



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE**



*Université des Frères Mentouri Constantine 1
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département : biologie appliquée*

*جامعة الاخوة منتوري قسنطينة 1
كلية علوم الطبيعة و الحياة
قسم البيولوجيا التطبيقية*

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master Filière : Sciences biologiques Spécialité :
Bioindustrie, Analyse et Contrôle.

Intitulé

**Exploration des différentes étapes de l'épuration biologique des
eaux usées et mesure de la charge organique ; Cas station de
Oued Athmania**

Par : BOUGADA Amina
KOREICHI Belkis

Jury d'évaluation :

Président : Dr. BELLIL Inès

Université des Frères Mentouri. Constantine1.

Rapporteur : Pr. KACEM CHAUCHE, N.

Université des Frères Mentouri. Constantine1.

Examineur : Dr. CHANTLI Amira

Université des Frères Mentouri. Constantine1.

Tutrice : ALLOUN Wiem

Doctorante au LaMyBAM, U.F.M.Constantine1.

Directeur de stage : SAJAL Faycel

Directeur de laboratoire STEP.

Année universitaire : 2019 - 2020

« Quand je suis dans l'eau, j'ai des idées.

Quand j'en suis sorti, je sèche. »

Roger Pierre

Remerciements

*Tout d'abord, nous remercions **Allah** tout puissant de nous avoir donné la force et le courage d'aller jusqu'au bout et surmonter toutes les difficultés.*

*Un vif remerciement pour notre encadreur **Professeur KACEM CHAUCHE Noredine**, Chef de département de la Biologie Appliquée (Université des frères mentouri), qui nous a beaucoup aidé et guidé lors de la rédaction de ce mémoire. Ainsi nous le remercions pour ses précieux conseils, son soutien et sa patience. Nous vous exprimons notre profonde gratitude et notre respectueuse considération. Vos qualités scientifiques et humaines resteront à jamais pour nous un bel exemple.*

*Par la suite, nous tenons à remercier notre tutrice **M^{elle} ALLOUN Wiem** qui nous a dirigé et guidé soigneusement et nous a fait part de ses remarques pertinentes qui nous ont été précieuses et enrichissantes tout au long de l'élaboration de ce mémoire. Nous la remercions pour nous avoir voué toute son attention, son précieux temps, sa gentillesse et sa permanente présence. Ainsi, nous la remercions également pour son soutien moral et sa grande compréhension, ce qui nous a procuré la force et le courage d'achever ce projet dans les meilleures conditions.*

Nos remerciements vont également aux membres de jury pour bien vouloir évaluer ce mémoire.

*Nous tenons à remercier avec la plus grande gratitude Docteur **BELIL Inès**, Maitre de conférences, à UPMC, de l'honneur qu'il nous a fait d'avoir accepté de présider le jury de soutenance. Nous remercions également Docteur **CHANTLI Amira**, Maitre de conférences à UPMC, d'avoir aimablement accepté de se joindre à ce jury comme examinatrice.*

Que ce travail soit pour vous la preuve de la gratitude et du respect que nous vous portons.

*Nous remercions Monsieur **SEDJEL Fayçel**, de nous avoir autorisé l'accès au laboratoire de la STEP de Oued Athmania ainsi que tout le personnel de la station pour leurs gentillesse pendant la durée de notre stage.*

Nous tenons à remercier tous nos enseignants du département de Biologie Appliquée ainsi que tous ceux et celles qui nous ont aidés d'une façon ou d'une autre, de près ou de loin.

Dédicace

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers

A ma grand-mère

La lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur.

A ma chère mère

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

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me porter depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours

Puisse Allah, le très haut, vous accorde santé, bonheur et longue vie.

A mon père

Pour son soutien, son affection et la confiance qui m'a accordé.

A mes chers frères et sœurs

Mustapha et Halima, pour leur soutien moral et leurs conseils précieux tout au long de mes études.

A mon oncle et sa famille

*A mon deuxième père **Mohamed** et sa femme **Houria** pour votre encouragement et ses petits **Sara, Ayoub, Nada.***

A ma meilleure amie

*A ma jumelle, à mon âme sœur **Oumaima** pour tous nos beaux moments ensemble, à la seule personne qui s'est tenue et m'a fait confiance.*

A mes chères amies

***Dikra, Djihed, Ines, Mohdja et Rayen,** pour leurs aides et supports dans les moments difficiles.*

A mon cher binôme

***Belkis** pour son courage qui nous a permis d'achever ce travail malgré tout ce que nous avons a enduré, pour les beaux moments que nous avons passés ensemble.*

*A toute la promotion **Bac** 2020.*

Amina

Dédicace

Je dédie ce modeste travail aux êtres qui me sont les plus chers.

A mon grand- père, « L'épaule solide, l'œil attentif, compréhensif et la personne la plus digne de mon estime et de mon respect. Qu'Allah te préserve et te procure santé et longue vie.

A ma grand- mère qu'Allah te garde dans son vaste paradis.

A ma chère maman, mon signe d'amour, qui souhaite toujours ma réussite. Je te remercie pour tous tes sacrifices effectués pour mon instruction et mon bien-être, pour ton soutien permanent, ton aide, tes conseils, ta patience énorme, et tes prières.

A Mon cher père. Merci pour ton amour et tes encouragements.

A Mes chers frères, Yesser, Omar et Abdebasset, pour votre appui et vos encouragements.

A mes tentes Louza, Soulef et Sawen pour tous le soutien, l'aide et l'amour que vous m'avez offert.

A mes oncles Abderahmane et Abdesamad pour vos encouragements et vos conseils.

A mes cousines Rayenne, Nerimen et Dorsaf pour votre présence, votre soutien. Je vous souhaite beaucoup de succès, qu'Allah vous garde et illumine vos chemins.

A ma meilleure amie Wissal ma moitié, mon âme sœur, merci d'être toujours à mes côtés.

A mes amies Dikra, Ines, Djihed, Oumaima, Kamer et Maroua j'ai de la chance de vous avoir, qu'Allah vous protège.

A Mon cher binôme Amina merci pour tous les moments qu'on a partagé ensemble durant ces deux années.

Et enfin à toute la promotion Bac 2020

Belkis

Abstract

This study aims to assess the purification performance of biological wastewater treatment systems (activated sludge) at Chalghoum Laid Oued Athmania STEP. The effectiveness of the elimination of organic pollution is estimated by analyses of physical (T° , pH and MES), chemical (NO_3) and biological (BOD_5) parameters carried out upstream and downstream. Thus, the results are compared with the discharge standards before the evacuation of the treated water to Oued Rhumel. The results of these effluent analyses, over a period of six months, show that the wastewater has a neutral character ($\text{pH} = 7.71$) and temperatures comprised within the interval $[10.7\text{-}22.0\text{ }^\circ\text{C}]$. The measured pollution indicator parameters give on average 15mg for BOD_5 , 19.14mg for MES and 1.40mg of NO_3 . The purification yields of MES and BOD_5 match to 91% and 89% respectively and are therefore suitable. These results are conforming to the discharge standards and agricultural recovery of sludge. They are, therefore, obtained due to the good management in operation, optimization, and the requirement of quality.

Keywords: STEP, activated sludge, BOD_5 , MES, Biological purification, Waste water.

