomène nécessite une connaissance approfondie de l'état colloïdale, de la structure chimique des coagulants utilisés ainsi que leur mode d'action. La coagulation est certes une opération simple à réaliser mais les mécanismes mis en jeu sont très complexes et ne cessent d'occuper une large place dans les recherches récentes. (**Selka 2013**)

Dans ce chapitre, nous allons présenter des généralités sur les particules en suspension, le procédé de coagulation-floculation avec les différents coagulants et floculants utilisés et les facteurs influençant la coagulation.

III.2 Particules en suspension et colloïdales

En général, la turbidité de l'eau est causée par des particules de matières inorganiques (particules de glaise et d'argile) alors que sa couleur est imputable à des particules de matières organique. Les matières existantes dans l'eau peuvent se présenter sous les trois états suivant :

*État de suspension qui regroupe les plus grosses particules. Qui regroupent les plus grosses particules, ces matières sont d'origine minérales ou organique et possèdent un diamètre supérieur à 1 μm . Leur temps requis pour décanter d'un mètre varie de quelques dixièmes de secondes à plusieurs jours selon leur diamètre et leur densité.

*État colloïdales sont des matières en suspension de même origine mais de diamètre inférieur à 1 μm . Leur vitesse de décantation est pratiquement nulle

*État dissous des sels minéraux et des molécules organiques ; sont généralement des cations ou anions de quelques nanomètres de diamètres. (**Gadri, 2019**)

III.3 Théorie de la double couche

Les particules colloïdales dans l'eau possèdent une charge électrique qui est généralement négative. Comme elles ont toutes la même charge, elles se repoussent et n'ont pas tendance à former des agrégats plus gros et donc plus facile à éliminer, elles demeurent donc stables. Les ions positifs présents dans l'eau neutralisent la charge à la surface de la particule et forment une couche autour du colloïde. Diverses théories expliquent ce phénomène. (**Ghanem, 2020**)

1- Théorie de Helmholtz : une couche d'ions positifs recouvre intégralement la surface du colloïde et assure la neutralité de l'ensemble (couche fixée) ;

2- Théorie de Gouy-chapman : la couche d'ions positifs est inégalement répartie autour du colloïde ; la neutralité est obtenue à une plus grande distance (couche diffuse). (**Lakhdari, 2011**)

3- Théorie de Stern ; est un compromis des deux précédentes, elle considère la formation de la double couche, la première adhère à la particule et le potentiel décroît rapidement la seconde est plus diffuse et le potentiel décroît plus lentement. (**Degrement, 2005 ; Ezziane ,2007**)

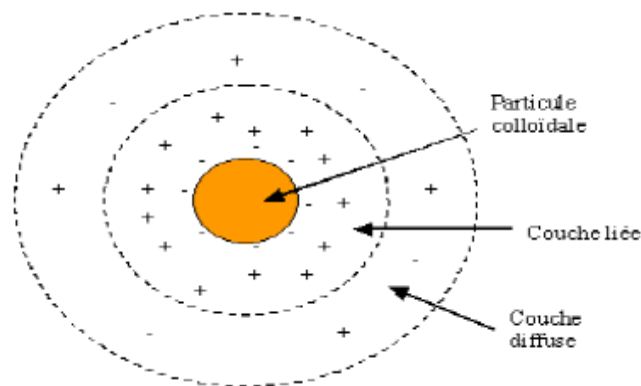


Figure III.1 : structure des colloïdes «théorie de la double couche»

III.4 Clarification

La turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causées par des particules très petites, dites particules colloïdales. Ces particules, qui peuvent rester en suspension dans l'eau durant de très longues périodes de temps, peuvent même traverser un filtre très fin. Par ailleurs, du fait de leur grande stabilité, elles n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres.

La clarification d'une eau brute est l'ensemble des opérations permettant d'éliminer les matières en suspension ainsi que la majeure partie des matières organiques. Pour éliminer ces particules, on a recours aux procédés de coagulation et de floculation.(**Boursali, 2011 ; Bouhadi, 2021**)

III.4.1 Coagulation –floculation

Le mot coagulation vient du latin *coagulare* qui signifie « agglomérer »), c'est une opération qui permet de débarrasser les eaux usées des impuretés qu'elles contiennent grâce à la réaction d'émulsion. La coagulation a donc pour but principal de déstabiliser les fines particules en suspension pour ainsi faciliter leur agglomération. (Ghanem, 2020)

Généralement caractérisé par l'injection et la dispersion rapide de produits chimiques. La floculation a pour but de favoriser, à l'aide d'un mélange lent, les contacts entre les particules déstabilisées

Les procédés de coagulation et de floculation facilitent l'élimination de matières en suspension et des colloïdes en les rassemblant sous forme de floc dont la séparation est ensuite effectuée par des systèmes de décantation, flottation et/ou filtration (Fig.III.2). (Hernandez, 2006)

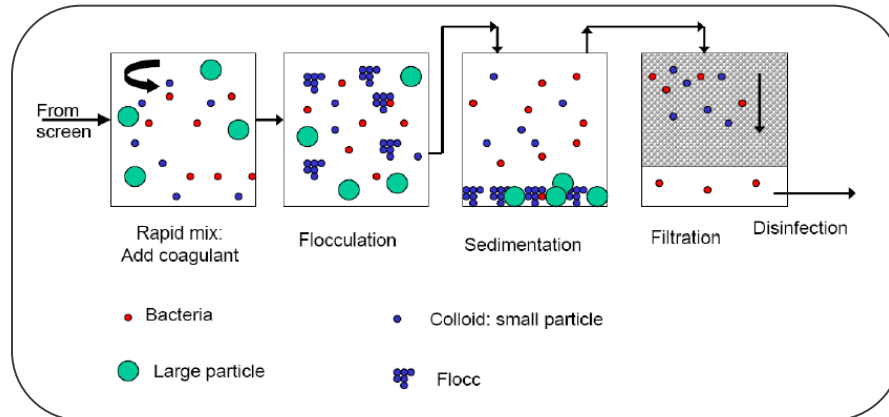


Figure III.2: Processus de coagulation -floculation (Sadok ;2017)

III.4.2 Principe et mécanismes de la coagulation –floculation

III.4.2.1 Principe

Les particules colloïdales en solution sont naturellement chargées négativement. Ainsi, elles tendent à se repousser mutuellement et restent en suspension. On dit qu'il y a stabilisation des particules dans la solution. La coagulation consiste dans la déstabilisation des particules en suspension par la neutralisation de leurs charges négatives. On utilise, pour ce faire des réactifs chimiques nommés coagulants. L'adjonction du coagulant produit dans un premier temps un ensemble de réactions complexes d'hydrolyse, d'ionisation dans un second temps, une déstabilisation des colloïdes par un ensemble de mécanismes complexes, le procédé nécessite une agitation importante. (Brahmi et al, 2010 ;Ghanem, 2020).

III.4.2.2 Mécanisme

La coagulation représente l'ensemble des phénomènes physico-chimiques visant à déstabiliser une solution de particules très petites de charge négative, appelées colloïdes et favoriser leur agglomération. Généralement les particules colloïdales possèdent une charge électrique négative et identique ce qui les amène à se repousser et ne pas former de flocs facilement décantables. Elle permet la neutralisation de la surface de la charge des colloïdes par l'addition d'ions à charge positive, sels métalliques ou minéraux.

*La floculation c'est l'ensemble des phénomènes physico-chimiques menant à l'agrégation de particules stabilisées pour former des flocons ou flocs. Après coagulation, les particules possèdent une énergie cinétique supérieure à celle qui est nécessaire pour vaincre les forces électrostatiques de répulsion ; le phénomène est réversible, c'est-à-dire que l'on peut casser ces agrégats, par exemple en agitant fortement le liquide, pour retrouver la solution de colloïdes initiale.

*La décantation quant à elle, a pour but d'éliminer les particules en suspension dont la densité est supérieure à celle de l'eau. Les particules s'accumulent au fond du bassin de décantation d'où on les extrait périodiquement. L'eau clarifiée, située près de la surface, est dirigée vers l'unité de filtration.

*Le temps de décantation des particules coagulées dépend du type de particules, du diamètre des particules et de leur surface spécifique ; Il est donc impossible que certaines particules notamment les colloïdes et les particules à surface spécifique très élevée décantent naturellement. Pour obtenir la décantation de ces particules, il faudrait assembler un très grand nombre de colloïdes en agrégats d'au moins 10 à 100 μm .(Boumati, 2017)

Le mécanisme de la coagulation s'effectue de l'une des façons suivantes :

1) Optimisation de la coagulation

Lors de coagulation, il faut chercher :

- La maximisation de la déstabilisation des particules et des colloïdes organiques pour faciliter leur agglomération et leur enlèvement subséquent, par un procédé de séparation solide-liquide ;
- La minimisation de la concentration en coagulant résiduel ;
- La minimisation de la production des boues ;
- La minimisation des couts d'opération ;

La coagulation optimale correspond au dosage de coagulant et au pH qui assurent l'atteinte de tous ces objectifs. (Hached, 2018)

2) Modes de déstabilisation

Quatre mécanismes sont proposés pour expliquer la déstabilisation des particules et leurs agglomérations :

- Compression de la double couche (coagulation électrostatique);
- Adsorption et neutralisation des charges ;
- Emprisonnement des particules dans un précipité :
- Adsorption et pontage. (Ghanem, 2020 ; Kherifi, 2009)

a) Compression de la double couche

La compression de la double couche diminue la barrière énergétique ; ainsi, les colloïdes peuvent se rapprocher. Ceci est atteint par l'injection d'électrolyte indifférents dans l'eau). La règle de Schultz - Hardy montre que l'impact des électrolytes indifférents augmente avec la valence des ions d'une sixième puissance exponentielle. (Al arni et al., 2019 ,Gheraout et Al., 2018 ; Bouhadi, 2021)

Toutefois, l'addition de l'électrolyte va augmenter la densité de charge dans la couche diffuse en favorisant sa contraction .l'effet de cette contraction consiste à changer la distribution des forces répulsive de la double couche au sein de colloïde, entraînant une réduction de la surface potentielle avec l'augmentation de la concentration de l'électrolyte, ce qui permet aux forces attractives de van der Waals de devenir plus dominantes ,favorisant ainsi l'agrégation des particules (Fig.III.3). A une concentration d'électrolyte élevée la force de répulsion disparaît et l'agglomération des particules se fait rapidement. Mais, aucune rentabilisation des particules due à une inversion de charges ne devrait apparaître après ajout d'un surplus de coagulant. (Gadri, 2019).

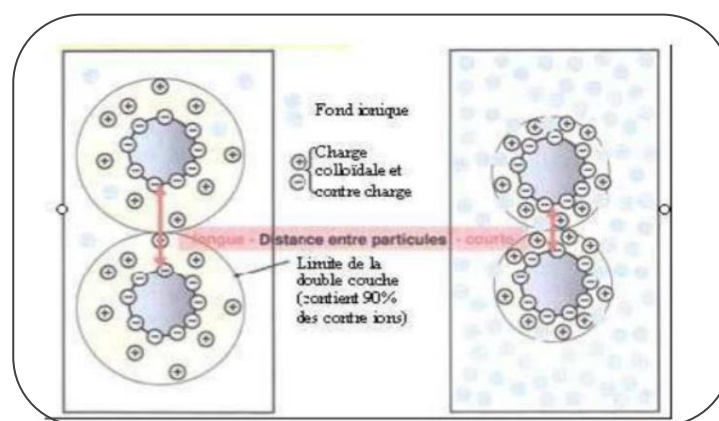


Figure III.3: Représentation schématique de la compression de la couche diffuse. (Ezziane, 2007)

b) Adsorption et neutralisation des charges

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

de cations, peut résulter en une adsorption trop importante de cations et inverser la charge des particules qui devient alors positive. Les particules seraient ainsi restabilisées (fig.III.4). (**Bouhadi, 2021**)

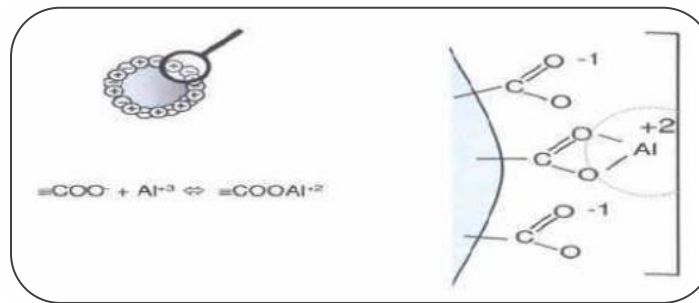


Figure III. 4 : Représentation schématique de neutralisation des charges. . (**Gadri, 2019**)

c) Emprisonnement des particules dans un précipité

Pour la déstabilisation des particules colloïdales, on peut en outre les emprisonner, lorsqu'on ajoute en quantité suffisante des coagulants, habituellement des sels de métaux trivalents, $Al_2(SO_4)_3$ ou $FeCl_3$, on obtient un précipité appelé floc. Lorsque le pH de l'eau est situé dans une plage acide ou neutre, le floc, constitué de molécules de $Al(OH)_3$ ou de $Fe(OH)_3$, possède habituellement une charge positive. La présence de certains anions et de particules colloïdales accélère la formation du précipité. Les particules colloïdales jouent le rôle de noyaux lors de la formation du floc; ce phénomène peut entraîner une relation inverse entre la turbidité et la quantité de coagulant requise (figure III.5). En d'autres mots, une concentration importante de particules en suspension peut entraîner une diminution de la quantité de coagulant nécessaire. (**Gadri, 2019**)

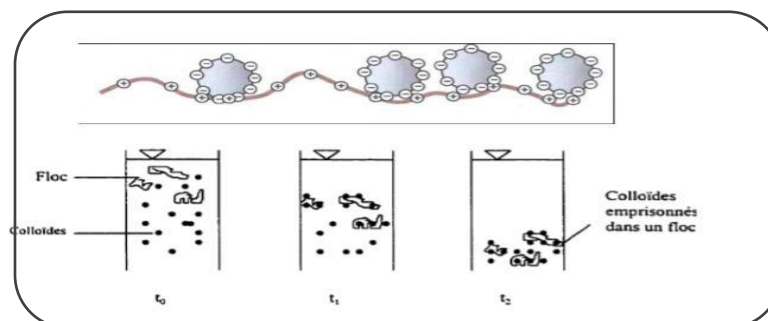


Figure III.5:Emprisonnement des particules dans les floes pendant la décantation.(**Zongo, 2009**)

d) Adsorption et pontage entre les particules

Ce mécanisme implique l'utilisation de polymères cationiques ou anionique ayant une masse moléculaire élevée et une structure longitudinale. Un polymère en présence d'un colloïde l'adsorbe à une de ses extrémités à l'aide d'un de ces groupes fonctionnels, les autres extrémités demeurent libre et peuvent adsorber un autre colloïde.

Ce mécanisme permet donc l'agglomération des particules par «pontage» des polymères(fig.III.6)

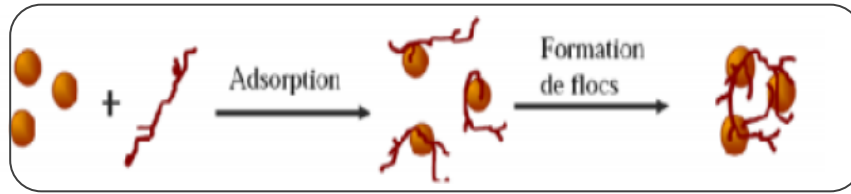


Figure III.6 :Adsorption et pontages à l'aide d'un polymère (**Lakhderi, 2011**)

III.4.3 Les coagulants utilisés

Les sels métalliques sont certainement les coagulants les plus utilisés dans le monde actuellement ce sont généralement des sels de métaux qui donnent des cations métalliques, principalement des sels d'aluminium ou de fer. (**Boumati ; 2017**).

Ces produits agissent en neutralisant la charge négative des composés dissous et des particules en suspension dans l'eau au moyen de la charge positive de l'aluminium ou du fer. Cette action entraîne la formation de particules plus grosses qui se déposent rapidement au fond de l'eau. (**Gadri, 2019**)

1) Les sels d'aluminium

*Sulfate d'aluminium

Le sulfate d'aluminium est le plus utilisé en coagulation, c'est un sel basique, hydraté, commercialisé sous la forme solide $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$. (**Ezziane, 2007 ;Cherif, 2012**)



Figure III.7 Sulfate d'aluminium poudre

Suivant la turbidité de l'eau, la dose sera comprise entre 15 à $100\text{g}/\text{m}^3$; la gamme de pH d'utilisation est de 5,7 à 7,2 (Optimum 6).(**Achour, 2005 ;Cherif, 2012**)

En effet, l'ion aluminium se dissocie dans l'eau en ions aluminium et sulfate, conduisant à des réactions chimiques avec les ions hydroxydes ,il réagit sur l'eau pour former l'hydroxyde d'aluminium qui précipite sous la forme d'un flocc volumineux.



Il se forme un acide qui réagit avec le bicarbonate présent dans l'eau.



La réaction globale est :



***Chlorure d'aluminium**

Suivant la turbidité de l'eau, la dose sera comprise entre 12 et 40 g/m³. La formule de réactif commercial de chlorure d'aluminium est AlCl₃ .6H₂O



***Alumine de sodium**

Suivant la turbidité de l'eau, la dose sera comprise entre 5 et 50 g/m³. La formule de réactif commercial d'aluminate de sodium NaAlO₂.