Résumé

Cette étude a pour objectif d'évaluer les performances épuratrices des systèmes biologiques de traitement des eaux usées (boues activées) au niveau de la STEP de Chalhoun Laid, Oued Athmania. L'élimination de la pollution organique est estimée par des analyses physique (T° , pH et MES), chimiques (NO_3) et biologiques (DBO_5) réalisées en amont et en aval de la station. Ainsi, les résultats sont comparés aux normes de rejet avant évacuation des eaux épurées vers Oued Rhumel. Les résultats des différentes analyses de l'effluent, effectuées sur une période de six mois, montrent que les eaux usées présentent un caractère neutre (pH 7.71) avec des températures ne dépassant pas l'intervalle [10.7-22.0°C]. La détermination des paramètres indicateurs de pollution mesurés donne en moyenne 15mg/l pour la DBO_5 , 19.14 mg/l pour MES et des concentrations moyennes en Nitrates de 1.40mg/l. Les rendements épuratoires de MES et DBO_5 correspondent respectivement à 91% et 89 % et sont, de ce fait, satisfaisants. Tous ces résultats sont conformes aux normes de rejet et à la valorisation agricole des boues et sont obtenus grâce au bon fonctionnement de la STEP et à la bonne gestion en exploitation, optimisation et l'exigence de la qualité.

Mots clés : STEP, Boues activées, DBO_5 , MES, Epuration biologique, Eaux usées.

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم طرق التصفية في المعالجة البيولوجية للمياه المستعملة باستعمال الحمأة النشطة وهذا على مستوى محطة التصفية شلغوم العيد، وادي العثمانية. يتم تقييم فعالية هذه المحطة بالتحاليل التي تجرى قبل وبعد المعالجة، وهذه التحاليل منها: الفيزيائية (درجة الحرارة T، درجة الحموضة pH والمواد العالقة MES)، الكيميائية (النترات NO₃) والبيولوجية (الطلب البيوكيميائي للأكسجين DBO₅) وتتوافق نتائج هذه التحاليل على مدار ستة أشهر تتوافق مع المعايير المحددة حيث أن المياه المعالجة في هذه المحطة تتميز بدرجة حموضة معتدلة ومعدل حراري لا يتجاوز المجال [10.1 -22.0]، أما بالنسبة لمؤشرات التلوث فهم في معدل DBO₅ = 15 ملغ/ل، MES = 19.14 ملغ/ل ومعدل تركيب النترات 1.4 ملغ/ل. كفاءات التنقية أعطت نتائج مرضية 91% ل MES و 89% ل DBO₅.

هذه النتائج موافقة للمعايير المحددة مما يسمح باستعمال هذه الحمأة النشطة في مجال الزراعة، هذا عائد إلى الإدارة الجيدة في تحسين الجودة.

الكلمات المفتاحية: محطة تصفية المياه الملوثة، الحمأة النشطة، MES، DBO₅، NO₃، التصفية بيولوجية، المياه المستعملة.

Table des matières

Numéro	Intitulé	Page
LISTE DES FIGURES		
LISTE DES TABLEAUX		
Introduction		1
Revue bibliographique		
Chapitre 1.	Eaux usées	02
1.1.	Origine des eaux usées	02
1.1.1.	Eaux usées domestiques	02
1.1.2.	Eaux usées industrielles	02
1.1.3.	Eaux pluviales	03
1.1.4.	Eaux agricoles	03
1.1.5.	Eaux parasites	03
1.2.	Pollution de l'eau	03
1.2.1.	Origine de pollution	03
1.2.2.	Types de pollution de l'eau	03
1.2.2.1.	Pollution physique	04
1.2.2.2.	Pollution chimique	04
1.2.2.3.	Pollution microbiologique	04
1.2.3.	Composition des eaux usées	05
1.2.4.	Caractéristiques des eaux usées	06
1.2.4.1.	Paramètres physiques	06
1.2.4.2.	Paramètres chimiques	07
1.2.4.3.	Normes internationales	10
1.2.4.4.	Normes algériennes	10
1.2.4.5.	Paramètres microbiologiques	10
Chapitre 2.	Procèdes d'épuration	12
2.1.	Types de réseaux de collecte	12
2.2.	Relevage	12
2.3.	Etapes de l'épuration des eaux usées	12
2.3.1.	Prétraitement	13
2.3.1.1.	Dégrillage	13
2.3.1.2.	Dessablage-déshuilage	14
2.3.2.	Traitement primaire	15
2.3.3.	Traitement secondaire	16
2.3.3.1.	Traitement biologique	16
2.3.3.2.	Boues activées	17
2.3.3.3.	Bulking	17
2.3.3.4.	Elimination d'azote	18
2.3.3.5.	Elimination de phosphate	18
2.3.3.6.	Clarificateur	18
2.3.4.	Traitement tertiaire	18
2.3.4.1.	Traitement chimiques ultraviolets	18
2.3.4.2.	Filtration par membranes	19
2.3.4.3.	Lagunage tertiaire	19
Chapitre 3.	Boues activées	20

3.1.	Définition	20
3.2.	Types de boues	20
3.2.1.	Boues primaires	20
3.2.2.	Boues activées	20
3.2.3.	Boues mixtes	20
3.2.4.	Boues physico-chimiques	20
3.3.	Principe d'épuration	21
3.4.	Formation des boues activées	21
3.4.1.	Transfert	22
3.4.2.	Conversion	22
3.4.3.	Floculation	22
3.5.	Composition microbiologique des boues	22
3.5.1.	Microfaune	22
3.5.2.	Microflore	22
3.5.2.1.	Métabolisme bactérien	22
3.5.2.2.	Processus métaboliques	22
3.5.2.3.	Flocs bactériens de boues activées	23
3.6.	Traitement des boues	23
3.6.1.	Epaississement	23
3.6.2.	Stabilisation	24
3.6.3.	Déshydratation	24
3.7.	Destination finale des boues	24
3.7.1.	Incineration	24
3.7.2.	Valorisation énergétique	24
3.7.3.	Utilisation agricole	24
3.8.	Impacts des boues sur l'environnement	25
Partie expérimentale		
Chapitre 4.	Présentation de STEP	26
4.1.	Situation géographique de la STEP	26
4.1.1.	Choix de site	26
4.2.	Caractéristiques fonctionnelles et charge de pollution	27
4.3.	Filière de traitement	27
4.4.	Fonctionnement de STEP	27
4.4.1.	Lignes d'eaux	27
4.4.2.	Poste de relevage	27
4.4.3.	Prétraitement	28
4.4.3.1.	Dégrilleur grossier	28
4.4.3.2.	Dégrilleur fin	29
4.4.3.3.	Dessablage-déshuilage	30
4.4.3.4.	Lits de sable	30
4.4.4.	Traitements biologiques	31
4.4.4.1.	Bassin d'aération	31
4.4.4.2.	Clarificateur	32
4.4.5.	Traitement tertiaire	33
	Poste de recirculation des boues secondaires	33
4.4.6.	Lits de séchage	34

4.5.	Traitement biologique par boues activées	35
4.5.1.	Procèdes de traitement par boues activées	35
4.5.2.	Composition microbiologique des boues	36
4.6.	Facteurs liés à l'épuration biologique	36
4.6.1.	Charge massique (Cm)	36
4.6.2.	Charge volumique (Cv)	37
4.7.	Destination finale des boues	37
Chapitre 5.	Matériels et Méthodes	38
5.1.	Analyse des eaux usées	38
5.1.1.	Echantillonnage	38
5.1.2.	Techniques d'analyse des eaux usées	38
5.1.2.1.	Température	38
5.1.2.2.	Potentiel hydrogène	39
5.1.2.3.	Matière en suspension (MES)	39
5.1.2.4.	Dosage des Nitrate NO_3^-	40
5.1.2.5.	Demande biochimique en oxygène DBO_5	40
5.2.	Analyse des boues	41
5.2.1.	Volume des boues V_{30}	41
5.2.2.	Indice des boues	41
5.2.3.	Matière séché MS à 150°C	42
Chapitre 6.	Résultats et Discussion	43
6.1.	pH	43
6.2.	Température	44
6.3.	Matière en suspension	45
6.4.	Nitrates	46
6.5.	DBO_5	47
	Conclusion	50
Références bibliographiques		51
Annexes		

Liste des Figures

Figure	Titre	Page
Figure 01	Etapas d'épuration.....	13
Figure 02	Etapas de prétraitement.....	13
Figure 03	Types de dégrilleurs.....	14
Figure 04	Evacuation de déchets vers les bennes de décharge.....	14
Figure 05	Dessableur/Déshuileur.....	15
Figure 06	Production des boues au niveau d'une station d'épuration	21
Figure 07	Relations entre les microorganismes de la boue activée.....	23
Figure 08	Localisation de la station d'épuration des eaux usées d'Oued Athmania... .	26
Figure 09	Déversoir d'ouvrage.....	28
Figure 10	Dégrilleur grossier.....	29
Figure 11	Dégrilleur fin manuel.....	29
Figure 12	Dessableur-Déshuileur.....	30
Figure 13	Lit de sable.....	31
Figure 14	Bassin d'aération.....	32
Figure 15	Clarificateur.....	33
Figure 16	Epaississeur.....	33
Figure 17	Lits de séchage.....	35
Figure 18	Système de traitement par boues activées.....	36
Figure 19	Mesure de la température.....	39
Figure 20	Mesure de la DBO ₅	41
Figure 21	Mesure de V ₃₀	41
Figure 22	Mesure de la siccité.....	42
Figure 23	Variation de MES à l'entrée et à la sortie de la STEP.....	45
Figure 24	Rendement épuratoire du MES.....	45
Figure 25	Variation de la DBO ₅ à l'entrée et à la sortie de la STEP	47
Figure 26	Rendement épuratoire de DBO ₅	47

Liste des Tableaux

Tableaux	Titre	Page
Tableau 01	Germes pathogènes rencontrés dans les eaux usées.....	05
Tableau 02	Composants majeurs typiques d'eau usée domestique.....	06
Tableau 03	Echelle de valeur de DBO ₅	07
Tableau 04	Coefficient de biodégradabilité.....	08
Tableau 05	Normes de rejets internationales.....	10
Tableau 06	Normes de rejets algériennes.....	10
Tableau 07	Paramètres microbiologiques dans les eaux usées.....	11
Tableau 08	Charge de pollution et rendement d'épuration de la STEP.....	27
Tableau 09	Dimensionnement du déversoir d'orage.....	27
Tableau 10	Dimensionnement de dégrilleur grossier.....	28
Tableau 11	Dimensionnement de dégrilleur fin.....	29
Tableau 12	Dimensionnement de dessableur-déshuileur.....	30
Tableau 13	Dimensionnement du lit de sable.....	31
Tableau 14	Dimensionnement des bassins d'aération.....	31
Tableau 15	Caractéristique de clarificateur.....	33
Tableau 16	Caractéristiques de lit de séchage.....	34
Tableau 17	Caractéristiques de boues de STEP.....	35
Tableau 18	Fréquences d'analyses.....	38
Tableau 19	Tableau des longueurs d'ondes.....	39
Tableau 20	Variation du pH à l'entrée et la sortie de la STEP (Janvier-Juin 2020).....	44
Tableau 21	Variation de la température de l'eau brute et de l'eau épurée.....	45
Tableau 22	Résultats de N-NO ₃	46

Introduction

L'eau représente un patrimoine universel qui doit être protégée et n'est pas qu'un simple produit commercial. Elle est une ressource vitale pour tous les êtres vivants, micro et macroscopiques, bien qu'elle fait objet de réceptacle de tout type de pollution (Mettahri, 2012). Les rejets annuels d'eau usée en Algérie sont estimés à 600 millions de m³. Ces eaux usées accentuent la dégradation de l'environnement et sont gaspillées inutilement. En revanche, à l'instar d'un grand nombre de pays du bassin méditerranéen, elle accuse un déficit hydrique très inquiétant. Ainsi, elle se situe parmi les pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques, qui sont en dessous du seuil théorique de rareté fixé par la banque mondiale à 1000 m³ par habitant et par an (Ouanouki *et al.*, 2009). Face à cette situation inquiétante, le traitement des eaux résiduaires de meure importante peut être réalisé par des procédés physico-chimiques, biologiques ou mixtes.

Le traitement par boues activée est reconnu comme un indicateur potentiel pour le contrôle opérationnel des systèmes de traitement biologique. Il joue un rôle important dans les systèmes de traitement des eaux usées municipales. Il maintient également la densité des bactéries, contribue à la floculation des boues et dans une certaine mesure stimule l'activité bactérienne dans les systèmes de boues activées et peut être responsable de l'amélioration du traitement (HU *et al.*, 2013).

Dans le but de s'initier aux procédés de traitement des eaux usées, nous avons effectué un stage dans la station d'épuration STEP Chalghoum Laid, Oued Athmania durant la période située entre 01 Janvier et 30 Juin 2020.

Le présent travail s'intéresse plus particulièrement au procédé de traitement par boues activées en aérobiose et à cultures libres. Ce procédé est très répandu dans le cas du traitement des eaux usées domestiques. Ainsi, l'objectif de ce travail est d'évaluer l'efficacité du traitement biologique de la station d'épuration d'Oued Athmania.

Cette étude comprend deux parties ; Une première partie est consacrée au cadre théorique et la deuxième s'est focalisée sur les points suivants :

- Etude des différentes étapes de traitement des eaux usées et principalement le procédé de traitement par boues activées ;
- Identifier les analyses physico-chimiques et biologiques nécessaires effectuées en amont et en aval lors du traitement des eaux usées.

Revue Bibliographique

1. Eaux usées

L'homme a sélectionné l'eau comme principal vecteur pour l'élimination de ses déchets. Ainsi, les eaux résiduaires urbaines (ERU), ou eaux usées sont formées à partir des multiples utilisations domestiques ou industrielles de l'eau par l'homme. Les eaux usées sont des eaux chargées de polluants, minéraux ou organiques, solubles ou non, dispersés ou dissouts, provenant essentiellement de l'activité humaine, à savoir processus industriels et artisanaux (Rejsek, 2002 ; Koller, 2005).

Les eaux usées peuvent être regroupées en trois catégories, selon leur origine ; domestiques, industrielles et agricoles (pluviales). Certaines de ces eaux résiduaires peuvent avoir un caractère toxique. A cette charge s'associent presque toujours des matières grasses et des matières colloïdales (Koller, 2005).

1.1. Origine des eaux usées

1.1.1. Eaux usées domestiques

Les eaux usées domestiques comprennent les eaux ménagères et les eaux de vanne et sont essentiellement porteuses de pollution organique (glucides, lipides, protides) mais aussi des matières minérales (chlorures, phosphates, sulfates) (Vaillant, 1974 ; Mettahri, 2012). Les eaux ménagères ont pour origine les salles de bains et les cuisines et sont chargées de matières organiques biodégradables (glucides, lipides, protides), détergents contenant du soufre ou du phosphore, des graisses, des solvants. Les eaux de vannes proviennent des sanitaires (Urines et matières fécales) et sont chargées de diverses matières organiques hydrocarbonées, en composés azotés, phosphatés et des germes fécaux (Rejsek, 2002 ; Baumont *et al.*, 2004).