2) Les sels de fer

Les sels de fer sont généralement plus coûteux que le sulfate d'aluminium, ce qui explique leur emploi plus restreint. Par ailleurs les composés du fer semblent avoir de légers avantages comparativement aux autres et ces dérivées, grâce au fait que le floc formé soit lourd et se dépose facilement sous des conditions favorables. (Selka ,2013; Dahmane ,2020)

***Sulfate ferrique**

Suivant la turbidité de l'eau, la dose de sulfate ferrique sera comprise entre 10 et 50 g/m³



Figure III.8: Sulfate ferrique en poudre

***Chlorure ferrique**

La dose de chlorure ferrique sera comprise entre 5 et 150 g/m³ pour la clarification des eaux de surface, et entre 50 et 300 g/m³ t pour la clarification les eaux résiduaires.



Figure III.9 :Chlorure ferrique en poudre

***Sulfate ferreux**

Suivant la turbidité de l'eau, la dose de sulfate ferreux sera comprise entre 5 et 25 g/m³.



III.4.4 Facteurs influençant la coagulation

De nombreux facteurs influencent le mécanisme et l'efficacité de la coagulation .certains sont liés à la qualité de l'eau à traiter : le pH, l'alcalinité, la turbidité, la couleur, et la matière organiques, la température d'autre sont lies au traitement lui-même : la nature, la dose du coagulant et le mode d'injection.

1) Influence du pH

Le PH est la variable la plus importante à prendre en considération au moment de la coagulation .pour chaque eau, il existe une plage de pH pour laquelle la coagulation est optimale, elle est fonction du coagulant utilisé, de la concentration et de la composition de l'eau à traiter.

Les floccs sont des précipités hydroxydes de métaux. Leur formation et leur stabilité dépendent donne du pH. Les zones de prédominance des hydroxydes de fer et d'aluminium sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau III.1 : Les zones de prédominance des hydroxydes de fer et d'aluminium

Forme prédominante	pH
Al(OH) ₃	5,6 - 7,2
Fe(OH) ₃	5,5 - 8,3

Pour que la coagulation puisse se produire hors de cette plage optimale, il faut soit augmenter la quantité de coagulant, soit se contenter d'une eau de moins bonne qualité. En général, le temps de coagulation est compris entre 15 secondes et 3 minutes. **(Hernandez ,2006; Ghanem, 2020)**

2) L'influence de la température de l'eau

La température joue un rôle important. En effet, une température basse, entraînant une augmentation de la viscosité de l'eau, crée une série de difficultés dans le déroulement du processus. La coagulation et la décantation du floc sont ralenties et la plage du pH optimal diminue. Pour éviter ces difficultés, une solution consiste à changer de coagulant en fonction des saisons. **(Hector, 2006 ; Gadri, 2019)**

3) L'influence du coagulant

Le choix du coagulant influence les caractéristiques de la coagulation .autrement dit, Les finalités de traitement, même si l'alun est le coagulant le plus utilisé.il peut être avantageux de le remplacer par un autre coagulant ou de mettre de l'adjuvant selon les caractéristiques de l'eau à traiter. On ne peut choisir un coagulant et en déterminer la concentration optimale qu'après essai au laboratoire vu la complexité du phénomène. **(Sekiou,2001 ; Bouhadi, 2021)**

La détermination de la concentration du coagulant est un paramètre essentiel pour la déstabilisation des colloïdes. Une dose de coagulant excessive entraîne une ré-stabilisation des particules colloïdales qui sont susceptibles de la charge de surface et augmentation du coût d'exploitation, tandis qu'un dosage insuffisant conduit à une qualité de l'eau traitée insuffisante. **(Gallard, 2002 ; Gadri, 2019)**

4) Influence de la turbidité

La turbidité est, elle aussi, un paramètre influant sur le bon fonctionnement du procédé de coagulation. Dans une certaine plage de turbidité, l'augmentation de la concentration en particules doit être suivie d'une augmentation de la dose de coagulant. **(Cardot, 2005 ; Gadri, 2019)**

Elle est principalement due à la présence de particules de diamètre de 0,2 à 5micromètre. L'augmentation de la quantité de coagulant ne varie tout fois pas de façon linéaire en fonction de la turbidité. Lorsque la turbidité est très élevée, la quantité de coagulant nécessaire est relativement faible, car la probabilité de collision entre les particules est très élevée. Par contre, lorsque la turbidité est faible, la coagulation est difficile. **(Ahmed, 2010 ; Ghanem, 2020)**

5) Influence de la couleur

Des études ont révélé que 90 des particules responsables de la couleur avaient de diamètre supérieur à 3,5 nm ces particules sont donc des particules colloïdales beaucoup plus petites que les particules responsables de la turbidité. La plupart des particules responsables de la couleur possèdent des charges négatives à leur surface. Pour un pH optimal, la couleur résiduelle décroît proportionnellement avec l'augmentation de la quantité de coagulant utilisée. Le pH optimal pour l'élimination de la couleur varie entre 4 et 6 **(Ghanem, 2020)**

6) Influence de l'agitation

A la première étape la coagulation nécessite une agitation vigoureuse et de courte durée(2min au maximum) afin de favoriser la dispersion et l'homogénéisation des produits injectés dans la totalité du volume d'eau à traiter, mais une agitation intense peut empêcher l'agrégation des particules.

dispenser de façon uniforme le coagulant. A la deuxième étape, l'agitation est lente et elle a pour but de provoquer les contacts entre les particules pour former des floccs décantables d'une durée de 30 à 60min. (Prévoist, 2010 ; Bachi,2005)

III.5 Floculation

La floculation est l'ensemble des phénomènes physico-chimiques favorisant le contact entre particules colloïdalesdéstabilisées menant à leur agrégation par collision les unes contre les autres ce qui conduit à la croissance en taille du flocc et à la diminution en nombre des particules en solution

Ce phénomène est réversible, c'est à dire que l'on peut casser ces agrégats, par exemple en agitant fortement le liquide, pour retrouver la solution de colloïdes initiale. (Mottot, 2000 ; Gadri, 2019).

III.5.1 Principe de la floculation

La floculation a justement pour but d'augmenter la probabilité de rencontre entre les particules grâce à l'agitation du fluide.

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

Cette augmentation accroît aussi l'influence de la barrière énergétique et ceci réduit encore le contact péricinétique dès que le diamètre de particules dépasse 1µm. (Hernandez 2006 ; Ghanem ,2020)

III.5.2 Flocculants utilisés

L'utilisation d'un seul coagulant ne permet pas, dans tous les cas, d'obtenir une bonne coagulation floculation. L'utilisation d'un aide-coagulant permet d'améliorer les performances du procédé de coagulation -floculation.

Les flocculants emprisonnent les matières colloïdales agglomérées et forme ainsi des floccs volumineux qui se déposent par gravité. Ils sont ajoutés après la coagulation pour augmenter d'avantage la taille et la cohésion des floccs les flocculants peuvent être de trois natures différentes. (Ghanem, 2020 ; Bouhadi, 2021)

1) Flocculant organiques

Sont des polymères hydrosolubles pouvant avoir une charge anionique, cationique ou neutre. Ils agissent par adsorption, on en distingue les dérivés amylicés et les polysaccharides tels que l'alginate de sodium, la pectine et l'amidon..

2) Flocculant minérales

Ce sont des produits chimiques qui agissent par adsorption ou par neutralisation sur une eau brute qui ne contient pas assez de matières en suspension. Les flocculants connus sont à base de la silice activée, certaines argiles colloïdales comme la bentonite ,Kaolin ou le charbon actif en poudre, carbonate de calcium en poudre, certaines hydroxydes à structure polymère comme l'alumine ou l'hydroxyde ferrique et le sable fin

3) Flocculant de synthèses

Ce sont des produits fabriqués à partir de monomères à très haute masse moléculaires. Ces polymères ont un rendement supérieur aux polymères naturelles ,ils sont classés suivant leur ionicité ;

***Anionique** : conçu à partir polymère d'acrylamide et l'acide acrylique

***Neutre** : conçue à partir de polyacrylamides

***Cationique** : conçu à partir d'acrylamide et de méthacrylate de diméthylamino-éthyle ou d'acrylate de diméthylamino-éthyle

III.6 Décantation

La décantation est la méthode de séparation la plus fréquente des matières en suspensions et des colloïdes rassemblés sous forme de floc après une étape de coagulation. Il est bien connu que les particules en suspension sédimentent en fonction de leur taille, donc pour obtenir une bonne décantation, il est nécessaire d'augmenter le diamètre des particules d'où l'utilité impérieuse du phénomène de coagulation –floculation.

Le temps de décantation des particules coagulées dépend du type de particules, du diamètre des particules et de leur surface spécifique. Pour obtenir la décantation de ces particules, il faudrait assembler un très grand nombre de colloïdes en agrégats d'au moins 10 à 100 µm.(**Gadri, 2019**).

III.7 Filtration

La filtration est un procédé de séparation solide /liquide qui utilise le passage à travers un milieu poreux (la plus courante est le sable) qui retient les particules en suspension dans l'eau brute ou l'eau prétraitée (floculée et décantée A mesure que les particules solides atteignent la couche filtrante, elles se déposent et absorbent les matières minérales ou organiques qui arrivent ultérieurement.

Ceci peut conduire à la formation d'un film biologique .avec le temps, il y a diminution du diamètre des pores du filtre, on dit qu'il y a colmatage.

D'une façon générale. On distingue deux types de filtration.

La filtration lente qui a l'avantage d'être une opération facile mais présentant plusieurs inconvénients tels que la nécessité d'une grande surface et l'exigence d'une eau dont la turbidité est faible

La filtration rapide, qui en revanche est une opération relativement complexe mais palliant aux inconvénients de la première. (**Degremont ,2005**)

III.8 Conclusion

La coagulation-floculation est une étape de clarification très importante qui permet d'éliminer les matières colloïdales présentes sous forme minérale ou organique, et qui sont caractérisées par leur grande stabilité et leur faible taille.

Le processus de coagulation-floculation a fait apparaître divers mécanismes, souvent complexes et dépendant fortement du pH de l'eau à traiter. En outre, les chercheurs s'intéressent de plus en plus à optimiser cette étape pour un meilleur abattement des polluants, notamment organique, certains ont porté leur choix sur l'amélioration des performances des réactifs coagulant et adjuvants de floculation.



Chapitre IV

Matériels et Méthodes

IV.1 Introduction

Dans toute station d'épuration des eaux usées il est nécessaire d'effectuer des analyses de l'eau brute (à l'entrée) et de l'eau traitée (à la sortie) afin de déterminer les différents paramètres physicochimiques et bactériologiques permettant d'évaluer le niveau de pollution dans chaque phase de traitement pour donner une bonne appréciation des performances.

Ce chapitre est focalisé sur la description des méthodes d'analyses et le matériel utilisé pour vérifier l'efficacité des traitements des eaux usées par boue activée au niveau de la station d'épuration de Guelma (STEP) ainsi que les méthodes d'analyses de l'eau usée traitée par coagulation floculation au niveau de laboratoire pédagogique de l'université de Guelma

IV.2 Eaux usées traitées par boue activée

IV.2.1 Echantillonnage

Le prélèvement d'un échantillon est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté. Il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modification des caractéristiques de l'échantillon.

Pour les prélèvements destinés à l'analyse physico-chimiques, le premier prélèvement est exécuté à l'entrée de la station constituant ainsi l'eau brute (Fig. IV.1) l'autre du bassin de désinfection constituant l'eau traitée (Fig. IV.2)



Figure IV. 1 : Prélèvement à l'entrée



Figure IV. 2: Prélèvement à la sortie.

IV.1.2 Condition de prélèvement

Parmi les conditions essentielles on peut citer les suivantes :

- Utiliser des flacons propres.
- Rincer plusieurs fois les flacons avec l'eau prélevée.
- Identifier les flacons par étiquette (la date, l'heure, nom d'échantillon).
- Le transport des échantillons au moyen des glacières.

- L'échantillon composite doit être conservé dans le réfrigérateur à 4°C.

IV.1.3 Analyses physico –chimiques

Pour évaluer l'efficacité du procédé d'épuration au niveau de la station de Guelma, nous avons effectué les analyses physico-chimiques au niveau de leur laboratoire, suivant les modes opératoires cités ci-dessous. Toutefois, il est à noter que nos analyses ne représentent pas tous les paramètres de mesure de la pollution, du fait qu'on se soit limité à celles qui sont réalisables au niveau du laboratoire de la station.

Les paramètres à analyser sont :

- Température
- Conductivité
- Potentiel hydrogéné (pH)
- Matière en suspension (MES)
- Demande chimique en oxygène (DCO)
- Ammoniac ; nitrite , nitrate et Orthophosphate OPO_4

1) Mesure de la température

*Principe

La détermination de la température est faite au laboratoire à l'aide d'un thermomètre incorporé à pH-mètre étalonné avant chaque manipulation. On lit directement la température exprimée en degré Celsius (°C).

* Mode opératoire

- Prendre dans un flacon une quantité de l'eau (brute et traité) à analyser.
- Tremper le thermomètre dans le flacon.
- Laisser ce dernier quelque minute jusqu'à stabilisé.
- Noter la valeur de température.

2) Mesure du PH

* Principe

La mesure du pH a été effectuée au laboratoire à l'aide d'un pH-mètre muni d'une électrode préalablement étalonnée avec des solutions tampon pH (4 et 7). La méthode consiste à plonger l'électrode dans l'échantillon contenu dans un bécher, après la stabilisation de l'affichage sur le cadran du pH mètre, on lit la valeur du pH directement (Fig.IV.3).

*** Mode opératoire**

- Prélever 100ml d'eau traitée, et d'eau brute.
- Rincer l'électrode du pH avec l'eau distillée.
- Introduire l'électrode du pH-mètre a l'intérieure du récipient contenant l'échantillon.
- Le pH joue un grand rôle dans le traitement des eaux



Figure IV.3 : PH-mètre.

3) Mesure de La conductivité électrique (CE)***Principe**

La conductivité électrique a été déterminée à l'aide d'un conductimètre électrique qui permet de mesurer également les solides totaux dissous.

***Mode opératoire**

- Etalonnage de l'appareil
- Introduire un volume de l'échantillon l'eau a analysé (eau brute et eau épurée (dans bécher))
- Les résultats sont exprimés en $\mu\text{s}/\text{cm}$.



Figure IV.4: Conductimètre.

4) Mesure de la matière en suspension (MES)

*Matériels

- Dispositif de filtration (trompe à eau, fiole et entonnoir de filtration).
- Disque filtrant en fibre.
- Étuve à 105°C.
- Balance de précision.
- Dessiccateur.

*Mode opératoire

- Préparation des filtres : laver les filtres à l'eau distillée, sécher les a l'étuve (pendant une 1 heure à 105°C), les place en attente dans le dessiccateur.
- prend le filtre et le pèse (M_0) en mg.
- placer le disque dans l'appareille de filtration (Fig. IV.5) mettez le système d'aspiration.
- verser progressivement le volume d'eau à analyser sur le disque filtrant.
- mettez le disque dans l'étuve pendant 1h à 105 °C.
- laisser le filtrant refroidir au dessiccateur.
- peser le filtre et on marque le poids comme M_1

*Résultat

La lecture se fait comme suit :(le rapport entre la différence des masses et le volume filtré donnent la concentration de matière en suspension dans l'échantillon en milligramme /litre). En appliquant la formule suivante :

$$\text{MES} = 1000 * (\text{M1} - \text{M0})/\text{V}$$

Dou :

MES :Matière en suspension (mg/l).

M1 :Masse du filtre après séchage (mg).

M0 :Masse du filtre vide, avant filtration (mg).

V :Volume d'échantillon filtré (ml).



Figure IV 5 : un dessiccateur, système d'aspiration et le filtrant

5) Demande chimique en oxygène (DCO)

* Principe

Elle s'exprime en milligramme par litre (mg/l) d'oxygène et correspond effectivement à la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder dans des conditions opératoires définies, les matières organiques présentes dans un échantillon donné.

* Réactifs

-LCK114 Cuve d'analyse contient : 90% d'acide sulfurique, sulfate de mercure, bichromate de potassium.

-LCK 314 Cuve d'analyse contient : 90% d'acide sulfurique, sulfate de mercure, argent sulfate.

*Matériels

-Eau brute.

-Eau épurée.

-Réacteur DCO (Fig.IV.6).

-Spectrophotomètre (Fig.IV.6).

-Kits (tubes contenant les réactifs).