1.1.2. Eaux usées industrielles

A la différence des eaux usées domestiques, les effluents industriels ont une composition plus spécifique et leurs caractéristiques, notamment la qualité et le taux de pollution, sont directement liées au type d'industrie considérée. Les eaux résiduaires industrielles sont également des eaux de refroidissement, de lavage ou rinçage de machines ou produits divers et de matières premières. En plus des matières organiques, azotées ou phosphorées, elles sont chargées en différentes substances chimiques organiques et métalliques. Selon leur origine elles peuvent également contenir des substances chimiques utilisées au cours des processus de fabrication (graisses, hydrocarbures, acides, bases, métaux, et matière radioactives) (Baumont *et al.*, 2004 ; Mettahri, 2012).

Avant leur rejet dans les réseaux de collecte, les eaux usées industrielles doivent faire l'objet d'un prétraitement. Elles peuvent être mélangées aux eaux domestiques si elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des stations d'épurations (Mettahri, 2012).

1.1.3. Eaux pluviales

Ce sont les eaux de pluie entraînant toutes sorte de déchets minéraux (limons) et organiques (déchets végétaux) ainsi que des micropolluants (hydrocarbures, pesticides, détergents, etc. (Anonyme, 1995).

1.1.4. Eaux agricoles

Les eaux agricoles sont les eaux issues de terres cultivées chargés d'engrais. Ils conduisent, par ruissellement, à un enrichissement en matières azotées ou phosphatées des nappes les plus superficielles, des eaux des cours d'eau et des retenues (Mettahri, 2012).

1.1.5. Eaux parasites

Elles proviennent des remontées des nappes sous-terraines ou des fuites de conduites d'alimentation en eau potable (AEP); elles s'infiltrent dans les collecteurs et se mélangent aux eaux usées et les diluent, influençant ainsi le fonctionnement de la station d'épuration (Anonyme 1, 2017).

1.2. Pollution de l'eau

1.2.1. Origine de pollution

La pollution de l'eau peut être d'origine naturelle, domestique, agricole et industrielle. La pollution naturelle implique le ruissellement de l'eau de pluie sur des terrains riches en métaux lourds ou l'entraînement des polluants de l'atmosphère vers le sol (Afir and Mezaoua, 1984). L'origine domestique concerne les eaux usées ménagères et les eaux de vanes, ainsi que les eaux rejetées des hôpitaux, des commerces, etc. Quant à l'origine agricole et industrielle, elle concerne les eaux surchargées en produits chimiques issus d'épandage (engrais et pesticides), de métallurgie, et d'hydrocarbures (Afir and Mezaoua, 1984).

1.2.2. Types de pollution de l'eau

La pollution de l'eau est la dégradation de ses propriétés physiques, chimiques et biologiques par des déversements, rejets, dépôts directs ou indirects (Koller, 2004).

1.2.2.1. Pollution physique

Elle est due à la présence d'éléments solides entraînés par l'eau. Elle peut être d'origine domestique, mais essentiellement industrielle. On peut la répartir en trois classes: mécanique, thermique et radioactive (Galaf and Ghannam, 2003 ; Mettahri, 2012).

La pollution **mécanique** est due à la présence de particules solides apportées par les eaux résiduaires industrielles (ERI), ainsi que les eaux de ruissellement. Ces polluants sont soit des éléments grossiers soit du sable ou les matières en suspension MES (Mettahri, 2012).

La pollution **thermique** dans les eaux de refroidissement d'installations industrielles diverses, engendre un appauvrissement des eaux en oxygène et une croissance bactérienne (Mettahri, 2012). La pollution par des substances **radioactives** est plus grave. Elle affecte directement les peuplements aquatiques en raison de la toxicité propre de ses éléments et des propriétés cancérigènes et mutagènes de ses rayonnements (Galaf and Ghannam, 2003).

1.2.2.2. Pollution chimique

Elle résulte des rejets chimiques, essentiellement d'origine industrielle. Elle est regroupée en deux catégories, organique (hydrocarbures, pesticides, détergents, phénols...) et minérale (métaux lourds, cyanure, azote, phosphore...) (Encyclopedia, 1995).

La pollution **organique** provient des effluents chargés en matières organiques fermentescibles (biodégradables), fournis par les industries alimentaires et agroalimentaires, et par les effluents domestique (déjections humaines, graisses, etc.). La première conséquence de cette pollution est la consommation d'oxygène dissous de ces eaux (Encyclopedia, 1995).

La pollution **minérale** correspond à la présence des métaux lourds dans l'eau, d'azote ou de phosphore.

Par ordre décroissant de toxicité spécifique, les métaux sont classés comme suit:

$$\text{Hg} < \text{Cr} < \text{Ti} < \text{Cu} < \text{Co} < \text{Ni} < \text{Pb} < \text{Zn}.$$

Les métaux lourds sont susceptibles d'être métabolisés et concentrés par les organismes vivants et mis en circulation dans la chaîne alimentaire (Ramdan, 2006).

1.2.2.3. Pollution microbiologique

Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes (Tableau 1). L'ensemble de ces organismes peut-être classé en quatre grands groupes, par ordre croissant de taille : les virus (10 à 350 nm), les bactéries (1 à 10µm), les protozoaires et les helminthes (Baumont et al., 2004).

La charge virale des eaux usées urbaines est sous-estimée à environ 10^3 à 10^4 particules par litre du fait de la difficulté de leur isolement et leur dénombrement réel (Asano, 1998).

Les eaux usées urbaines contiennent environ 10^6 à 10^7 bactérie/100ml dont les entérobactéries, les streptocoques, les clostridium et les salmonelles, potentiellement dangereuses pour l'homme. Les coliformes sont les germes témoins de contamination fécale communément utilisés pour contrôler la qualité relative d'une eau (Faby and Brissaud, 1997).

La plupart des protozoaires pathogènes présent dans les eaux résiduaires sont des organismes parasites, qui se développent aux dépends 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 (Baumont et al., 2004). Parmi les protozoaires les plus importants du point de vue sanitaire, il faut citer *Entamoeba histolytica*, responsable de la Dysenterie amibienne et *Giardia lamblia* (Asano, 1998).

Tableau 01 Germes pathogènes rencontrés dans les eaux usées (Asano, 1998).

Germe	Agent pathogène	Maladie (symptôme)	Nombre/litre	Voies principales de contamination
Bactérie	<i>Salmonella</i>	Typhoïde, paratyphoïde, salmonellose	23 à 80 000	Ingestion
	<i>Shigella</i>	Dysenterie bacillaire	10 à 10 000	Ingestion
	<i>Campylobacter</i>	Gastro-entérite	37 000	Ingestion
	<i>Vibrio</i>	Choléra	100 à 100 000	Ingestion
Virus	<i>Rotavirus</i>	Vomissement, diarrhée	400 à 85 000	Ingestion
	<i>Poliovirus</i>	Paralyse, méningite, fièvre	182 à 492 000	Ingestion
Parasite	Protozoaires <i>Giardia lamblia</i>	Diarrhée, malabsorption	125 à 100 000	Ingestion
	<i>Entamoeba histolytica</i>	Dysenterie amibienne	4	Ingestion
	<i>Balantidium coli</i>	Diarrhée bénigne, ulcère du colon	28-52	Ingestion
	<i>Cryptosporidium</i>	Diarrhée	0,3 à 122	Ingestion
	Helminthes <i>Ascaris</i>	Ascariadiase : diarrhée, troubles nerveux	5 à 111	Ingestion
	<i>Ancylostoma</i>	Anémie	6 à 188	Ingestion/Cutanée
	<i>Trichuris</i>	Diarrhée, douleur abdominale	10 à 41	Ingestion

1.2.3. Composition des eaux usées

Les eaux usées se composent de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux microorganismes (tableau 02), ces substances peuvent être classées en quatre groupes selon leurs caractéristiques physicochimiques, biologiques et leur danger sanitaire (Baumont et al., 2004).