Figure IV.6: l'eau brute et l'eau épurée à gauche au milieu Réacteur utilisée pour la mesure de DCO à droite Spectrophotomètre

*Mode opératoire

-Faire une agitation de la solution des kits LCK 114 (eau brute) et LCK 314 (eau épurée) (Fig.IV.7);

- Introduire 2ml d'eau dans un tube Hach de gamme 150-1000 mg/l pour l'effluent d'entrée et de la gamme 15-150 mg/l pour l'effluent de sortie

-Agiter légèrement la solution et laisser reposer pendant 15 min ;

-Chauffage des tubes fermés à 148°C dans le réacteur DCO pendant 2 heures ;

-Après deux heures laisser les kits se refroidissent ;

-Mesure de l'absorbance (DCO) avec le spectrophotomètre

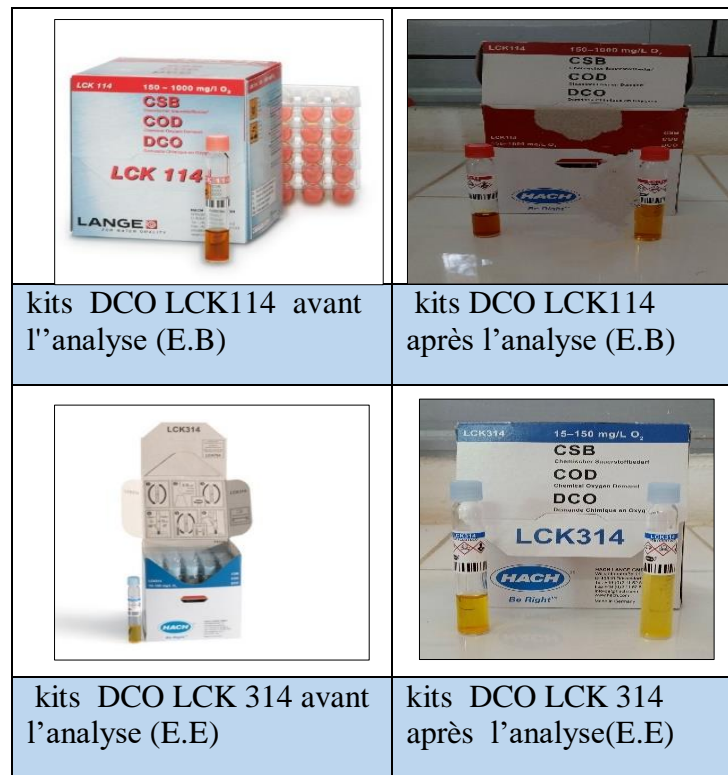


Figure IV7 : Demande chimique en oxygène (DCO)

6) L'azote des nitrites NO_2^-

*Principe

Les nitrites sont considérés comme polluant très nuisible à la santé de l'être humain et aux animaux (le taux de NO_2^- devient nocif quand il dépasse 0,5mg/l). Les nitrites réagissent en solution acide avec les amines primaires et aromatiques pour donner des sels complexes, ceux-ci forment avec des composés aromatiques, contenant un amino-groupe ou un hydroxyle ,un colorant azoïque de couleur intense .

*Réactifs

- Boite de réactif LCK 341(Fig.IV.8):
- Cuve d'analyse contient : acide citrique
- DosiCap Zip contient : Acide Amino naphtalène sulfonique, sel de sodium, Acide sulfanilique, sel de sodium dihydraté

*Matériel

- Cuve ronde.
- Micropipette.
- Spectrophotomètre-UV.

***Mode opératoire**

- Enlever délicatement la feuille de protection du DosiCapZip détachable
- Pipeter 2ml d'échantillon dans la cuve ronde ;
- fermer et mélanger et attendre 10min ;
- Bien nettoyer l'extérieur de la cuve ronde et placés dans le spectrophotomètre.

Le résultat est affiché directement sur le spectrophotomètre.

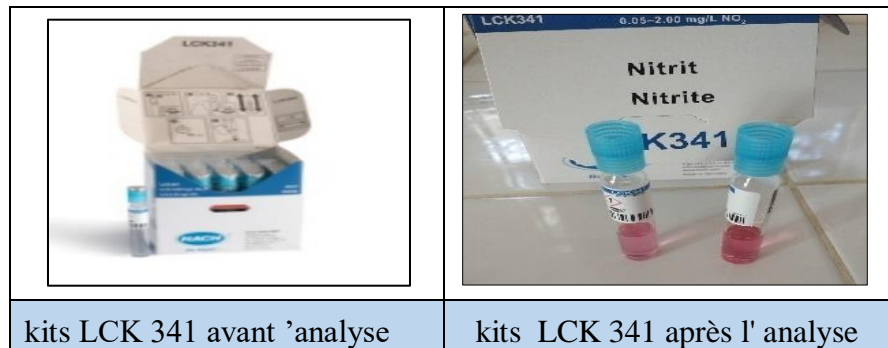


Figure IV.8 : Analyse de l'azote des nitrites

7) L'azote des nitrates NO₃⁻***Principe**

L'azote organique se transforme par oxydation en composés ammoniacaux puis en nitrate. Très soluble dans l'eau ils ne sont pas retenus par le sol.

Dans une solution d'acide sulfurique et phosphorique, les nitrates réagissent avec le diméthylphénol pour donner de nitrodiméthylphénol.

***Réactifs**

- Réactif LCK 339 (Cuve d'analyse contient : 60% acide sulfurique ,33% acide phosphorique (Fig IV.9)
- Réactif LCK339A contient (2-propanol)

***Matériels**

- Cuve ronde.
- Micropipette.
- Spectrophotomètre-UV.

Mode opératoire

- Enlever délicatement la feuille de protection du DosiCapZip détachable
- Prélever 0,2ml de l'eau brute à l'aide d'une pipette jaugée ;
- Ajouter à la solution LCK 339 ;
- Ajouter 1ml de la solution LCK339A dans la cuve ;
- Fermer et faire une agitation légère et laisser la solution se reposer pendant 15 min ;

- Bien nettoyer l'extérieure de la cuve ronde ;
- Mettre le kit a l'intérieure spectrophotomètre pour mesurer.
- Le résultat est affiché directement sur le spectrophotomètre.
- refaire les mêmes étapes pour eau épurée

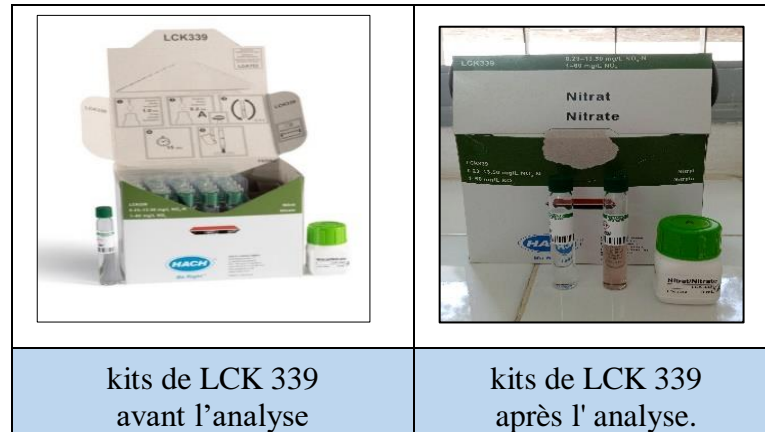


Figure IV.9 : Analyse de l'azote des nitrates

8) L'azote ammoniacal NH_4^+

Mesure spectrométrique à environ 655 du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylique et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium

*Réactifs :

- Boîte LCK303, LCK304
- Cuve d'analyse contient ; Hydroxyde de sodium.
- DosiCap Zip contient : Trocloséne sodique dihydrate, sodium nitroprussiate dihydraté.

*Matériels

- Kits (tube contenant les réactifs (fig.IV.10)

-Eau brute

-Eau épurée

-Spectrophotomètre.

*Mode opératoire

- Enlever délicatement la feuille de protection du DosiCapZip détachable
- Pipeter 0.2 ml de l'eau brute dans le kit.
- Mélanger le kit pendant 3 secondes.
- Laisser le kit pendant 15 min, bien nettoyer l'extérieure placer la cuve ronde dans le spectrophotomètre ;
- pipeter 5ml de l'eau épurée dans le kit et refaire les mêmes étapes de l'eau brute.

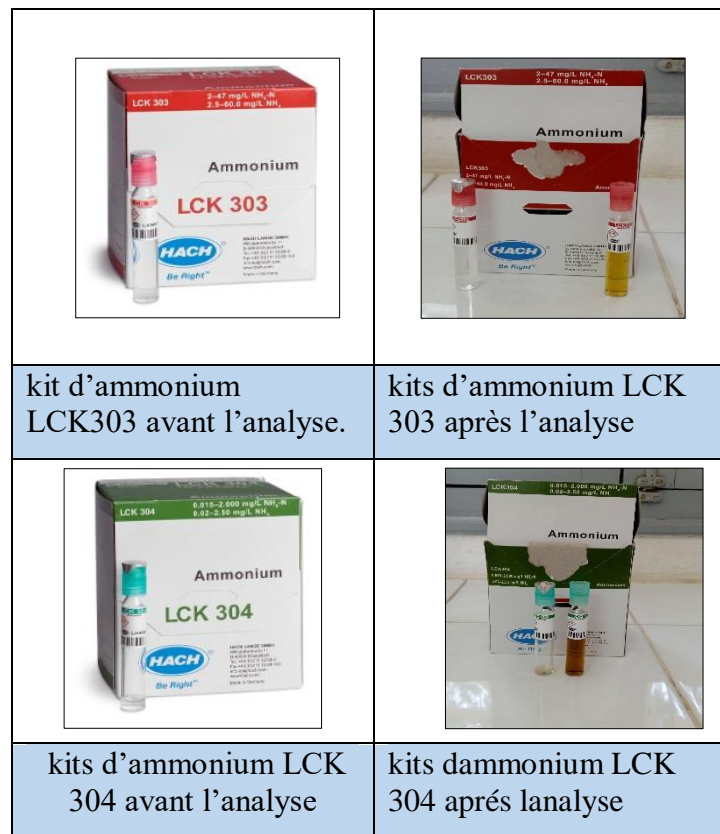


Figure IV.10 : Analyse de l'ammonium

9) L' Orthophosphate OPO_4^{3-}

*Principe

En milieu acide et présence des ions molybdate d'ammonium se forment un complexe phosphomolybdique qui sera réduit par l'acide ascorbique.

*Matériel

Kits (tube contenant les réactifs (fig.IV.11))

Spectrophotomètre-UV

Micropipette.

*Réactifs

-Boite de réactif LCK 348

-Cuve d'analyse contient : 1% acide sulfurique.

-DosiCap Zip C contient : Sodium peroxodisulfate ,Métaborate de sodium, lithium sulfate.

- LCK 348 B contient : 16% Acide sulfurique.

***Mode opératoire**

- Enlever délicatement la feuille de protection du DosiCap Zip.
- Ajouter avec micropipette 0,5ml de l'eau brute dans le kit LCK 348 ensuite pipeter 0,2 ml de réactif LCK B ;
- Visser un DosiCap C gris sur la cuve ronde, puis mélangé ;
- Attendre 10min, bien nettoyer l'extérieure de la cuve ronde.
- Le résultat est affiché directement sur le spectrophotomètre.

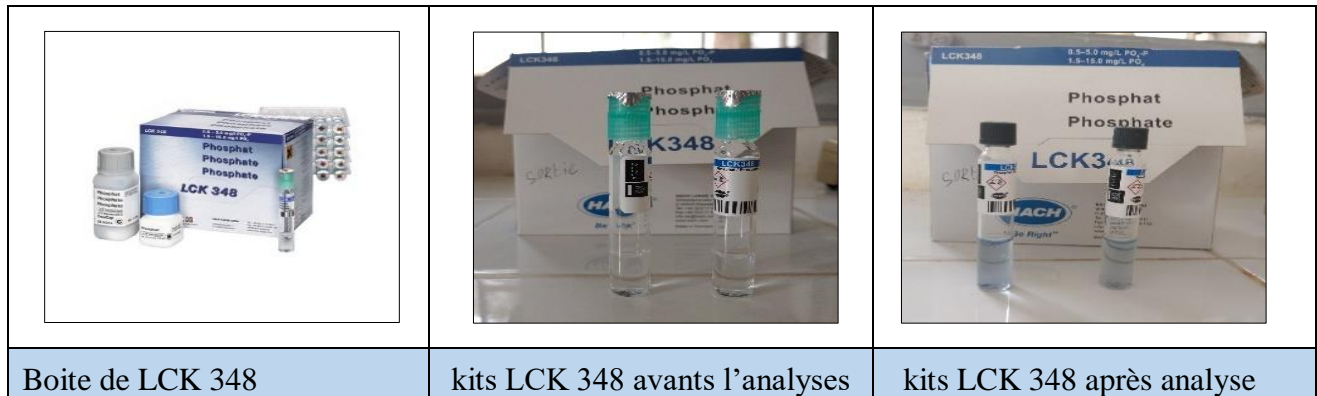


Figure IV.11: Analyse de l'Orthophosphate OPO_4^{3-}

IV.2 Eaux usées traitées par coagulation - floculation

IV.2.1 Détermination de la dose optimale du coagulant

Afin de poursuivre le phénomène de la coagulation-floculation et l'optimisation des paramètres qui l'influent et les doses des produits injectés dans cette étape d'épuration nous avons effectué des séries d'essais au laboratoire composé de 4 agitateurs remplaçant le Jar test un appareil couramment utilisé pour les essais de coagulation-floculation. Les vases de coagulation-floculation utilisés sont des béchers de forme haute de 95 mm de diamètre utile et d'une capacité de 1 L.

1) Préparation du coagulant

Nous avons utilisé le sulfate d'aluminium $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ comme coagulants pour les essais de coagulation. Une solution mère est périodiquement préparée par dissolution de 10 g/l de réactif dans de l'eau distillée. Ces essais ont pour but l'optimisation des doses des réactifs nécessaires à l'épuration de l'eau en fonction de concentration déférente.

2) Dispositifs expérimentaux

- Dans une série de béchers (Fig.IV.12) :
- Introduire 500 ml de l'échantillon (eau brute) ;
- Mesurer de la température, pH, conductivité, turbidité.
- démarrage des agitateurs ((300tr/min pendant 3 min) c'est la phase de coagulation (agitation rapide)
- Injection des différents concentrations (200,300,400 et 500mg/l) avec des doses croissantes de coagulant $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ (fig.IV.12) à chaque bécher à l'aide de pipette au pH optimal ;
- Réduire l'agitation a 60 tr/min et laisser le mélange sous agitation lente pendant 30-35min
- Arrêter l'agitation et laisser le mélange reposer pendant 1h,
- prélever une quantité suffisante de surnageant (eau claire) dans chaque bécher, à l'aide d'une pipette pour éviter toute perturbation du floc formé et mesurer les paramètres de productivité sélectionnés : Température, pH, conductivité, turbidité, et l'absorbance (Tab IV.1).



Figure IV.12 : Becher sous agitation à gauche solution du coagulation à droite

IV.2.2 Détermination de la dose optimale du flocculant

La floculation correspond par définition à la formation des floes qui sont des agrégats particulaires. C'est la deuxième étape de la formation des particules décantables à partir des colloïdes déstabilisées dans l'étape de coagulation. Ceci est dû à une agitation lente, qui transforme les particules en flocons de plus grande taille pour permettre la séparation par décantation.

1) Préparation du flocculant

Nous avons utilisé le carbonate de calcium CaCO_3 comme flocculant pour les essais de floculation. Une solution mère est périodiquement préparée par dissolution de 1 g/l de réactif dans de l'eau distillée.

Les essais d'optimisation des doses des produits injectés dans cette étape d'épuration, considérée comme phase principale dans la clarification de l'eau polluée

2) Dispositifs expérimentaux

Dans une série de béchers (Fig.IV.13):

- Introduire 500ml de l'eau brute ;
- Mesurer température, pH, conductivité et turbidité.
- Ajouter la dose optimale du coagulants et agiter à 300 tr/min pendant 3 min;
- Ajouter des doses croissantes (1,2,3 et 4 mg/l) du flocculant (Fig.IV.13) et laisser sous agitation pendant (30-35) min à 40 tr/min ;
- Arrêter l'agitation et laisser le mélange reposer pendant 1h,
- prélever, à l'aide d'une micro pipette un volume du surnageant (eau claire) sur lequel différentes mesures seront effectuées.



Figure IV.13 : phase de floculation à gauche solution de la flocculant CaCO_3 à droite

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

3).Appareillage :

Tableau IV.1: Tableau d'appareillage

Appareillage	Utilisation pour	Photos
4 agitateurs (principe Jar test)	Déterminer la concentration optimale du coagulant pour le processus de coagulation- floculation. (Labo génie des procédés Univ Guelma)	
Conductimètre	Mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. Labo génie des procédés Univ Guelma)	
PH-mètre	Mesure la concentration en ion H ⁺ de l'eau. Labo génie des procédés Univ Guelma)	
Spectrophotomètre UV-vis	Pour mesurer directement l'absorbance (Labo génie des procédés Univ Guelma)	
Turbidimètre	La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. (Labo génie des procédés univ Guelma)	
Spectrophotomètre à flamme	Mesure l'absorbance, généralement en solution afin de déterminer la concentration de l'espèce (Labo génie des procédés univ Guelma)	

IV.3 Analyses physico-chimiques

En plus des mesures des paramètres habituels T, pH , conductivité , turbidité et absorbance réalisées au niveau des laboratoires pédagogiques du département génie des procédés de l'université de Guelma on a aussi réalisé des analyses chimiques afin de déterminer les concentrations massiques des nitrites, des phosphates, d'ammoniums et matière en suspension selon les protocoles expérimentaux suivies au niveau de la station d'épuration des eaux usées (STEP) Guelma pour une étude comparative entre le traitement des eaux usées par boue activée et le traitement par coagulation -floculation.

1) Mesure Température

La détermination de la température est faite au laboratoire à l'aide d'un thermomètre incorporé avant chaque manipulation. On lit directement la température exprimée en degré Celsius ($^{\circ}\text{C}$).



Figure IV.14:: Mesure de la température dans la phase coagulation -floculation

2) Mesure de pH

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



Figure IV.15 : Mesure du pH dans la phase coagulation-floculation

3) Mesure de conductivité

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

La conductivité est également fonction de la température de l'eau : elle est plus importante lorsque la température augmente.



Figure IV.16 : Mesure de conductivité dans la phase coagulation-floculation

4) Mesure de la turbidité

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. La turbidité traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organique, argile, organismes microscopique...). La turbidité est en fonction des particules en suspension. Elle se mesure à l'aide d'un turbidimètre (TabIV.1) de marque TURB 355 IR, elle permet de déterminer la qualité de l'eau, la clarté et la transparence de celle-ci.

*Mode opératoire

- Verser l'échantillon à analyser (10ml) dans une cuve transparente.
- Essuyer la cuve avec un tissu doux sans peluches pour retirer les gouttes d'eau et les traces de doigts.
- placer l'appareil sur une surface plane stable.ne pas tenir l'appareil a la main pour effectuer les mesures.
- Placer la cuve dans le puits de mesure de l'appareil
- La valeur de la turbidité en NTU se lie directement à l'écran

5) Mesure de l'absorbance

L'absorbance des différents prélèvements après coagulation et floculation se mesure sur le surnageant clair. Ces mesures se font en spectrométrie UV visible de marque HACH LANGE DR 6000 (Tab.IV.1) après la prise de ligne de base avec de l'eau déminéralisée ; les longueurs d'onde maximales (254nm et 270nm) sont obtenues directement par balayage automatique entre 190nm et 700nm .Des cuves en quartz de 1cm de trajet optique sont utilisées.

***Mode opératoire**

La mesure de l'absorbance sur spectrophotomètre se réalise selon les actions suivantes :

- Mettre en marche le spectrophotomètre
- Sélectionner le on mode absorbance (λ).
- Introduire la cuve de référence (blanc) dans la portée cuve, et mettre à zéro l'absorbance.
- Programmer la longueur d'onde désirée.
- Enlever la cuve de référence.
- Introduire une à une les cuve des échantillons a mesuré et lire l'absorbance.

6) Dosage du sodium (Na^+) et de potassium (K^+)***Principe**

La méthode consiste à chauffer les ions métalliques d'un échantillon dans le but de capter les émissions lumineuses provenant de leur excitation à l'aide d'un détecteur .ainsi, un système avec un gaz vecteur emporte l'échantillon nébulisé dans une flamme, où le processus d'excitation a lieu .comme dans plusieurs méthode analytiques, il doit y avoir un système d'étalonnage pour quantifier la présence d'un métal dans un échantillon

Le dosage est effectué à l'aide d'un spectrophotomètre à flamme de type LANGE JENWAY) (Tab.IV.1)

***Mode opératoire**

- Allumer l'appareil à l'aide du bouton vert (power) ;
- ouvrir le robinet de la bouteille du gaz ;
- Allumer la flamme à l'aide du bouton noir Ignition sans lâcher le doigt jusqu'à l'affichage "FLM" en rouge sur l'écran
- pipette d'eau distillée remplie dans une cuvette ;
- optimiser la flamme si elle est jaune à l'aide du bouton fuel jusqu'à ce que la couleur devienne bleue violacée ;
- optimiser à zéro à l'aide du bouton Blank ;
- laisser se stabiliser 5 à 10 min ;
- une fois quelle se stabilise à 0, activer la cuvette d'eau distillée et la remplacer par une autre cuvette remplie par une solution étalon de Na^+ ou de K^+ à 10 - 50 mg/l ;
- A la fin, passé aux échantillons de concentration inconnus en Na^+ ou de K^+ jusqu' à ce que la valeur affichée sur l'écran soit stable
- D'après les résultats d'absorbance obtenus pour les solutions de concentration connues la concentration des échantillons inconnus et obtenu à partir de la courbe d'étalonnage.



Chapitre V

Résultats et discussion

V.1 Introduction

Dans cette partie nous présenterons les résultats relatifs à l'analyse des eaux usées épurées par boue activée mesurés au niveau de la station d'épuration des eaux usées de Guelma et comparer ces résultats avec ceux obtenus par la méthode de traitement coagulation-floculation réalisée au niveau de laboratoire pédagogique de l'université de Guelma.

V.2 Analyses de l'eau au niveau de la STEP de Guelma

Les résultats des paramètres physico-chimiques des eaux usées brutes et traitées sont comparés aux normes recommandées par l'OMS et/ou JORA afin d'évaluer le rendement épuratoire du traitement par boues activées au niveau de la station d'épuration de Guelma

V.2.1 Analyses physiques

Les résultats des analyses physique effectués à l'entrée (eau brute) et à la sortie (eau épurée) de la station d'épuration des eaux usées des mois Janvier, Février et Mars de l'année 2022 sont répertoriés dans le tableau ci-dessous

Tableau V.1 : Valeurs mesurées par la station d'épuration des eaux de Guelma pour la température, pH, conductivité et matière en suspension.

Les mois	Echantillons	Température (°C)	pH	Conductivité (ms/cm)	MES
Janvier	Eau brute	11.5	7.86	1.20	130
	Eau épurée	11.8	7.93	1.18	20
Février	Eau brute	14.3	7.82	1.35	80
	Eau épurée	14.0	8.10	1.21	20
Mars	Eau brute	14.1	7.93	1.23	135
	Eau épurée	14.5	7.86	1.11	20
Normes l'OMS	Eau épurée	<30	6.5- 8.5	1- 2	≤20
Normes JORA	Eau épurée	30	6.5- 9	2,8 à 20	35

*JORA (Journal Officiel de la République Algérienne) *OMS (Organisation Mondiale de la Santé)

1)Variation de la température

La température des eaux usées constitue un des paramètres influençant sur leur composition (effet sur la solubilité des sels). Elle favorise aussi la formation d'une biomasse bactérienne importante

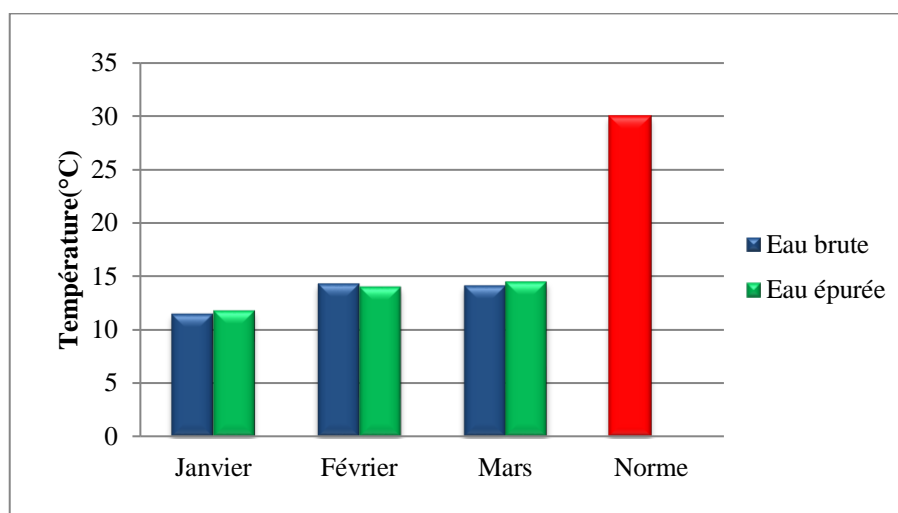


Figure V.1 : Histogramme des valeurs moyennes de la température de l'eau brute et épurée.

Les différentes valeurs de température à l'entrée et à la sortie de la STEP sont liées aux les variations de la température de l'air (climat), le mois de janvier de température entre 11,5 °C et 11,8 °C et les mois février et mars se situent dans un intervalle de 14°C.

La réglementation est très diversifiée à travers le monde, en OMS et JORA, les normes des rejets des eaux usées admises dans la nature sont de l'ordre de 30°C. Les valeurs de la température pour les eaux épurées sont inférieures aux normes..

2) Variation de potentiel hydrogène (pH)

La valeur du pH permet de déterminer la qualité de l'eau. C'est une valeur très importante pour savoir si votre eau n'est pas polluée . Un pH allant de 6 à 9 est un pH souhaitable pour le maintien de la vie des micro-organismes peuplant les bassins d'aération.

Un pH alcalin et une température modérée constituent des conditions de milieu idéales pour la prolifération des microorganismes qui établissent un parfait équilibre biologique, permettant la dégradation de la matière organique ce qui conduit à la décontamination de l'eau.

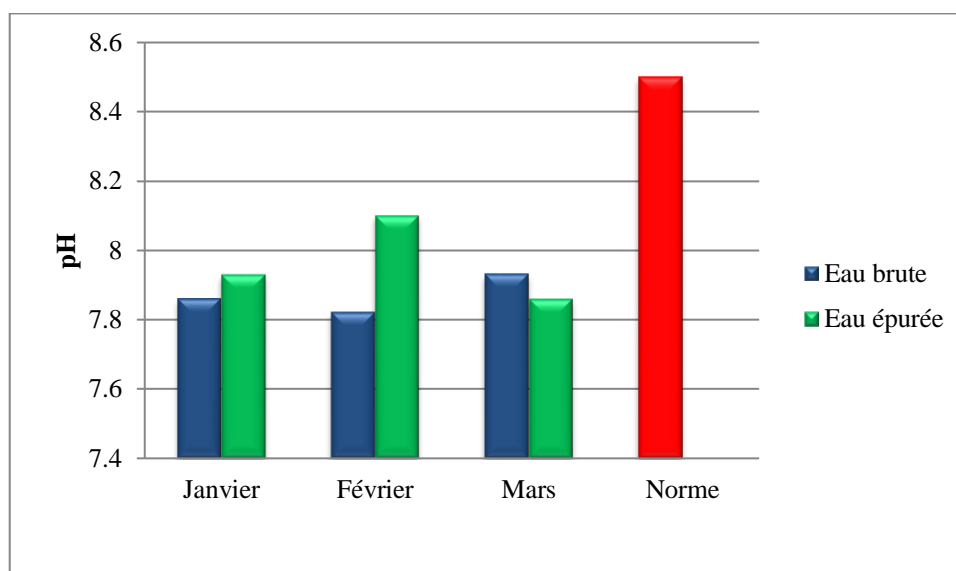


Figure V.2 : Histogramme des valeurs moyennes de pH de l'eau brute et épurée.

Les résultats obtenus montrent que les valeurs de pH varient entre 7,82 et 7,93 pour l'eau brute et 7,86 et 8,10 pour l'eau épurée. Ces résultats prouvent que l'eau durant les mois d'étude est de bonne qualité avec un pH conforme aux normes.

3)Variation de la conductivité

La conductivité est la mesure de la capacité d'une eau à conduire un courant électrique. La conductivité varie en fonction de la température. Elle est liée à la concentration et à la nature des substances dissoutes. En général, les sels minéraux sont de bons conducteurs par opposition à la matière organique qui conduit peu. Par conséquent, dans le cas des eaux usées fortement chargées en matière organique, la conductivité ne donnera pas forcément une idée immédiate de la charge du milieu.

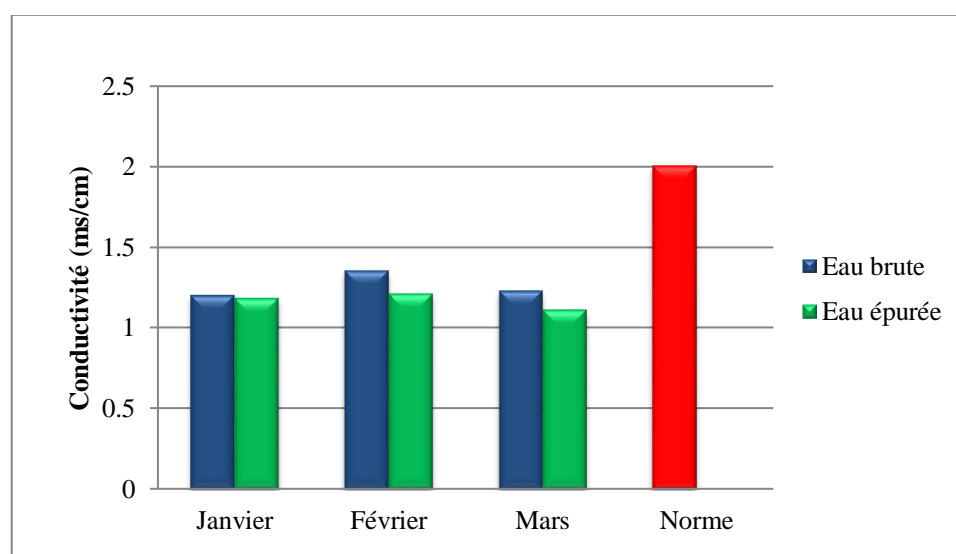


Figure V.3 : Histogramme des valeurs moyennes de la conductivité de l'eau brute et épurée.

Les valeurs de la conductivité électrique varient entre 1,20 et 1,35 ms/cm pour les eaux brutes et varient entre 1,11 et 1,21 ms/cm pour les eaux traitées par le boue activée.

D'après les valeurs moyennes de la conductivité présentées sur l'histogramme de la Figure V.3 la conductivité ne varie presque pas entre l'entrée et la sortie en fonction des mois cités dessus. Il semblerait que les minéraux ne sont pas affectés au cours des différentes étapes d'épuration que subit l'eau usée. La conductivité d'eau brute dépend fortement de la température. Lorsque la température augmente, la conductivité augmente

4)Variation de la matière en suspension (MES)

Les matières en suspension est l'ensemble des particules minérales et/ou organiques présentes dans une eau naturelle ou polluée.

Les MES représentent les matières qui ne sont ni à l'état soluble ni à l'état colloïdal, donc qui sont retenues par un filtre.

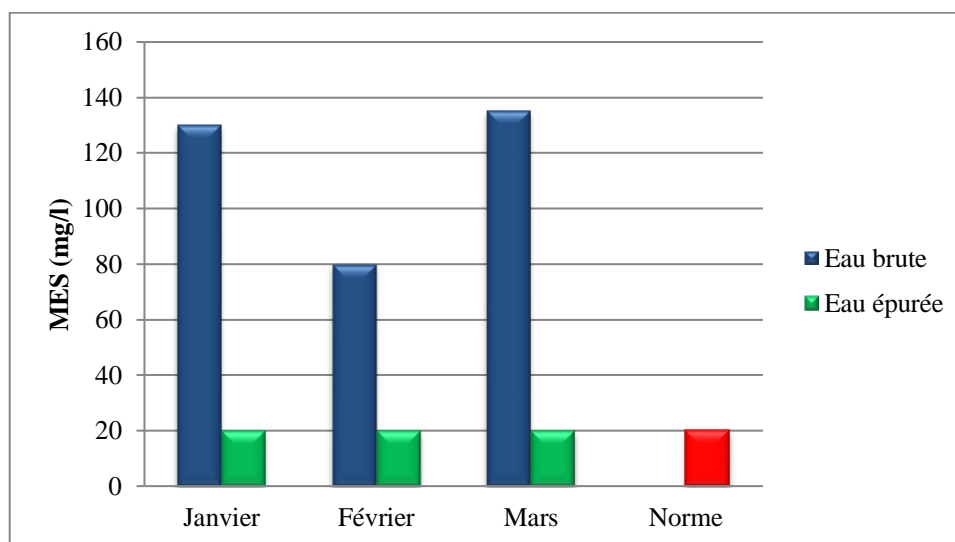


Figure V.4 : Histogramme des valeurs moyennes de MES de l'eau brute et épurée.

Les histogrammes de la figure V.4 montrent une réduction importante des MES entre les eaux brutes et traitées. Elles se situent entre 80 mg/l et 135 mg/l pour les eaux brutes. A la sortie ces concentrations montrent une baisse remarquable (20 mg/l) suite à l'élimination des matières en suspension principalement au niveau du bassin d'aération et à la décantation des matières décantables. Cette concentration reste cependant inférieure à la norme de rejet de l'OMS et à celle du JORA limitée respectivement entre 20 -35 mg/l.

V.2.2 Analyses chimiques

Les résultats des analyses chimiques effectués à l'entrée et à la sortie de la STEP des mois de Janvier à Mars de l'année 2022 sont présentés dans le tableau suivant:

Tableau V.2 : Analyses chimiques de l'eau.

mois	Echantillons	DCO (mg/l-O ₂)	NO ₃ ⁺ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	OPO ₄ ³⁻ mg/l
Janvier	E.B	300	4.4	1.3	15.3	1.1
	E.E	08	12	0.13	1.04	1.03
Février	E.B	184	4.9	0.35	14.5	1.30
	E.E	36.8	11.78	0.37	2.7	0.73
Mars	E.B	185	2.15	0.26	7.48	1.82
	E.E	29.8	12.52	0.45	0.86	1.15
Normes (STEP)	E.B	150-1000	1- 60	0.05- 2	2.5- 60	1.5-15
	E.E	15-150	0.23-13.5	0.015-0.6	0.02-2.5	0.5-5

E.B: Eau brute , E.E: Eau Epurée

1) Demande chimique en oxygène (DCO)

Elle s'exprime en milligramme par litre (mg/l) d'oxygène et correspond effectivement à la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder dans des conditions opératoires définies, les matières organiques présentes dans un échantillon donné

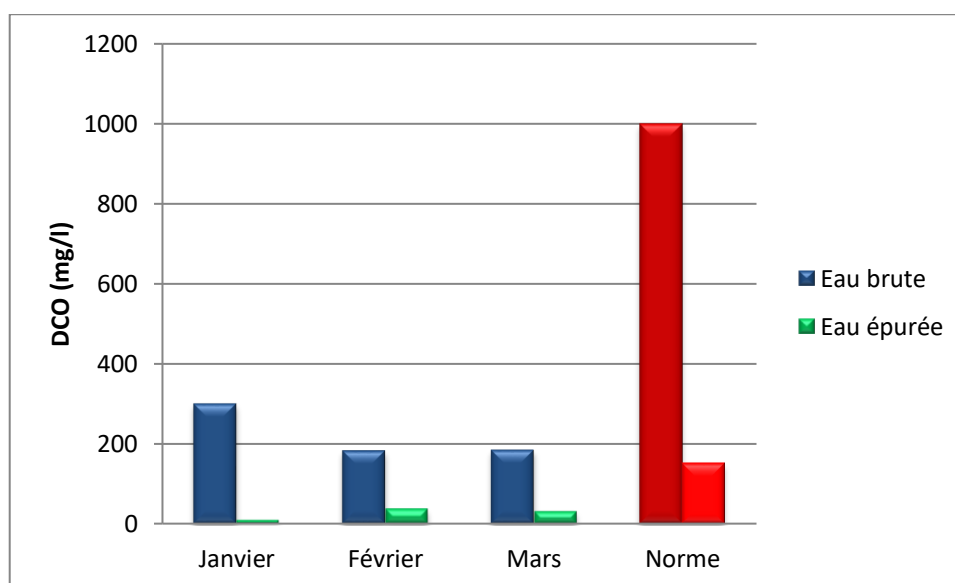


Figure V .5 : Histogramme des valeurs moyennes de DCO de l'eau brute et épurée.