Tableau 02 Composants majeurs typiques d'une eau usée domestique (Glanic and Benneton,1989).

Constituants	Concentration en mg/l		
	Forte	Moyenne	Faible
Solides totaux	1200	700	350
Solides dissous	850	50	250
Solides suspendus	350	200	100
Azote (en N)	85	40	20
Phosphore (en P)	20	10	6
Chlore	100	50	30
Alcalinité (en CaCO ₃)	200	100	50
Graisses	150	100	50
DBO ₅	300	200	10

1.2.4- Caractéristiques des eaux usées

Les eaux usées possèdent des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques :

1.2.4.1- Paramètres physiques

Température

La température est à la fois un facteur écologique et physiologique. Ainsi, elle agit sur la conductivité, solubilité des sels, détermination de pH et l'origine de l'eau et des mélanges éventuels. Parallèlement, elle agit sur le métabolisme et la croissance des micro-organismes vivant dans l'eau (Rodier, 2005).

Matières en suspension (MES)

Elles représentent tout élément en suspension dans l'eau (ni à l'état soluble ni à l'état colloïdal) dont la taille permet sa rétention sur un filtre de porosité donnée. Les MES sont liées à la turbidité de l'eau (mesure du trouble de l'eau) et marquent le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel (Bourrier et *al.*, 2010).

On estime que 30% de MES sont organiques et 70% sont minérales. Ainsi, les matières volatiles en suspension (MVS) représentent la fraction organique de MES et sont obtenues par calcination de MES à 525°C pendant 2 heures. La différence de poids entre les MES à 105°C et les MES à 525°C donne la perte au feu et correspond à la teneur en MVS en (mg/l). Cependant, les matières minérales (MMS) représentent le résultat d'une évaporation totale de l'eau, c'est-à-dire l'extrait sec constitué à la fois par MES et les matières solubles telles que les chlorures, les phosphates, etc. (Vibouroux, 1981).

Caractéristiques organoleptiques

Turbidité

Les MES fines, les micro-organismes et les matières colloïdales d'origine organique ou minérale provoquent la réduction de la transparence de l'eau par obstruction à la pénétration de la lumière (Cayocca, 2012). La turbidité représente donc l'opacité d'un milieu trouble (Rejsek, 2002).

Odeur

L'eau d'égout fraîche a une odeur fade qui n'est pas désagréable. Par contre, en état de fermentation, elle dégage une odeur nauséabonde (Rejsek, 2002).

Débit

La mesure du débit permet de quantifier la pollution rejetée par l'intermédiaire d'un «habitant équivalent» qui exprime le volume d'eau usée moyen déversé par habitant et par jour (Rejsek, 2002).

Couleur

La couleur de l'eau peut être causée par la présence des minéraux naturels (Fer et Magnésium) mais aussi, peut être due à la présence de planctons, d'herbage et de composés organiques (polyphénols). L'eau usée domestique est de couleur grisâtre, parfois noire. Par contre, l'eau usée industrielle peut être incolore, comme elle peut avoir plusieurs couleurs à cause du déversement de colorants industriels (Rejsek, 2002).

1.2.4.2. Caractéristiques chimiques

Demande Biochimique en Oxygène (DBO)

DBO₅ représente la quantité d'oxygène nécessaire à la minéralisation de composés organiques biodégradables contenus dans un échantillon d'eau, par voie biochimique, c'est-à-dire par oxydation chimique par des microorganismes aérobies. Elle permet de mesurer, dans un effluent complexe, la quantité de matières organiques biodégradables (Ouali, 2001).

La minéralisation est un processus lent et nécessite en moyenne 20 à 28 jours, la DBO ultime ou DBO₂₁ ou DBO₂₈. On mesure alors par convention la quantité d'oxygène consommée au bout de cinq jours à 20°C et à l'obscurité ; la DBO₅ (Ramade, 2002 ; Mettahri, 2012). La DBO est présentée selon la réaction suivante :

Substrat+microorganisme+O₂ \longrightarrow CO₂+ H₂O+Energie +Biomasse (Mettahri, 2012).

La concentration de la DBO₅ dépend de la nature d'eau (tableau 03).

Tableau 03 Echelle de valeur de DBO₅(Mettahri, 2012).

Situation	DBO ₅ (mg d'O ₂ /l)
Eau naturelle pure et vive	C<1
Rivière légèrement polluée	1<C<3
Egout	100<C<400
Rejet station d'épuration efficace	20<C<40

Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation chimique des matières oxydables, biodégradables ou non, organiques ou minérales présent dans les eaux à l'aide du dichromates de potassium à 150°C.

Elle est exprimée en mg O₂ /l.

La valeur de la DCO est généralement:

- 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 organique (MO) en fonction de la DBO₅ et la DCO est donnée par l'équation suivante :

$$MO = (2DBO_5 + DCO) / 3 \text{ (Rodier, 2005 ; Mettahri, 2012).}$$

Biodégradabilité

La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les micro-organismes qui interviennent dans le processus d'épuration biologique des eaux. Cette biodégradabilité est exprimée comme suit par le coefficient K (tableau 04) (Mettahri, 2012).

Tableau 04 Coefficient de biodégradabilité (Mira, 2008).

Coefficient K = (DCO/DBO ₅)	Mode de traitement
K=1	Pollution totalement biodégradable
1<K<1.6	Épuration biologique très possible
1.6<K<3.2	Traitement biologique + traitement physico-chimique
K>3.2	Traitement biologique impossible

pH

Le pH représente la concentration des ions H⁺ dans l'eau et doit être, moyennement neutre [5-9] pour permettre la croissance des microorganismes. Selon l'OMS, un pH au-delà de ces valeurs affecte la survie des micro-organismes aquatiques (Mira, 2008).

Carbone organique total (COT)

Il ne représente que le carbone présent dans les composés organiques. La valeur du COT détermine les composés difficilement ou non dégradables biochimiquement. Sa mesure est réalisée par un analyseur de CO₂ à infrarouge après combustion catalytique à haute température de l'échantillon (Dugniolle, 1980).

Oxygène dissous

La concentration en oxygène dissous est importante pour la dégradation de la matière organique ainsi que la photosynthèse. Elle dépend directement de la température, la pression et la force ionique du milieu et est exprimée en mg O₂/l (Mettahri, 2012).

Azote

L'azote est présent dans les eaux usées domestiques sous une forme organique (composant majeur des protéines) ou ammoniacale (NH₃ et NH₄⁺) (Gaujous, 1995).

Nitrites (NO₂⁻)

Les ions nitrites (NO₂⁻) constituent un stade intermédiaire entre l'ammonium (NH₄⁺) et les ions nitratent (NO₃⁻). Les nitrites constituent un poison dangereux pour les organismes aquatiques, même à de très faibles concentrations. La toxicité augmente avec la température (Rodier, 2005).

Nitrates (NO₃⁻)

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique dans l'eau par les bactéries, telles que *Nitrobacters*. Les nitrates ne sont pas toxiques, mais des teneurs élevées en nitrates provoquent l'eutrophisation du milieu. Leur danger potentiel reste néanmoins relatif à leur réduction en nitrites (Rodier, 2005).