D'après la figure V.5 l'évolution de ce paramètre (DCO) pour l'eau épurée marque une diminution importante pendant le prélèvement de Janvier ceci est peut être due à l'élimination de matières les plus grossières (minérales, organiques) lors des procédés de prétraitements (dégrillage, dessablage et dégraissage-déshuilage) et de la dégradation de la matière organique par les microorganismes (traitement biologique). La demande chimique en oxygène (DCO) de l'eau à l'entrée (E.B) et à la sortie (E.E) sont conformes aux normes mentionner sur les boites des réactifs d'analyse au niveau de laboratoire de la station d'épuration (Tab.V.2).

2) Nitrate (NO_3^-)

Les valeurs de NO_3^- pour les trois mois oscillent entre 2,15 - 4,9 mg/l à l'entrée et après épuration elles passent entre 11,78 - 12,52 mg/l, les teneurs augmentent d'une façon remarquable par apport à l'entrée.(TabV.2)..

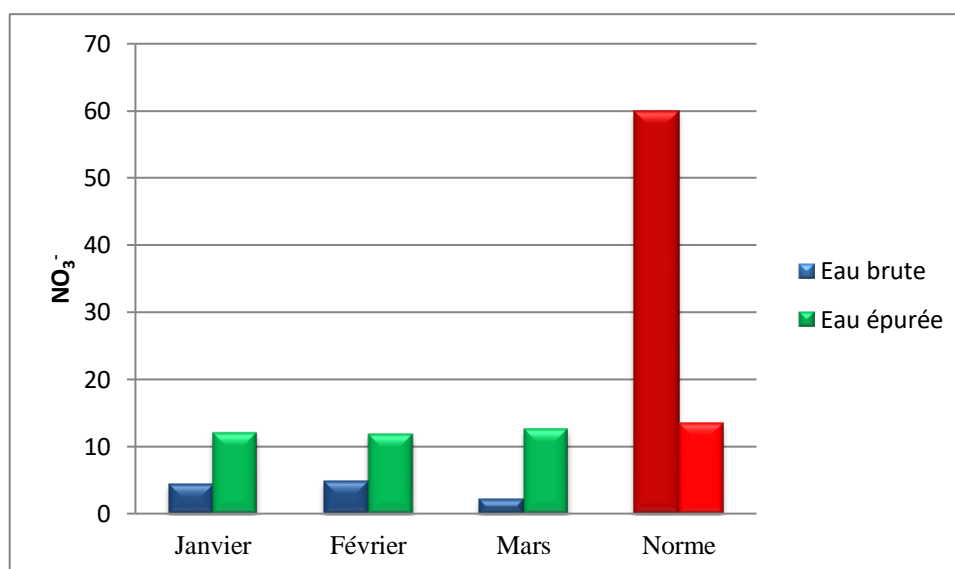


Figure V .6 : Histogramme des valeurs moyennes de NO_3^- de l'eau brute et épurée.

Les résultats sont présentés sur la figure V.6 ce qui montre que les valeurs de les concentrations de nitrate à la sortie et à l'entrée sont conformes aux normes mentionner sur les boite des réactifs d'analyse au niveau de laboratoire de la station (Tab.V.2)..

3) Nitrite (NO_2^-)

Les valeurs de NO_2^- pour les trois mois varient entre 0,26 - 1,3 mg/l à l'entrée (E.B) et à la sortie après épuration(E.E) elles passent entre 0,13 -0,45 mg/l, les teneurs diminues d'une façon remarquable par apport à l'entrée.(TabV.2).

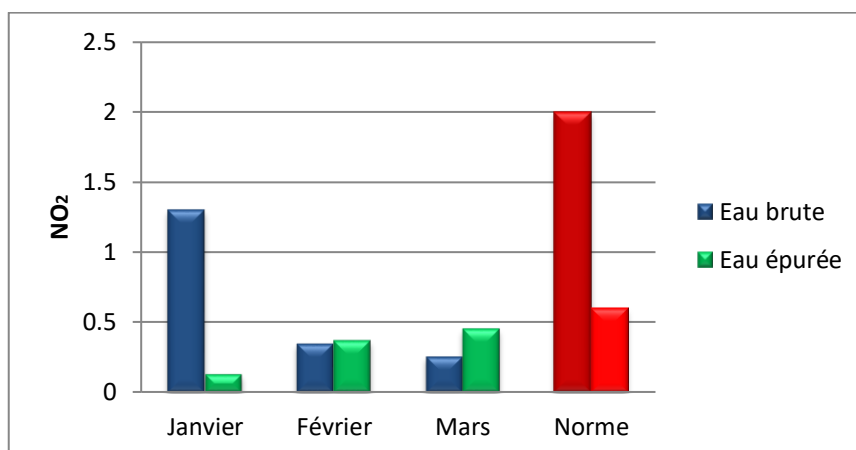


Figure V .7 : Histogramme des valeurs moyennes de NO₂⁻ de l'eau brute et épurée.

Les résultats présentés sur la (Figure V.7) montrent que les valeurs de la concentration de nitrite à l'entrée et à la sortie sont conformes aux normes sauf que la concentration de nitrite du mois de janvier est un peu élevée par rapport aux deux autres mois néanmoins reste toujours dans les normes

4) Ammonium (NH₄⁺)

Les valeurs d'ammonium oscillent entre 7,48 et 15,3 mg/l à l'entrée de la station, A la sortie entre 0,86 et 2,7. valeurs jugées conforme au normes.

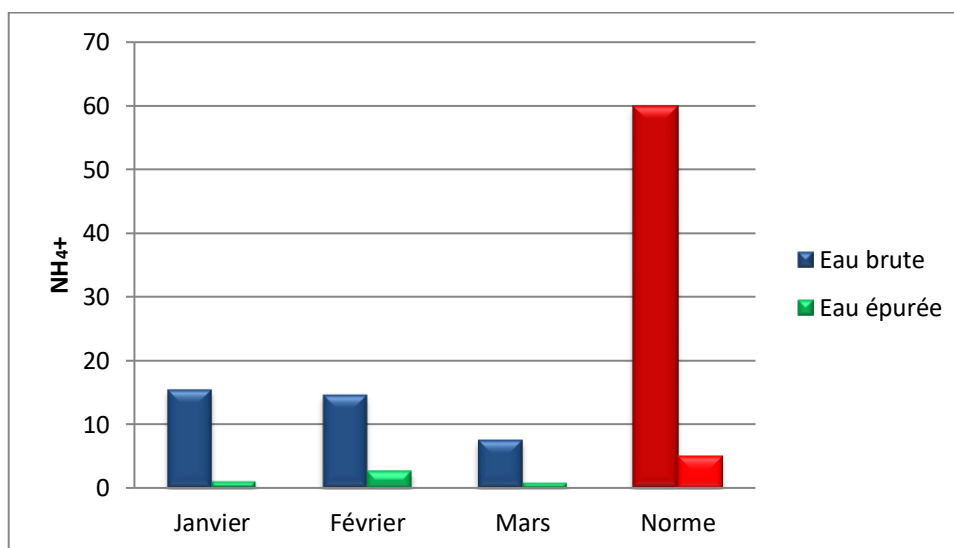


Figure V .8 : Histogramme des valeurs moyennes de NH₄⁺ de l'eau brute et épurée(STEP).

5) Orthophosphore (OPO_4^{3-})

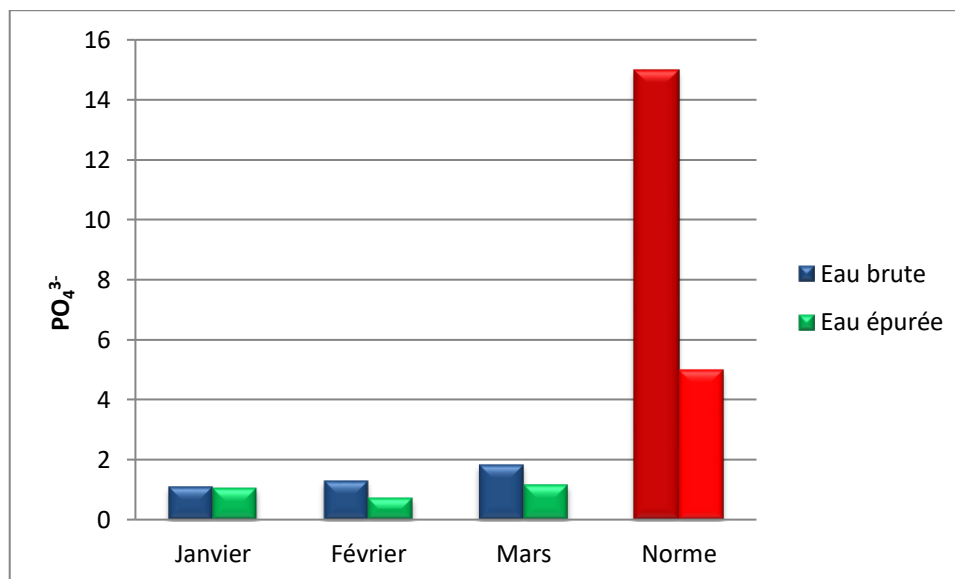


Figure V.9 : Histogramme des valeurs moyennes de (OPO_4^{3-}) de l'eau brute et épurée.

D'après les histogrammes de la figure V.9, la teneur de l'eau brute en Orthophosphore (OPO_4^{3-}) varie de 1,1 à 1,82 mg/l et de 0,73 à 1,15 mg/l pour l'eau épurée. Cette concentration diminue suite au cheminement d' OPO_4^{3-} dans le processus épuratoire. Ces valeurs sont conformes aux normes présentées dans le (Tab.V.2)..

V.3 Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau traitée par coagulation-floculation :

L'objectif de cette partie expérimentale est de mettre en évidence l'influence de la nature et les propriétés des particules et les conditions opératoires sur l'efficacité de la coagulation - floculation. Comme il a été signalé dans le chapitre précédent le coagulant et le floculant solides utilisés dans notre étude sont respectivement $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ et CaCO_3

Afin de suivre l'efficacité de cette méthode de traitement, on a effectué des mesures de la turbidité, matière en suspension, absorbance UV, pH et la conductivité avec quelques analyses chimiques en l'occurrence la concentration en mg/l des ions NO_2^- , NH_4^+ , Na^+ , K^+ et OPO_4^{3-}

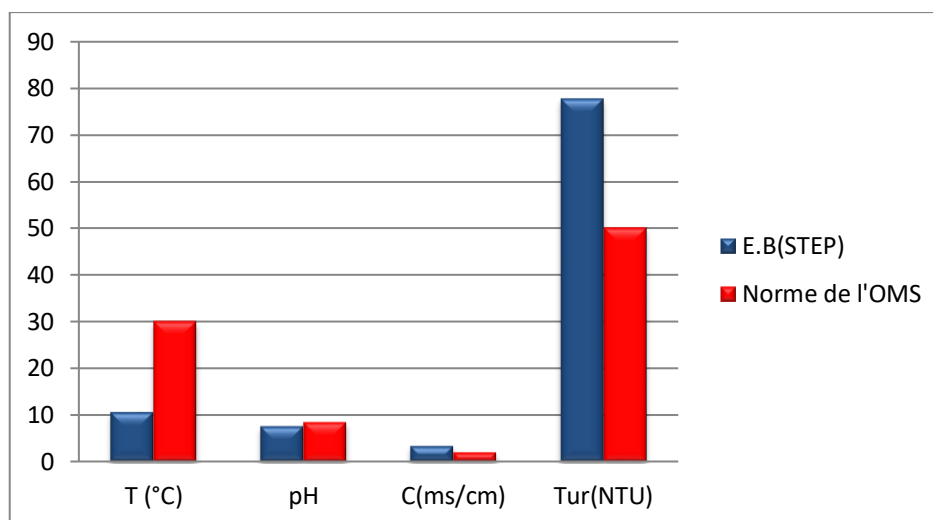
V.3.1 Phase coagulation

V.3.1.1 Caractéristiques de l'eau brute

Le tableau V.3. Ci-dessous regroupe les résultats d'analyse des échantillons prélevés à l'entrée de la station après avoir, comparativement avec les normes internationales exigées :

Tableau V.3 : Caractéristiques de l'eau brute

Paramètres	E.B(STEP)	Normes OMS
Température (°C)	10.65	<30
pH	7.595	6.5-8.5
Conductivité (ms/cm)	3.38	1- 2
Turbidité (NTU)	77.83	>50

**Figure V .10 :** Histogramme des valeurs moyennes de différent paramètre de l'eau brute.

Les résultats obtenus (Figure V.10) sont non conformes aux normes pour les deux paramètres de conductivité et turbidité est conformes pour la température et pH.

V .3.1.2 Effet de sulfate d'aluminium sur la variation des paramètres physiques

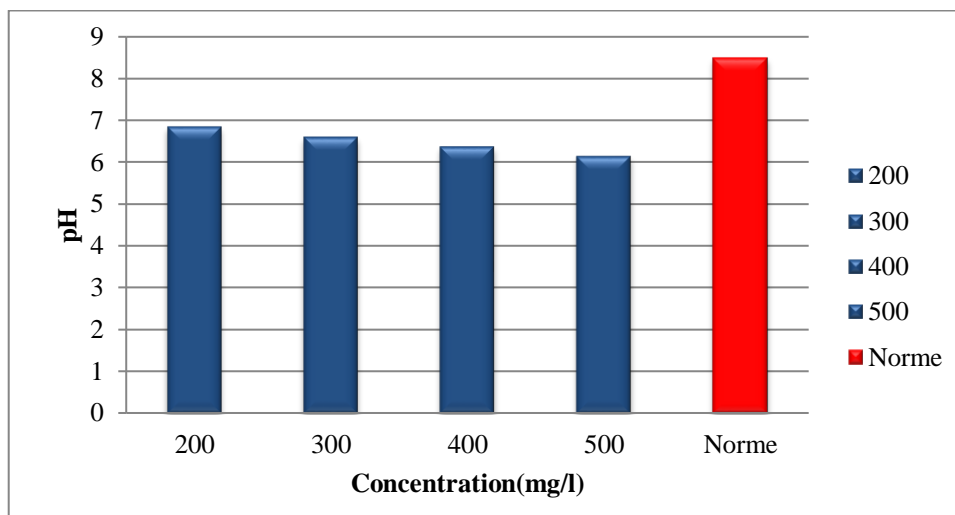
Pour déterminer la dose optimale du coagulant testé (sulfate d'aluminium), l'essai de coagulation est effectuée dans des béchers de 500 ml. Le coagulant est introduit à des doses croissantes $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ entre 200 et 500 mg/l à une température ambiante. Après 30-35 min de décantation, les paramètres pH, conductivité, turbidité et absorbance UV sont déterminés et présentés sur les tableaux qui suit:

1) Variation de potentiel hydrogène pH

L'évolution du pH est présentée dans le tableau V.4 :

Tableau V.4 : variation de potentiel hydrogène

C (mg/l)	200	300	400	500	Normes OMS
pH	6.85	6.60	6.37	6.15	6.5-8.5

**Figure V .11** : Histogramme des valeurs pH de l'eau traité après coagulation.

Les résultats de la (Figure V.11) montre que les valeurs du pH respectent la norme exigée , et de ce fait les résultats des eaux usées traitées par coagulation sont conformes pour toute les doses du coagulant $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$.

2) Variation de la conductivité

L'évolution de la conductivité à différente concentration de coagulant est présentée dans le tableau suivant :

Tableau V.5 : La variation de la conductivité.

C (mg/l)	200	300	400	500	Normes OMS
Conductivité (ms/cm)	3.36	3.35	3.36	3.37	1 à 2

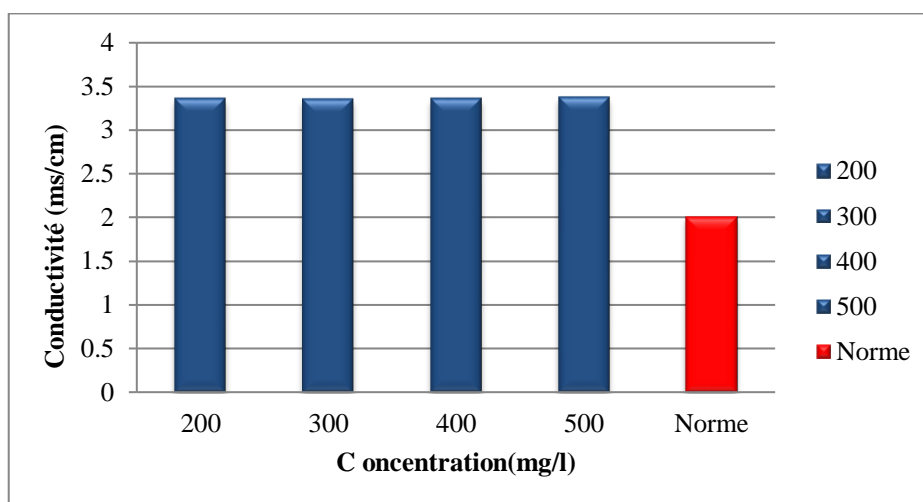


Figure V .12 : Histogramme des valeurs moyennes de conductivité en fonction de la concentration de coagulant.

D'après les histogrammes de la Figure V.12 les valeurs de la conductivité sont élevées par rapport à la norme ceci est peut être lié à la concentration et à la nature des substances dissoutes. En général, les sels minéraux sont de bons conducteurs par opposition à la matière organique qui conduit peu.

3)Variation de la turbidité

L'évolution de la turbidité à différente concentration de $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ est présentée dans le tableau suivant :

Tableau V.6 : La variation de la turbidité.

C (mg/l)	200	300	400	500	Normes OMS
Turbidité (NTU)	3.66	2.06	2.25	3.885	<5

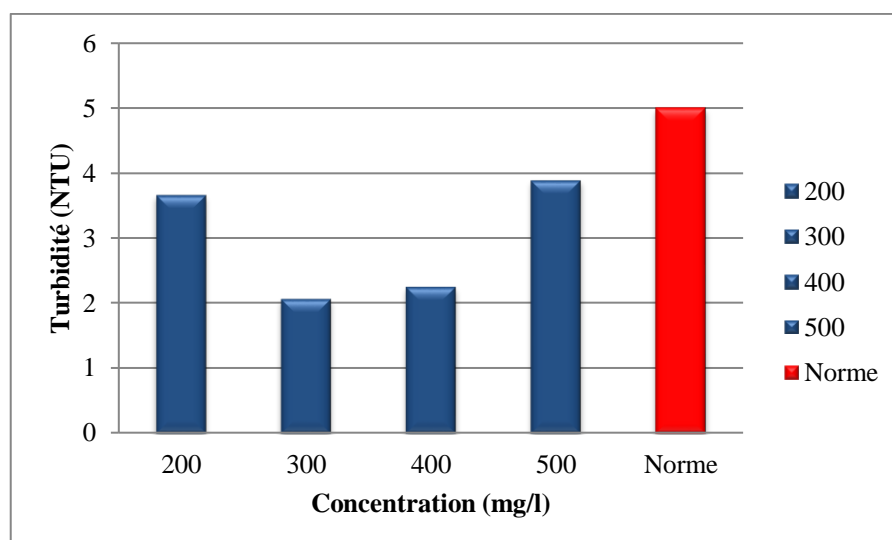


Figure V .13 : Histogramme des valeurs moyennes de la turbidité en fonction de la concentration de coagulante.

Les résultats de la turbidité (Fig.V.13) sont au-dessous de la norme de rejet des eaux usées domestiques et de ce fait l'eau traitée par coagulant pour les différentes concentrations présente des valeurs de turbidité inférieure à 5 NTU conformes aux normes .

On peut aussi remarquer que l'addition de 300 mg/l du coagulant à donner la plus faible valeur de la turbidité 2,06 NTU

4) Variation de l'absorbance-UV

La variation de l'absorbance UV pour deux longueur d'ondes 250-270nm de l'eau brute et l'eau traitée par différentes concentrations de coagulant est présentée dans le tableau suivant :

Tableau V.7 : La variation d'absorbance-UV pour deux longueurs d'ondes (254-270 nm) en fonction de la concentration du coagulant.

C (mg/l)	200	300	400	500	E.B (STEP)
Abs-UV 254nm	0.150	0.124	0.126	0.125	0.152
Abs-UV 270 nm	0.14	0.107	0.109	0.108	0.126

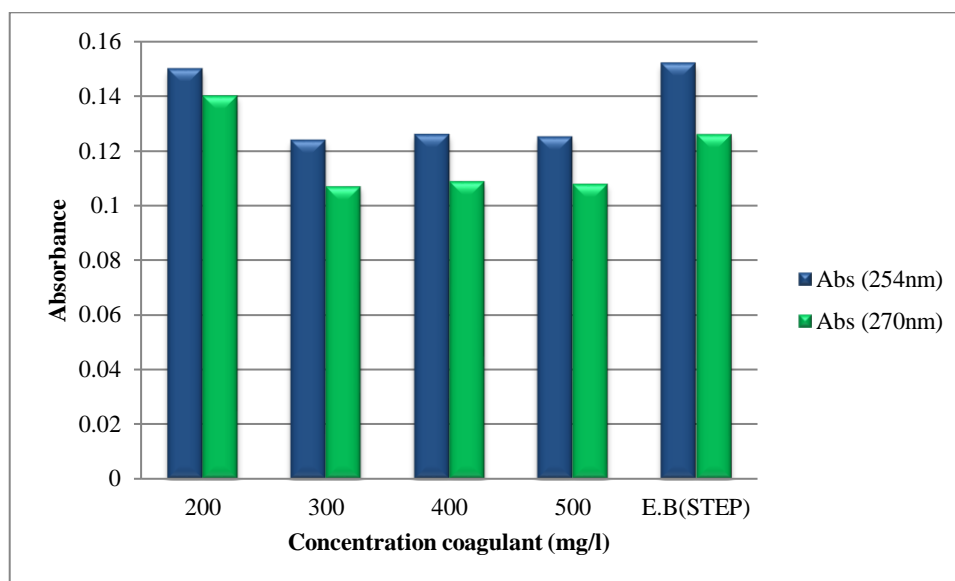


Figure V .14 : Histogramme des valeurs moyennes de l'absorbance UV en fonction de la concentration de coagulante.

D'après les histogrammes de la figure IV.14 la variation de l'absorbance UV à deux longueurs d'onde (254nm-270nm) présente une élévation remarquable de l'absorbance pour l'eau brute et avec la dose de 200mg/l du coagulant. L'absorbance atteint la valeur minimal pour la dose 300mg pour les deux longueurs d'ondes mais une augmentation de la dose du coagulant au-delà de 300 entraîne une élévation des valeurs de l'absorbance UV₂₅₄₋₂₇₀

D'après les résultats obtenus pour l'étude de l'effet de sulfate d'aluminium sur la variation des paramètres physiques évoquer précédemment pour estimer la dose optimale du coagulant testé, le meilleur résultat est obtenu par l'application du sulfate d'aluminium à une dose de 300mg/l

Le choix de la dose optimale du coagulant est jugé en fonction surtout de la turbidité et l'absorbance

V .3.3 Phase floculation

Après l'estimation de la dose optimale du coagulant sulfate d'aluminium (300mg/l) il a été jugée nécessaire d'étudier l'influence de l'ajout des adjuvants de floculation sur le processus de coagulation-floculation, nous avons choisi pour notre étude le carbonate de calcium (CaCO_3) comme floculant minérale.

V .3.3.1 Effet du floculant sur la variation des paramètres physiques

En fixant la dose optimale du coagulant $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ à 300 mg/L et en faisant varier les doses du floculant de 1 à 4 mg/L. les résultats sont portés sur les figures qui suit ce qui met en évidence l'influence de la dose de floculant CaCO_3 sur les paramètres physiques pH, turbidité, conductivité et absorbance $\text{UV}_{254-270\text{nm}}$.

1)Variation de potentiel hydrogène pH :

L'évolution du pH à différente concentration de (CaCO_3) est présentée dans le tableau suivant :

Tableau V.8 : La variation de potentiel hydrogène en fonction de la concentration du floculant.

C (mg/l)	1	2	3	4	Normes OMS
pH	6.56	6.61	6.58	6.58	6.5-8.5

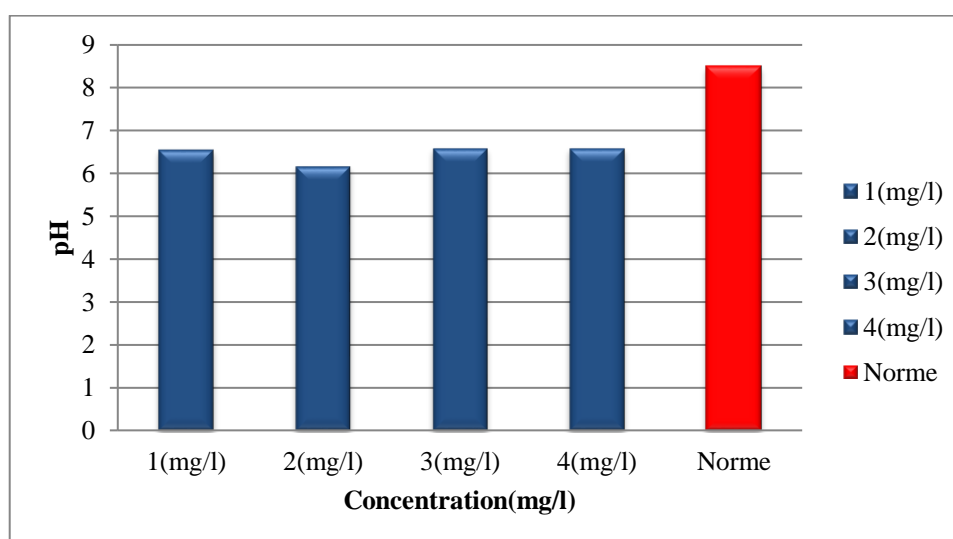


Figure V .15 : Histogramme des valeurs moyennes de pH en fonction de la concentration de floculant.

Le pH est donc l'un des paramètres les plus importants de la qualité de l'eau. Il doit être étroitement surveillé au cours de toutes opérations de traitement il donne une indication sur l'alcalinité ou l'acidité de ces eaux. Il est important pour la croissance des micro-organismes qui ont généralement un pH optimal variant de 6,5 à 8,5.

Les résultats présentés sur la (Figure V .15) montrent que les valeurs du pH pour les différentes doses du flocculant sont dans les normes.

2)Variation de la conductivité

L'évolution de la conductivité à différente concentration de flocculant (CaCO_3) est présentée dans le tableau suivant :

Tableau V.9 : La variation de la conductivité

C (mg/l)	1	2	3	4	Normes OMS
Conductivité (ms/cm)	3.33	3.31	3.14	3.15	1 -2

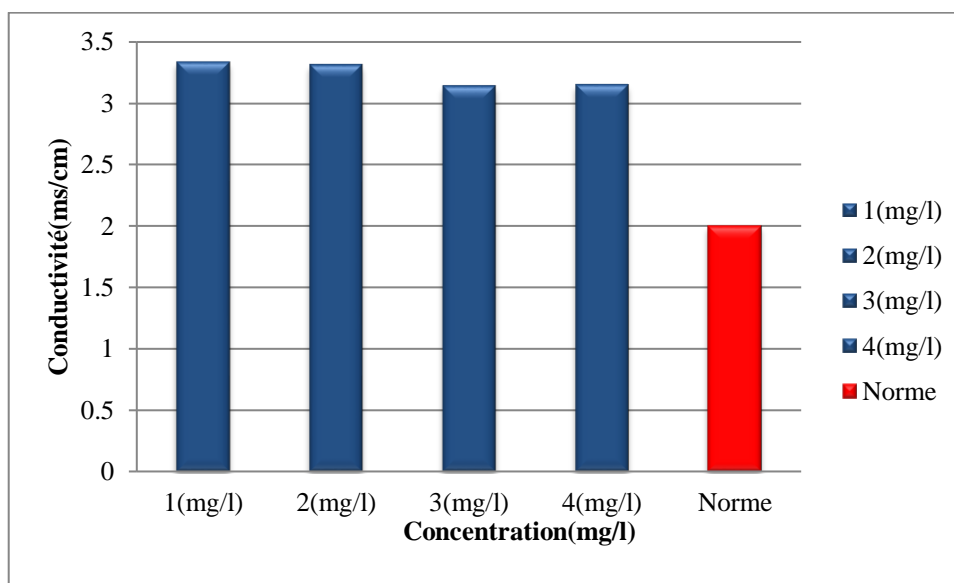


Figure V .16 : Histogramme des valeurs moyennes de la conductivité en fonction de la concentration de flocculant.

Les résultats de la (Figure V .16) montrent que les valeurs de la conductivité des eaux traitées pour toutes les concentrations varient entre 3,14 et 3,33 (ms/cm), conductivité dépasse la norme. Ceci est probablement due à la concentration et à la nature des substances dissoutes. En général, les sels minéraux sont de bons conducteurs par opposition à la matière organique qui conduit moins.

3)Variation de la turbidité

L'évolution de la turbidité à différente concentration de flocculant (CaCO_3) après 1h de décantation est présentée dans le tableau suivant :

Tableau V.10 : La variation de la turbidité

C (mg/l)	1	2	3	4	Normes OMS
Turbidité (NTU)	1.65	1.44	1.145	2.075	<5

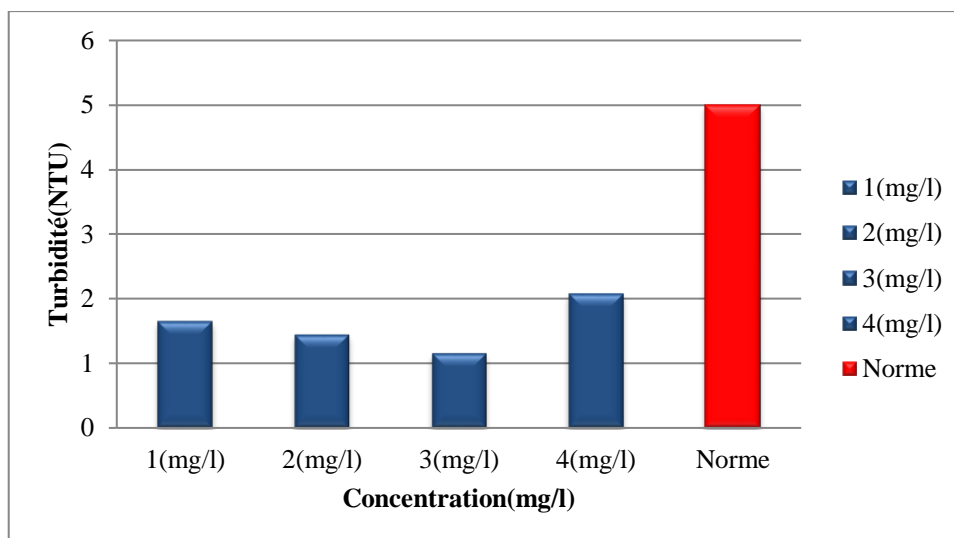


Figure V .17 : Histogramme des valeurs moyennes de la turbidité en fonction de la concentration de flocculant.

Les valeurs obtenues varient entre 1.145 NTU et 2.075 NTU sont bien au- dessous de la norme 5NTU. On peut remarquer que l'addition de 3 mg/l du flocculant à donner la plus faible valeur de la turbidité 1,145 NTU.

4) Variation de l'absorbance UV

La variation de l'absorbance UV pour deux longueur d'ondes 250-270 nm de l'eau brute et l'eau traitée au niveau de la STEP et l'eau traitée par addition du flocculant CaCO_3 à des doses entre 1et 4mg/l et une seule dose 300mg/l de coagulant $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ est présentée dans le tableau suivant :

Tableau V.11: La variation d'absorbance-UV_{254-270nm} en fonction de la concentration du flocculant.

C (mg/l) flocculant	1	2	3	4	E.B (STEP)	E.E (STEP)
Abs-UV 254 nm	0.050	0.041	0.044	0.048	0.152	0.095
Abs -UV 270 nm	0.045	0.041	0.042	0.046	0.126	0.081

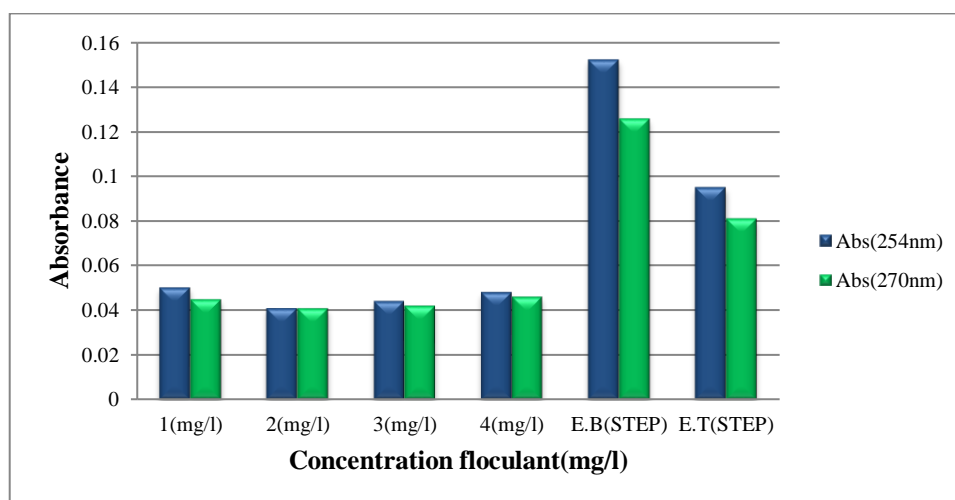


Figure V .18 : Histogramme des valeurs moyennes de l'absorbance.