Phosphore

Le phosphore se présente dans les eaux résiduaires sous une forme organique (d'origine industrielle ou biologique provenant des matières fécales) ou minérale (ortho et poly phosphates provenant de lessive, d'engrais phosphatés). L'apport journalier de phosphore est d'environ 4g par habitant et par jour. La quantification du phosphore dans les eaux résiduaires brutes permet de savoir si un traitement biologique est envisageable (Rodier, 2005).

Chlorures et le sodium

Les chlorures et le sodium peuvent être d'origine naturelle (eau de mer : 27g/l NaCl, et terrains salins), humaine (10 à 15g/l NaCl dans les urines/j) ou industrielle (potasse, industrie pétrolière, galvanoplastie, agroalimentaire). Ils peuvent être problématiques lorsque les réseaux d'égout drainent des eaux phréatiques saumâtres (Dugniolle, 1980).

Conductivité

La conductivité électrique permet d'avoir une idée concise de la salinité de l'eau mesurée. Une conductivité élevée traduit soit des pH peu ordinaires, soit une salinité élevée. Le résultat est exprimé en siemens par mètre (S/m) (Bourrier et *al.*, 2010).

$$1\text{S/m}=104\mu\text{S/cm}=103\text{mS/m.}$$

1.2.4.3. Normes internationales

Un critère donné est remplie lorsque la norme, valeur limite supérieure ou inférieure, est respectée par un paramètre donné. Le tableau 05 illustre les normes internationales à respecter lors du rejet des eaux usées.

Tableau 05 Normes de rejets internationales (OMS, 2006).

Paramètres	Unité	Normes utilisées
pH	-	6.5-8.5
DBO ₅	mg/l	<30
DCO	mg/l	<90
MES	mg/l	<20
NH ₄ ⁺	mg/l	<0.5
NO ₂	mg/l	1
NO ₃	mg/l	30
P ₂ O ₅	mg/l	<2
T	°C	<30
Couleur	-	Incolore
Odeur	-	Inodore

1.2.4.4. Normes algériennes

Selon les normes algériennes les valeurs limites maximales de rejets d'effluents sont regroupées dans le tableau 06.

Tableau 06 Normes algériennes de rejets (Anonyme, 2006).

Paramètres	Unité	Valeur limite
T	°C	30
Ph	-	6.5-8.5
MES	mg/l	35
DBO ₅	mg/l	35
DCO	mg/l	120
Azote Kjeldahl	mg/l	30
Phosphates	mg/l	02
Phosphore total	mg/l	10

1.2.4.5. Paramètres microbiologiques

La composition de l'échantillon d'eau en flore aérobie mésophile totale, des coliformes totaux, coliformes fécaux, staphylocoque, streptocoque, salmonelles et les shigelles, et les bactéries sulfito-réductrices, ainsi que certains pathogènes, peut donner une

indication sur les risques liés à l'utilisation de certains types d'eaux (tableau 07) (Baumont et al., 2004).

Tableau 07 Paramètres microbiologiques dans les eaux usées (Crosclaude, 1999 ; Ouali,2001 ; Rejsek, 2002).

Microorganisme	Gram	Respiration	Genre
Coliformes	-	Anaérobie facultative	<i>Escherichia, Citrobacter, Enterobacter, Klebsiella, Yersinia, Serratia</i>
Streptocoques fécaux	+	Aéro-anaérobie facultatifs	<i>Streptococcus, Enterococcus, Lactococcus</i>
Bactéries sulfito-réductrices	+	Anaérobie stricte	<i>Clostridium</i>
Staphylocoques	+	Aéro-anaérobie facultatives	<i>Staphyococcus</i>
Shigelles	-	Anaérobie facultative	<i>Shigella</i>
Salmonelles	-	Anaérobie facultative	<i>Salmonella</i>

2. Procédés d'épuration

L'épuration des eaux usées correspond à l'ensemble des techniques de purification des eaux usées, soit pour leur déversement dans le milieu naturel récepteur, soit pour leur potabilisation. La dépollution des eaux usées urbaines nécessite une succession d'étapes faisant appel à des traitements physiques, physico-chimiques et biologiques. L'épuration doit permettre d'éliminer la majeure partie des composés organiques biodégradables. Certains procédés permettent l'élimination de l'azote et du phosphore (Daffri, 2008). Ainsi, la plupart des polluants sont concentrés (Mettahri, 2012).

2.1. Types de réseaux de collecte

Il existe deux types de réseaux de collecte :

Les réseaux unitaires qui évacuent dans les mêmes canalisations les eaux usées domestiques et les eaux pluviales. Ils cumulent les avantages de l'économie (un seul réseau à construire et à gérer) et de la simplicité.

Les réseaux séparatifs qui collectent les eaux domestiques dans un réseau et les eaux pluviales dans un autre. Ce système a l'avantage d'éviter le risque de débordement d'eaux usées dans le milieu naturel lorsqu'il pleut. Il permet de mieux maîtriser le flux et sa concentration en pollution ainsi que de mieux adapter la capacité des stations d'épuration (Libes, 2010).

2.2. Relevage

Le transport des eaux usées dans les collecteurs se fait généralement sous l'effet de leurs poids. Une station de relèvement permet d'acheminer les eaux dans la station d'épuration lorsque ces derniers arrivent à un niveau plus bas que les installations de dépollution grâce à des pompes submersibles ou à vis d'Archimède (Anonyme, 1995).

2.3. Etapes de l'épuration des eaux usées

Les différents procédés d'épuration des eaux usées sont schématisés dans la figure 01.

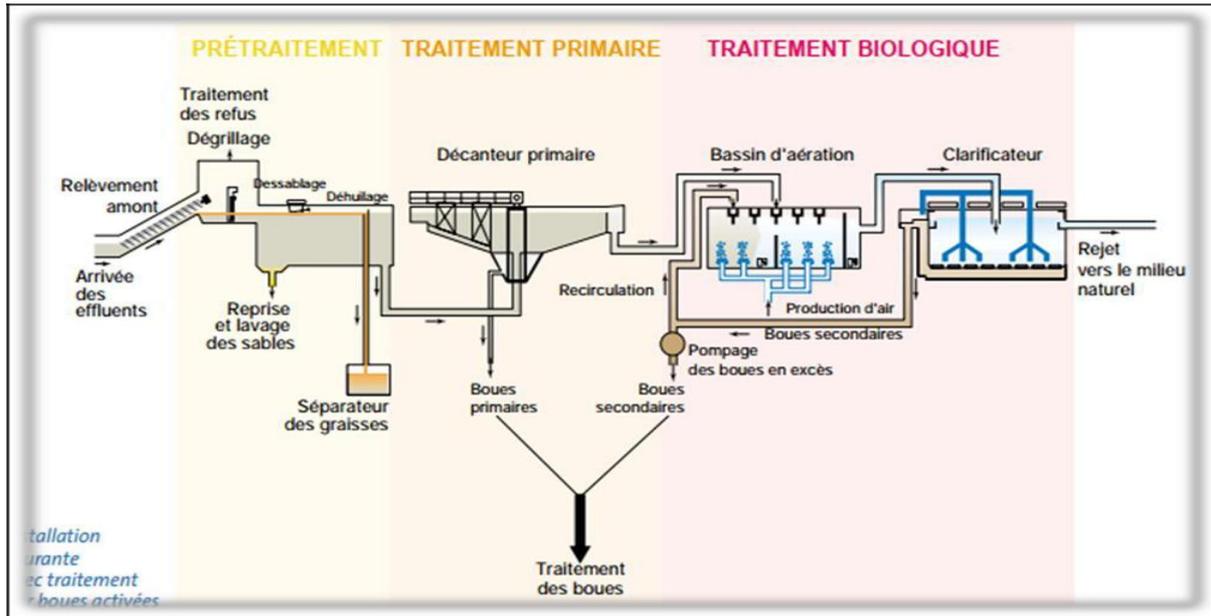


Figure 01 Etapes d'épuration (Tekfi ,2006).