D'après la figure IV.18 la variation de l'absorbance UV à deux longueurs d'onde (254nm-270nm) présente une élévation remarquable de l'absorbance pour l'eau brute et l'eau traitée par boue activée au niveau de la STEP alors que l'absorbance est faible pour l'eau traitée par coagulation-floculation avec la dose de 300mg/l du coagulant et différentes concentrations du flocculant (1- 4mg/l).

D'après les résultats obtenus pour l'étude de l'effet de flocculant CaCO_3 sur la variation des paramètres physiques évoquer précédemment pour estimer la dose optimale du flocculant testé, le meilleur résultat est obtenu par l'application du CaCO_3 à une concentration de 3mg/l.

Le choix de la concentration optimale du coagulant et flocculant est jugé en fonction surtout de la turbidité et l'absorbance.

Après l'optimisation de la dose du flocculant on a fait une comparaison de quelques paramètres physico-chimiques entre l'eau brute (E.B) est épurée (E.E) par boue activée au niveau de la STEP Guelma et l'eau traitée par coagulant (E.C) et traitée par coagulant plus flocculant (E.F) au niveau de laboratoire pédagogique de l'université de Guelma.

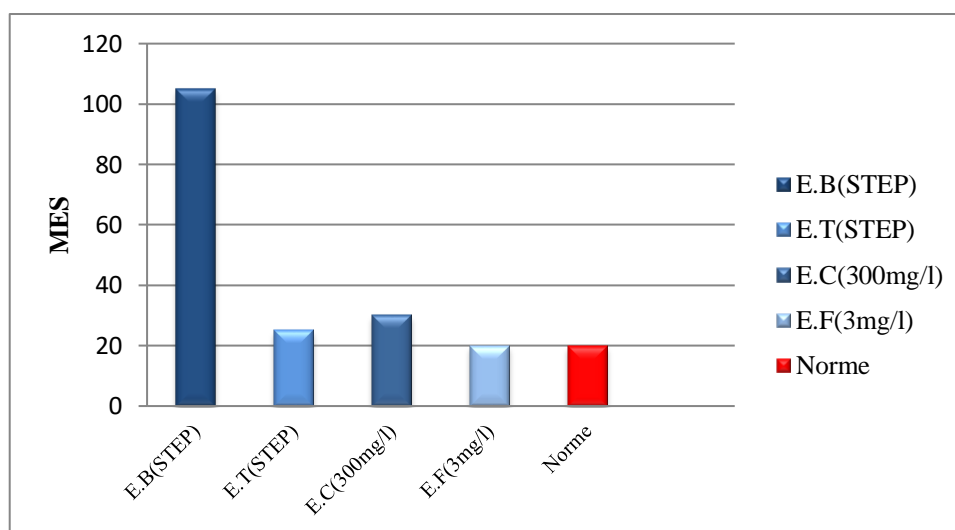
V.4 Comparaison des paramètres physico-chimiques

1) variation de la matière en suspension (MES)

L'évolution de la matière en suspension (MES) de l'eau brute et l'eau épurée par boue activée (procédé de la (STEP))et l'eau traité par le procédé de coagulation- floculation après décantation est présentée dans le tableau suivant :

Tableau V.12 : La variation de la matière en suspension (MES)

Echantillons	MES
E.B(STEP)	105
E.E (STEP)	25
E.C(300mg/l $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$)	30
E.F (3mg/l CaCO_3)	20
Normes de l'OMS	≤ 20

**Figure V .19** : Histogramme des valeurs moyennes de MES de l'eau brute et épurée par la STEP et l'eau traitée par coagulation- floculation.

Les résultats des MES (Fig.V.19) sont non conformes aux normes pour les trois prélèvements de l'eau brute et l'eau traitée par boue activée (procédé de la STEP) et de l'eau avec coagulant seul mais les valeurs de MES pour l'eau traitée par coagulation plus floculation sont conformes aux normes

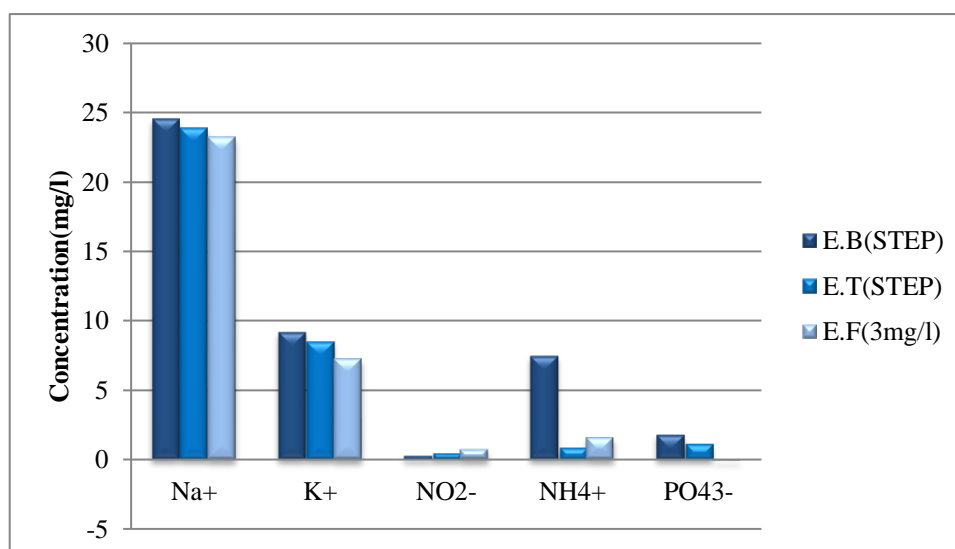
2) Résultats des analyses physico-chimiques

les résultats de turbidité, conductivité, absorbance $\text{UV}_{254-270}$ et les concentrations des éléments chimiques présent dans l'eau brute et l'eau traité par boue activée (STEP) et l'eau traitée par coagulant plus floculant sont illustrés dans le tableau V.13:

Tableau V.13: Résultats des analyses physico-chimiques des eaux (E.B, E.T, E.F)

Échantillons	E.B (STEP)	E.T (STEP)	E.F (CaCO ₃ 3mg/l)
Na ⁺	24.569	23.907	23.245
K ⁺	9.207	8.564	7.277
NO ₂ ⁻	0.263	0.446	0.728
NH ₄ ⁺	7.48	0.86	1.64
PO ₄ ³⁻	1.82	1.15	-0.069
Turbidité	64.72	14.985	1.145
Abs (254nm)	0.152	0.095	0.044
Abs (270nm)	0.126	0.081	0.042

3)Variation de la concentration

**Figure V .20 :** Histogramme des valeurs moyennes de la concentration des éléments chimiques.

Les histogrammes de la figure V.20 montre le traitement de l'eau par boue activée (E.T) présente une diminution significative des éléments chimiques comparer à l'eau brute . Alors que l'eau traitée par coagulation-floculation montre une diminution très remarquable surtout pour le phosphore ceci est peut être due à la précipitation de ce dernier par le traitement chimique par l'utilisant des réactifs par exemple les sels d'aluminium, et de fer ,la chaux. et les bicarbonate (*Djehaichia, 2020*).

4)Variation de la turbidité

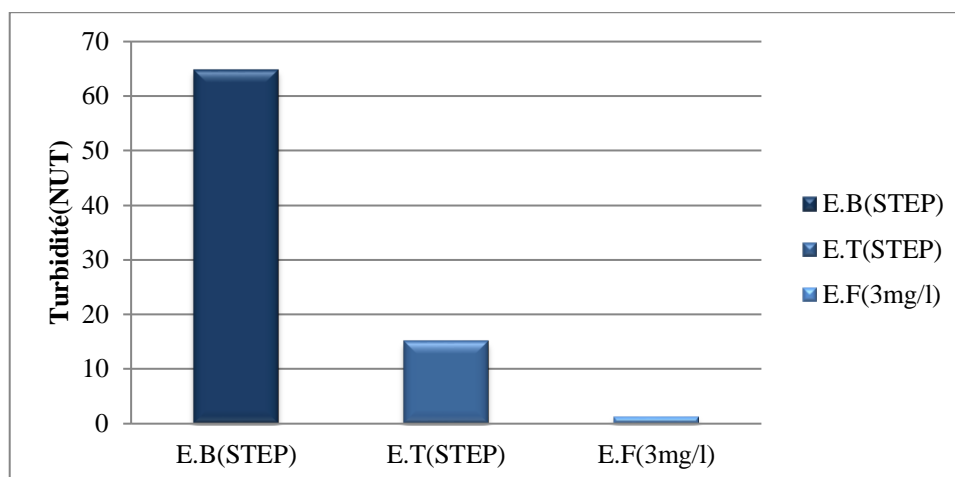


Figure V .21 : Histogramme des valeurs moyennes de la turbidité de l'eau brute et épurée par la STEP et l'eau traitée par coagulation- floculation.

Les résultats présentés dans la (Figure V.21) montrent que l'eau traitée par coagulation - floculation est très clarifiée avec une turbidité très faible ($1,145 \text{ NTU} < 5$ une eau claire) alors que l'eau traitée par boue activée présente une turbidité $14,985 \text{ NTU}$ une valeur loin d'être claire (turbidité >5 et <30 une eau légèrement claire) (Cherif,2012)

5)Variation de l'absorbance

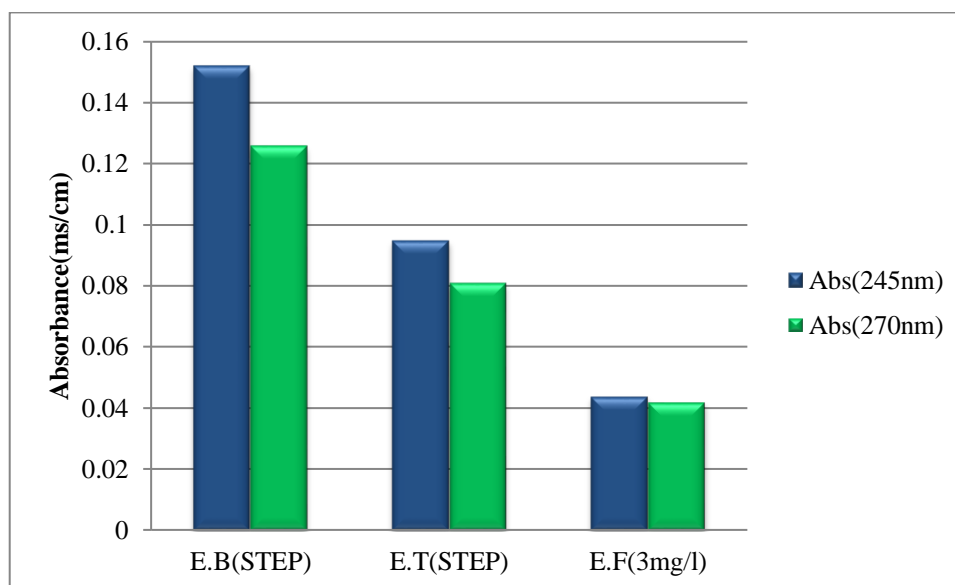


Figure V .22 : Histogramme des valeurs moyennes de l'absorbance de l'eau brute et épurée par la STEP et l'eau traitée par coagulation- floculation

Les résultats obtenus pour l'absorbance UV pour deux longueurs d'ondes 254-270nm (Figure V.22) présentent une diminution remarquable de l'absorbance de l'eau traitée par coagulation -floculation.

V.5 Conclusion

Notre travail entre dans le cadre d'une étude comparative entre deux méthodes de traitement des eaux usées les plus utilisées l'une par la boue activée et l'autre par coagulation-floculation afin de contribuer à améliorer la qualité des eaux usées traitées pour pouvoir élargir le domaine de leur utilisation.



Conclusion

Générale



Conclusion générale

Notre travail entre dans le cadre d'une étude comparative de deux méthodes de traitement les plus utilisées pour l'épuration des eaux usées l'une par la boue activée et l'autre par la coagulation-floculation afin de participer à améliorer la qualité des eaux usées traitées pour pouvoir élargir le domaine de leur utilisation et dans une perspective de réutilisation agricole et/ou de la protection des milieux naturels récepteurs.

Par conséquent notre étude a été divisé en deux parties essentielles. La première concerne le traitement des eaux usées par la boue activée au niveau de la STEP-Guelma. La deuxième porte sur le traitement par coagulation -floculation au niveau du laboratoire génie procédé université Guelma

Le premier objectif du procédé de boue activée a été basé sur l'efficacité de traitement des eaux usées dans la station d'épuration du Guelma à partir de l'étude de la qualité physicochimique des eaux avant et après épuration.

Les résultats obtenus permettent de confirmer qu'après trois mois d'expérimentation (Janvier, Février, Mars) 2022, concernant les analyses physico-chimiques de quelques paramètres (pH, température, conductivité électrique, DCO et matières en suspension (MES), nitrate NO_3^- , nitrite NO_2^- , ammonium NH_4 et l'orthophosphate OPO_4^{3-}), ainsi qu'un dosage de (Na^+ , K^+) par spectromètre à flamme, nous ont permis de conclure que l'eau entrée à la station d'épuration (STEP) de Guelma est chargée essentiellement par des polluants de nature domestique (matières organiques et minérales), dépassent les normes de rejet de l'OMS, et elle sorte débarrassée du maximum de sa charge, ceci est traduit par des résultats conformes aux normes de l'OMS, ce qui explique que le traitement effectué par boue activée procédé de la STEP est suffisant pour permettre d'abaisser les concentrations en polluants et d'atténuer donc le risque sanitaire à un niveau très acceptable. Cependant, il est nécessaire, pour évaluer davantage sa qualité de compléter les analyses physico-chimiques faites par le laboratoire de la station par des analyses microbiologiques.

Le deuxième objectif de ce travail était le traitement des eaux usées à l'entrée de (STEP) Guelma par la méthode de coagulation-floculation en utilisant comme coagulant le sulfate d'aluminium ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) et comme floculant le carbonate de calcium (CaCO_3) pour emprisonner les matières colloïdales et par la suite analyser et déterminer la variation des différents paramètres en outre : les matières en suspension (MES), la température T, le pH, la conductivité, la turbidité, l'absorbance-UV pour deux longueurs d'ondes (254-270 nm), la variation de la concentration des nitrites (NO_2^-), l'ammonium (NH_4^+), l'Orthophosphate (OPO_4^{3-}) dans l'eau brute et l'eau épurée par procédé de (STEP) et l'eau traitée par coagulation-floculation. Les analyses physiques de l'eau traitée par coagulant (300mg/l) plus 3mg/l de floculant montrent que :

- ❖ la valeur de pH à la concentration 3mg/l de flocculant est 6.58 conforme à la norme de l'OMS (6.5-8.5)
- ❖ la conductivité, présente des valeurs qui dépassent la norme d'OMS (1-2). Ceci est peut être due à l'addition des sels (sulfate d'aluminium et le bicarbonate) qui favorise la conductivité
- ❖ la valeur obtenue pour la turbidité est 1.145 NTU conforme au norme (< 5 NTU) caractéristique d'une eau claire
- ❖ Pour l'évolution des matières en suspension (MES) égale à 20mg/l conforme à la norme(MES ≤20NTU) l'eau traitée est alors de bonne qualité
- ❖ Pour l'absorbance-UV, la valeur obtenue pour l'eau traitée par coagulant plus 3mg/l de flocculant est de 0.044 à 254nm et 0.042 pour la longueur d'onde 270nm, il y à une diminution remarquable par rapport aux absorbances de l'eau brute (E.B) (0,152-0,125)et eau traité par boue activée E.E (0,095-0,081)

les analyse chimiques de l'eau traitée par coagulant (300mg/l) plus 3mg/l de flocculant montrent que :

- ❖ Pour les nitrites, la concentration des ions NO_2^- dans l'eau E.F est supérieure à la concentration dans l'eau E.E traité par le procédé de (STEP)
- ❖ Pour ammonium, l'étude a révélée que la concentration de NH_4^+ de l'eau E.E diminue par rapport à l'eau E.B cette diminution est due à l'oxydation de l'azote ammoniacal (NH_4^+) en azote nitreux ou nitrite (NO_2^-) par l'intermédiaire de bactéries nitrifiantes.
- ❖ La concentration des PO_4^{3-} dans l'eau E.F est seulement des traces ceci est due peut être à leur élimination par précipitation avec les ions des sels .
- ❖ La concentration de Na^+ et K^+ diminue de manière décroissante dans l'eau E.B, E.E et E.F

Il en sort que la coagulant- flocculant choisis comme méthode de traitement des eaux usées joue un rôle très crucial dans l'élimination des polluants



Références

Bibliographiques

Références bibliographiques

- ✚ **Abibsi N. (2011)** : Réutilisation des eaux usées épurées par filtres plantes (Phytoepuration) pour l'irrigation des espaces verts application a un quartier de la ville de Biskra .Mémoire de Magister .Université Mohamed Khider –Biskra.
- ✚ **Achour S, Guesbaya N. (2005)** : Coagulation – Flocculation par le sulfate d'aluminium de composes organique phénoliques et de substances humiques, Larhyss Journal ISSN.1112-3680.n°04.PP.153-168.
- ✚ **Ahmed A.Y, BenhaddouM. (2010)** : Étude expérimentale de la coagulation – Flocculation par le sulfate d'alumine des matières en suspensions. Mémoire d'ingénieur d'état en hydrogéologie. Université Abou BakrBalkaid .Tlemcen
- ✚ **Ahmed Brahim D, Taleb I. (2014)** :L'étude du fonctionnement de la STEP de Sidi bel Abbas par le principe a boue activées, Hydraulique, Master, Tlemcen. Université Abou BekrBelkaid .P 05.
- ✚ **Al ArniS,AmousJ,Ghernaout D.(2019)**:On the perspective of applying of a new method for wastewater treatment technology ;Modification of the third traditional stage with twounits ,One by cultivating microalgae and another by solar vaporization ,International journal of environmental sciences and natural resources .(2).PP 1-4.
- ✚ **AlleM,HamelW,BenKirat A.(2013)**:Suivi de l'efficacité des procédés de la station d'épuration de la ville de Guelma (Nord-Est Algérien).Mémoire de Master .Université 08 Mai 45.Guelma .P48-54.
- ✚ **Arbi S, AyedKralfa S. (2014)** : Étude et suivi des effluents liquides dans l'unité de traitement du complexe GP1/Z.
- ✚ **Azzedine A.K. (2016)** :Suivi du rendement épuration de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Guelma .Mémoire de Master .Université 08 Mai 1945 Guelma.
- ✚ **Bachi M, Abdelli R. (2005)** : Influence des paramètres physiques et chimiques sur la coagulation –Flocculation et décantation .Mémoire pour l'obtention du diplôme DEUA en hydraulique. Université Abou BakrBalkaid .Tlemcen.
- ✚ **Bakiri Z.(2007)** : Traitement des eaux usées par des procédés biologiques classique ; Expérimentation et modélisation .Mémoire pour l'obtention Magister en Génie chimique .Université Ferhat Abbas-STIF.
- ✚ **Baumont S, Camard J-P, Lefranc A, Franconie A. (2004)** : Réutilisation des eaux usées, Risque sanitaires et faisabilité en Ile –De –France .Rapport ORS ,220 p.
- ✚ **Bekkouche M, Zidane F. (2004)** : Conception d'une station d'épuration des eaux usées de la ville D'Ouargla par lagunage .Mémoire. Ing.Hydraulique saharienne .Université d'Ouargla .P67.
- ✚ **Belahmadi M.S.O. (2011)** : Étude de la biodégradation du 2.4 dichlorophénol par le macrobiote des effluents d'entrée et de sortie la station d'épuration des eaux usées dibnZaid.Mémoire de Magistaire.UniversitéMentouri-Costantine.
- ✚ **Belhadj KH. (2019)** : Le traitement physico-Chimique par coagulation – Flocculation de rejets des eaux usées de la ville de Biskra .Mémoire pour l'obtention du diplôme Master en hydraulique .Université Mohamed Khider-Biskra.
- ✚ **Beskri. (2010)** :Étude microbiologique et physicochimique de l'eau rejeté par la STEP de la ville de Guelma .Mémoire de Master .Université 08 Mai 1945 Guelma .P 13.
- ✚ **Boualla N. (2011)** :Contamination des eaux souterraines du bassin de la sebkha d'Oran par les nitrates .Sciences Leb.Édition Mersenne ; volume 3, n°110507 ISSN 2111-4706.

- ✚ **Bouhadi R, Arioua S, Kaiche B. (2021)** : Traitement des eaux usées par le procédé coagulation –Floculation en utilisant des coagulant a base des sels d'aluminium ($Al_2(SO_4)_3-AlCl_3$).Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master académique en chimie de l'environnement .Université Mohamedboudiaf-M'sila.
- ✚ **Boumati R, Sadok F. (2017)** : Prétraitement des eaux de mer par coagulation – Floculation .Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en chimie de l'environnement .Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou.
- ✚ **Boumediene A. (2013)** : Bilan de suivi des performances de fonctionnement d'une station d'épuration a boues activées, Cas de la STEP Ain El Houtz.Mémoire de licence en hydraulique, Université Abou-BakrBelkaid de Tlemcen.
- ✚ **Bounouache, Meziti Kh, Sahli R. (2017)** : Analyses physico-Chimique des eaux usées au niveau de la station d'épuration de la wilaya de Bordj Bou Arreridj. Université Mohamed El Bachir El Ibrahim B.B .A.
- ✚ **Boursali I, (2010)** : Étude expérimentale de la coagulation –Floculation par le sulfate ferrique et le chlorure ferrique des matières en suspension .Mémoire d'ingénieur d'état en Géologie .Université De Tlemcen.
- ✚ **Brahimi Z, Benaissa N. (2010)** :Influence de la coagulation-Floculation et décantation sur la qualité des eaux épurée de la station d'Ain El HOUTZ.Mémoire d'ingénieur d'être en hydraulique .Département hydraulique, Faculté des sciences de l'ingénieur.Université Abou Berk Belkaid Tlemcen.
- ✚ **Cardot G. (2005)** : Les traitements de l'eau procédés physico-chimique et biologiques cours et problèmes résolus, Edition Ellipse 200, Génie de l'environnement.
- ✚ **Chadli B. (2017)** :Réutilisation des eaux usées épurées en irrigation cas de la STEP de Ibayadh, Hydraulique urbaine. Mémoire pour l'obtention du diplôme Master. Université de DR Moulay Tahar. Saida.
- ✚ **Cherif L. (2012)** :L'influence de la Coagulation –Floculation et décantation sur le prétraitement des eaux saumâtres .Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique. Université Abou BekrBelkaid.
- ✚ **Dahmane CH, Zidoune R. (2020)** :Utilisation des bio –Coagulants pour le traitement ,Des eaux potables .Master en sciences agronomiques .Université Mohammed El Bachir El Ibrahim-Bordj Bou-Arreridj.
- ✚ **Dahou A, Brek A. (2013)** : Lagunage aéré en zone aride performance épuratoires cas de (Région d'ouargla).Mémoire Master académique. Université d'Ouargla.
- ✚ **Degremont. (2005)** : Mémento technique de l'eau, Tome I, Lavoisier, Paris.P1718.
- ✚ **Dekhil S.W. (2012)** : Traitement des eaux usées urbaines par boues activées au niveau de la ville de Bordj Bou Arreridj en Algérie effectué par la station d'épuration des eaux usées ONA.Mémoire Online .Université Mohamed El Bachir El Ibrahim (Algérie).
- ✚ **Deltalab. (2020)** : Bultin technique du pilote de coagulation –Floculation et décantation (TE 600).
- ✚ **Directive 2000** : Dite Directive cadre sur l'eau (DCE) qui exige l'atteinte du bon état des masses d'eau.
- ✚ **Djeddi H. (2007)** : Utilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestières urbaines, Écologie végétale, Magister, Constantine .Université Mentouri.
- ✚ **Djehaichia R, Chebata .B.S. (2020)** : Suivi de fonctionnement de la station d'épuration de la ville de Guelma .Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Microbiologie appliqué. Université 8 Mai 1945 Guelma.

- ✚ **Djemame A.(2011)** : Contribution à l'étude du traitement des eaux usées de la ville de Guelma .Mémoire de Master .Université 08 Mai 1945.Guelma .P3-4.Expérimentation et modélisation .Mémoire de Magister . Université Abbas Ferhat, Sétif .UFAS.
Engineering hydraulic of environment –Science of environnement (E.H.E.SC.E) ,20 JANVIER 2009.Etude de diagnostic de réhabilitation du système dassainissement de 12villes (lot-4 Jijel Guelma).Rapport de synthèse Guelma –Mission –A.42p.
- ✚ **Ezziane S. (2007)** : Traitement des eaux de rejet de l'unité CERAMIT(TENES), Mémoire de Magister, Département de génie des procédés, Faculté des sciences et science de l'ingénieur. Université Hassiba Ben Bouali .Chlef.<http://www.ing-dz.com>.
- ✚ **Gadri H. (2019)** : Effet de Coagulation à base de fer sur l'épuration par coagulation-Floculation des eaux usées provenant de rejet de la wilaya de Biskra .Mémoire pour l'obtention du diplôme Master en hydraulique.Université Mohamed Khider –Biskra.
- ✚ **Galaf F, Ghanna S.M. (2003)** : Contribution à l'élaboration d'un manuel et d'un site Web sur la pollution du milieu marin .Mémoire d'ingénieur d'état. Université Hassan II.Rabat.Royaume du Maroc.
- ✚ **Gallard H, Gunten U .V. (2002)**: Chlorination of natural organic matter: Kinetics of chlorination and of THM formation, Water Res, (36 -65-74) P.
- ✚ **GhanemH,Sai I.(2020)**:Utilisation des bio-Coagulants en traitement des eaux usées textiles. Mémoire pour l'obtention dediplômemaster en écologie et environnement .Université Mohamed El Bachir El Ibrahim Bordj Bou Arreridj.
- ✚ **Gharbi I, Gharbi N. (2019)** : Étude physico-Chimique par boue activée et par électrocoagulation –Application aux eaux usées de Guelma .Mémoire de projet de fin d'étude 2^{ème} Année Master en hydraulique .Université 08 mai 1945 Guelma.
- ✚ **Ghernaout D. (2017)**: WatertreatmentChlorination: Anupdated mechanistic insight review .Chemistry research journal. (2).PP.125-138.
- ✚ **GhernaoutD,AichouniM,Alghamdi A. (2018)**: Applying big data (BD) in water treatment industry:A new era of advance .International journal of advances in applied sciences .(5).PP.89-97.
- ✚ **HachedL, Demri B.(2018)** :Modélisation de l'élimination du «Bleu de palanil» par le procédé physico-Chimique coagulation-Floculation .Mémoire pour l'obtention de diplôme de Master en biologie. Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou.
- ✚ **Hadj Ahmed.L. (2021)** : Performance épuratoire de la station d'épuration de la ville de Boufarik (BLIDA).Université Saad Dahleb –Blida1.
- ✚ **Hector Ricardo Hernandez De Léon. (2006)** : Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau potable. Thèse de doctorat à l'institut national des sciences appliquées de Toulouse.
- ✚ **Hernandez de Léon H R. (2006)** : Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau potable .Mémoire pour l'obtention de diplôme de Docteur de l'institut National des Sciences Appliquées .Toulouse.
- ✚ **Journal Officiel de la république algérienne. (2006)**
- ✚ **Karaali.R.A. (2008)** : Étude comparatives de la qualité Physico-chimique et bactériologique des eaux usées avant et après et épuration : Cas de la station d'épuration de la ville de Guelma .Mémoire D'ingénieur .Université de Guelma.

- ✚ **Keck P.E, Strakowski S.M & McElroy S.L. (2000):** The efficacy of atypical antipsychotics in the treatment of depressive symptoms, Hostility and suicidality in patients with schizophrenia .The journal of Clinical Psychiatry, 61(Suppl 3), 4-9.
- ✚ **Kherifi W. (2009) :** Étude de la cinétique de sédimentation des matières en suspension dans le calcul des décanteurs. Mémoire de Magistère. Université Badji-Mokhtar –Annaba.
- ✚ **Kraa A. (2017) :** Contribution à l'étude expérimentale du comportement physico-Chimique et rhéologique des boues de la station d'épuration de la ville d'Ain Beida. Université –Larbi Ben M'hidi Oum –El-Bouaghi.
- ✚ **Ladjel .F . (2006) :** Exploitation d'une station d'épuration a boue activée niveau 02. Centre de formation au métier de l'assainissement .CFMA-Boumerdes.80p.
- ✚ **Ladjel F, Bouchefer S, A. (2008):** Exploitation d'une STEP a boues activées et d'une lagune ,niveau II. Centre de formation aux Métiers de l'assainissement .CFMA-Boumerdes.P80.
- ✚ **Lakhdari B., (2011) :** Effet de la coagulation –Floculation sur la qualité des eaux épurées de la STEP de Ain El Houtz. Mémoire de Magister. Département de chimie .Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen.
- ✚ **Lebbihi R, Derki H. (2018) :** Étude de quelques paramètres physico-Chimiques et microbiologiques des eaux potables dans la région del-oued. Mémoire pour l'obtention du diplôme Master académique en science biologiques .Université EchahidHamma Lakhdar Del-Oued.
- ✚ **Luc j & Lagardette M. (2004) :** L'eau potable et l'assainissement, Ed. Johanet, Paris .PP 155.
- ✚ **Mahdjar M. (2016) :** Étude des performances de la station d'épuration de la ville D'Ouargla. Mémoire pour l'obtention du Diplôme Master académique .Université KasdiMerbah Ouargla, P8-11.
- ✚ **Mehammedia A, Touati T .Kh. (2020) :** Évaluation de l'efficacité de la station d'épuration des eaux usées (STEP) de Guelma .Mémoire pour l'obtention du diplôme Master en Génie des procédés. Université 8 Mais 1945.
- ✚ **Mekhalif F. (2009) :** Réutilisation des eaux résiduaires industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement .Mémoire de Magister en chimie option, Pollution chimique et environnement .Université du 20 Aout 1955 SKIKDA, Faculté des sciences Département des sciences fondamentales.
- ✚ **Metahri M.S. (2012) :** Élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traités par des procédés mixte cas de la STEP de la ville de Tizi –Ouzou, Thèse de doctorat, Spécialité : Agronomie, Université Mouloude Mammeri De Tizi-Ouzou, P21-23.
- ✚ **Metcalf & Eddy. (2003):** Wastewater engineering, Treatment and Reuse (4th Ed) New York, Mc Graw-Hill.
- ✚ **Mottot Y. (2000) :** Coagulants et floculants, Texte des 279 conférences de l'Université de tous les savoirs.
- ✚ **Prévost M, (2010) :** Traitement physico–chimiques. Notes du cours CIV8210. École Polytechnique de Montréal.

- ✚ **Rahmani A. (2015)** :Épuration des eaux usées de la région de N’goussa (OUARGLA) par des végétaux performances épuratoires. Mémoire pour l’obtention master Académique en science Techniques .Université KasdiMerbah Ouargla.
- ✚ **RamdaniCh,Cherif H.(2016)** :Efficacité du traitement de l’azote dans les stations d’épuration a boues activées :Cas de la STEP de Ain El Houtz, Eau ,Sol et Aménagement .Master ,Tlemcen. Université Abou Bekr Belkaid .P05-34.
- ✚ **Rejesk F. (2002)** : Analyse des eaux ; Aspects Réglementaires et techniques.Sceren. Édition CRDP, Aquitaine .Paris ,360p.
- ✚ **Rodier j.(2005)** :L’analyse de l’eau : Eaux naturelles, Eaux résiduares, Eaux de mer .8ème Édition Dunod, Paris.
- ✚ **Sadik Z M.(2017)** : Étude de faisabilité d’une STEP par filtre planté de roseaux des eaux usées et l’agglomération secondaire de beni Ghazli-commune d’oued Lakhdar. Mémoire pour l’obtention Master en hydraulique .Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen.
- ✚ **Saggai M.M. (2004)** : Contribution à l’étude d’un system dépurations à plantes macrophytes pour les eaux usées de la ville d’Ouargla .Mémoire Magister .Université Ouargla .P64.
- ✚ **SahriN,Boukharouba N .EL.(2021)**:Effet de la nature des rejets sur le fonctionnement de la station d’épuration des eaux usée (STEP) de Guelma .Mémoire pour l’obtention Master en génie des procédé .Université 8 Mai 1945.
- ✚ **Sekiou M.F. (2001)** : Effet de la nature des particules solides disperses et des conditions de formation du floc sur l’efficacité de la floculation .Mémoire de Magister en hydraulique .École nationale supérieure de l’hydraulique.
- ✚ **Selka M K. (2013)** : Influence des particules argileuses sur la coagulation – Floculation .Mémoire pour l’obtention du diplôme Master en hydraulique .Université Abou BekrBelkaid.
- ✚ **Zeghoud M. (2014)** : Étude de système d’épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel de village de Méghibra, Mémoire de Master .Université D’el Oued, 70p.
- ✚ **Zizi.D.R. (2015)** : Mise en évidence traces métalliques dans les eaux et sédiments de la Seybouse. Mémoire pour l’obtention de diplôme Master 2.Univ Guelma.
- ✚ **Zongo.I.(2009)** :Étude expérimentale et théorique du procédé d’électrocoagulation :Application de traitement de deux effluents textiles et un effluent simulé de tannerie .Thèse de doctorat en Génie Des procédés et de produit .Institut national polytechnique .lorraine.

Biblionet

- ✚ **(1 www, 2019)** :www.ltbp.org/FTP/BDI22.PDF ,(page consultée le 06-04-2019).**chapitre1**
- ✚ **(2www, 2022)** :<https://www.oieau.fr> : Cette fiche a été rédigée par l’équipe technique du RÉFEA.ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE, (Page consultée le Mars 2022).**chapitre1**
- ✚ **(3www, 2022)** :<https://www.suezwaterhandbook.fr>, (Page consultéele Mars 2022).**chapitre1**
- ✚ **(1www, 2022)** :www.cours-examens.org/...traitement/traitement-Eaux, (Page consultée le Avril 2022).**chapitre 2**
- ✚ **(2www, 2022)** :techno-science.net/définition/1068.html, (Page consultée le Avril 2022).**chapitre2**