2.3.1. Prétraitement

Les prétraitements permettent d'éliminer les éléments solides les plus grossiers par des procédés physiques tels que la sédimentation, la flottation et le tamisage et à préparer l'effluent au traitement biologique ultérieur (Attab, 2011).

Les traitements successifs sont illustrés dans la figure 02 et correspondent au dégrillage, dessablage et déshuilage.

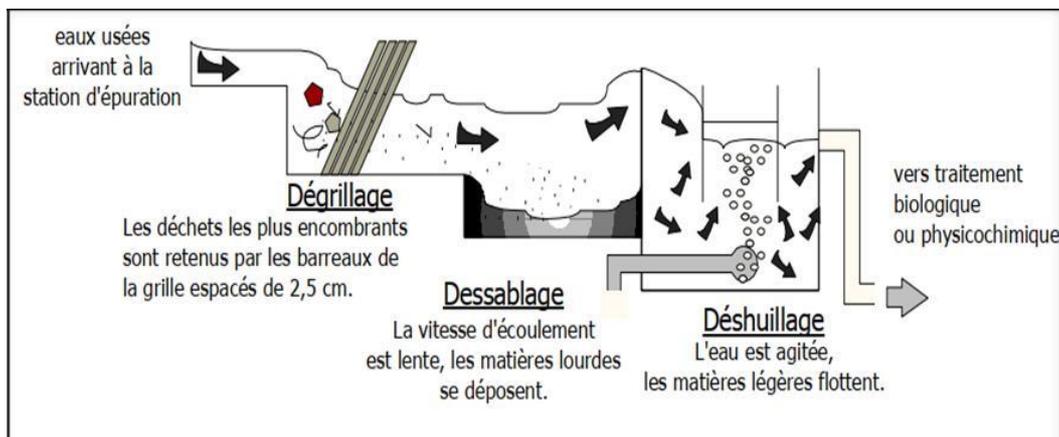


Figure 02 Etapes de prétraitement (Libes, 2010).

2.3.1.1. Dégrillage

Au cours du dégrillage, les eaux usées brutes passent au travers d'une grille dont les barreaux sont de moins en moins espacés, retiennent les éléments volumineux (chiffons, matière, plastique, etc.) et qui pourraient perturber le fonctionnement hydraulique de la station (Brame,

1986). Le tamisage peut compléter cette phase de prétraitement. Le nettoyage des grilles se fait par des moyens mécaniques ou manuels.

On distingue plusieurs types de grilles (Figure 03) selon l'espacement des barreaux:

- Un pré dégrillage : espacement de 30 à 100 mm
- Un dégrillage moyen : espacement de 10 à 25 mm
- Un dégrillage fin : espacement de 3 à 10 mm (Tekfi ,2006).



Figure 03 Types des dégrilleurs (Tekfi ,2006).

Les déchets récupérés par les grilles sont évacués par la suite vers une benne menue d'une vis spirale qui permet de pousser les bordures vers les lacs de décharges (figure 04).



Figure 04 Evacuation de déchets vers les bennes de décharge (Tekfi ,2006).

2.3.1.2. Dessablage – déshuilage

Le dessablage débarrasse les eaux usées des sables et des graviers par sédimentation. Ces particules sont ensuite aspirées par pompage ou par un dispositif d'insufflation d'air. Il existe deux principaux types de dessableurs, le dessableur à chambre de dessablage longitudinale et le dessableur circulaire. Les dessableurs des stations d'épuration doivent pouvoir retenir 80% des sables de diamètre supérieur à 200 μm (Tekfi ,2006).

Le dégraissage vise à éliminer les huiles et les graisses non dissoute contenues dans les eaux usées, qui peuvent gêner l'efficacité du traitement biologique qui intervient ensuite. Ce processus est principalement fondé sur le fait que les huiles et les graisses sont plus légères que l'eau ce qui provoque leurs remontés sous forme de mousse en surfaces de l'eau ou il est possible de les prélever à l'aide d'un racleur motorisé (Metahri, 2012).

Le dessablage et le dégraissage sont souvent associés simultanément dans des ouvrages combinés (dessableurs-dégraisseurs rectangulaires, dessableurs-dégraisseurs circulaires, dégraisseur rectangulaire avec aérateur mélangeur en tête) (Tekfi ,2006) ; (Vilaginès ,2003).

La figure 05 présente le dessableurs-déshuileurs d'une STEP.



Figure 05 Dessableur-déshuileur (Tekfi, 2006).

2.3.2. Traitement primaire

La décantation primaire ou floculation s'effectue dans des bassins de forme cyclonique, elle permet d'éliminer 70 % des matières minérales et organiques en suspension qui se déposent au fond du bassin où elles constituent les boues primaires. La décantation peut être améliorée par des flocculants (sulfate d'alumine, chlorure ferrique, agents de coagulation...) (Koller, 2004).

2.3.3. Traitement secondaire

Le traitement secondaire comprend deux phases, le traitement biologique et la clarification et vise à éliminer les matières minérales et organiques dissoutes dans l'eau ainsi que le dégazage de l'azote (Ramdani, 2007).

2.3.3.1. Traitements biologiques

L'épuration par voie biologique consiste à favoriser la prolifération de micro-organismes (bactéries et protozoaires) pour la décomposition des matières fermentescibles présentes dans les eaux et dans des conditions adaptées au résultat désiré (Menoret, 2001 ; Ramdani, 2007).

Elle participe activement à la reconstitution d'un écosystème simplifié et sélectionné par les bactéries et de protozoaires.

En fonction des conditions environnementales, on distingue deux modes de traitement biologique pour la décomposition de la matière organique, à savoir : Le traitement **aérobie** (réactions d'oxydation) assuré par des bactéries aérobies (Berland et *al.*, 200 ; Ouali, 2001) et le traitement **anaérobie** (fermentation) assuré par des bactéries anaérobies (Hadj-Sadok, 1999 ; Wallace, 2001 ; Pronost et *al.*, 2002).

En fonction de l'emplacement des bactéries épuratrices dans le bioréacteur, on distingue deux dispositifs, **un procédé à cultures fixes** et **un procédé à cultures libres**.

Procédé à cultures fixes

Dans le premier, les micro-organismes sont fixés sur des supports tels que les disques biologiques et les lits bactériens. Dans le cas des **disques biologiques**, le contact entre les eaux à traiter et les cellules épuratrices fixées sur des disques à demi immergés est assuré par rotation lente de ces supports autour d'un axe horizontal dans le mélange pollué. C'est-à-dire que la biomasse est mouillée constamment par les eaux résiduaires et aérée par l'air ambiant. Ces ouvrages sont peu coûteux en énergie et permettent d'augmenter les concentrations en biomasse (traitements intensifs), mais présentent des risques de colmatage ou d'émanation d'odeurs (Hadj-Sadok, 1999 ; Bolmstedt, 2000 ; Wallace, 2001 ; Pronost et *al.*, 2002). **Les lits bactériens** représentent un procédé aérobie à cultures fixées qui consiste à supporter les micro-organismes via des matériaux poreux. L'effluent est distribué par aspersion en surface et l'oxygénation est apportée de bas en haut par ventilation. L'affluent arrive par la partie supérieure alors que l'effluent est évacué par le fond afin de ne pas perturber la fonction aérobie. De ce fait, ce système nécessite un dispositif de relevage. Lorsque la biomasse qui se développe à la surface du support devient trop importante, la pellicule bactérienne se détache naturellement ; elle est alors séparée de l'effluent par décantation (Hadj-Sadok, 1999 ; Wallace, 2001 ; Pronost et *al.*, 2002).

Procédé à cultures libres

Dans le procédé à **cultures libres**, les micro-organismes sont maintenus en suspension dans le mélange à épurer. Ces dispositifs ont l'avantage d'un traitement plus homogène et une maîtrise des facteurs d'épuration comparés aux procédés à culture fixée producteurs d'odeurs (Hadj-Sadok, 1999 ; Bolmstedt, 2000 ; Wallace, 2001 ; Pronost et *al.*, 2002).

Lagunage

Le lagunage utilise la capacité épuratrice d'un étang ou de plans d'eau. Les eaux usées sont envoyées dans une série de bassins à différents régimes de fonctionnement mettant en œuvre une culture mixte algo-bactérienne vivant en symbiose. L'oxygène est apporté par les échanges avec l'atmosphère en surface. La disponibilité d'O₂ en zones plus profondes est assuré par l'activité photosynthétique des algues (qui elle-même dépend de la lumière solaire) et profitant du gaz carbonique ainsi que les nutriments inorganiques issus de la minéralisation de la pollution organique sous l'action des bactéries. Ce mode d'épuration permet d'éliminer 80 à 90 % de la DBO, 20 à 30 % de l'azote et contribue à une réduction très importante des germes. Il a cependant l'inconvénient d'utiliser des surfaces importantes. Les dépôts de boues au fond des bassins suffisamment profonds forment une couche anaérobie où ont lieu des processus de fermentation (Hadj-Sadok, 1999 ; Wallace, 2001 ; Pronost et *al.*, 2002).

2.3.3.2 Boues activées

Deux compartiments sont nécessaires pour ce système : Le bassin d'aération où les polluants biodégradables sont transformés par des micro-organismes en suspension. Les floccs formés dans le bassin d'aération sont par la suite conduits vers le clarificateur où sont séparés les solides de la phase liquide par décantation (Hadj-Sadok, 1999 ; Wallace, 2001 ; Pronost et *al.*, 2002).

2.3.3.3. Bulking (ou gonflement des boues)

Ce phénomène est dû à la prolifération d'un grand nombre de bactéries filamenteuses (*Sphearotilus*, *Thiothrix*) qui engendre la formation de floccs incapables de décanter (Pendolfi, 2006).

2.3.3.4. Elimination d'azote

L'azote organique se transforme dans les eaux usées en azote ammoniacal (NH₄⁺) et son élimination est obtenue grâce aux processus de « nitrification-dénitrification ».

La nitrification consiste en une conversion de l'ammoniac en nitrates (NO₃), une forme oxydée de l'azote. Elle est effectuée en deux étapes :

- Le NH₃ est d'abord oxydé en nitrites (NO₂⁻) par des bactéries du genre *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrospira* et *Nitrosolobus*, selon la réaction suivante :



- Les nitrites sont ensuite convertis par oxydation en nitrates (NO₃⁻) par des bactéries du genre *Nitrobacter* selon la réaction suivante :



La dénitrification est la réduction des nitrates en azote gazeux N₂.



Cette réaction est réalisée par des bactéries dénitrifiantes comme *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas denitrificans* (Crosclaude, 1999 ; Rejsek, 2002).

2.3.3.5. Elimination du phosphore

Elle concerne le traitement de déphosphoration qui peut être physico-chimique ou biologique, basée sur la capacité des micro-organismes à accumuler le phosphore au-delà de leurs besoins métaboliques (Villebrun, 1989).

2.3.3.6. Clarificateur

La clarification se fait dans des clarificateurs circulaires (décanteurs secondaires) et permet de séparer par décantation l'eau épurée des boues secondaires issues du traitement biologique (Anonyme, 2004).

2.3.4. Traitement tertiaire

Les eaux usées épurées destinées à une réutilisation sont sujettes à des traitements supplémentaires essentiels pour l'élimination des micro-organismes potentiellement dangereux pour la santé humaine (Edline, 1979).

2.3.4.1. Traitements chimiques et ultraviolets

Parmi les traitements chimiques les plus employés, la chloration et l'ozonation. La chloration consiste en l'utilisation du chlore pour l'élimination des microorganismes. Cependant, le chlore crée des dérivés halogénés potentiellement cancérigènes. La quantité de chlore utilisée dépend de l'efficacité des traitements de purification et de clarification en amont. L'ozonation permet une désinfection par élimination efficace des bactéries, des virus et des protozoaires (Lazarova et al., 2003).

Le traitement par rayons ultraviolets utilise des lampes à mercure disposées parallèlement ou perpendiculairement au flux d'eau. C'est un dispositif à mettre en œuvre et permet l'élimination des virus et des coliformes fécaux en une durée d'exposition très réduite (20 à 30 s) (Edline, 1979). Seules les formes de résistances, comme les œufs d'helminthes, ne sont pas affectées (Glanic and Benneton, 1989).

2.3.4.2. Filtration par membranes

Les membranes permettent de filtrer et d'éliminer les MES, les microorganismes et les substances qui s'y adsorbent (Baumont et *al.*, 2004). L'efficacité épuratrice d'une membrane dépend de son « seuil de coupure ». Un seuil de coupure de 0,035 μm permet de désinfecter de manière quasi-totale l'effluent. Par contre, les membranes sont coûteuses et leur entretien doit être régulier pour conserver leur efficacité (Lazarova et *al.*, 2003).

2.3.4.3. Lagunage tertiaire

Le lagunage tertiaire est un procédé extensif de désinfection similaire au lagunage secondaire, si ce n'est qu'il est précédé d'un traitement d'épuration comme par exemple un traitement par boues activées. Il permet d'éliminer les micro-organismes, affiner l'épuration, de faire face aux variations de flux et de protéger le milieu récepteur (Glanic and Benneton, 1989).

3. Boues activées

3.1. Définition

Les boues sont définies comme un mélange d'eau et de matières solides, séparées par des procédés naturels ou artificiels des eaux qui les contiennent (Anonyme, 2001). Les boues d'épuration sont des sédiments résiduels issus du traitement des eaux usées (Anonyme, 2008).

3.2. Types de boues

Il existe quatre types de boues, à savoir des boues primaires, des boues secondaires (boues biologiques, boues activées), des boues physico-chimiques et des boues mixtes, issues de différents procédés de traitement des EU comme il est schématisé dans la figure 06.

3.2.1. Boues primaires

Ces boues de traitement primaire, appelées boues fraîches, sont issues du décanteur primaire par décantation de MES contenues dans les eaux usées (Addou, 2009).

3.2.2. Boues activées

Elles sont obtenues à partir de procédés biologiques à cultures libres. Les microorganismes se développent en suspension dans des bassins alimentés en eaux à traiter et en oxygène par des apports d'air et sont, de ce fait, en contact permanent avec les matières polluantes à dégrader (Diakhate, 2010).

3.2.3. Boues mixtes

C'est un mélange de boues biologiques et de boues primaires généralement réalisé avant la stabilisation des boues (Addou, 2009).

3.2.4. Boues physico-chimiques

Elles ressemblent aux boues primaires. Cependant, durant le traitement, certains réactifs comme le sel de fer, d'aluminium, ainsi que d'autres agents de floculation y sont additionnés pour améliorer la décantation des particules fines (Canler et *al.*, 2014).

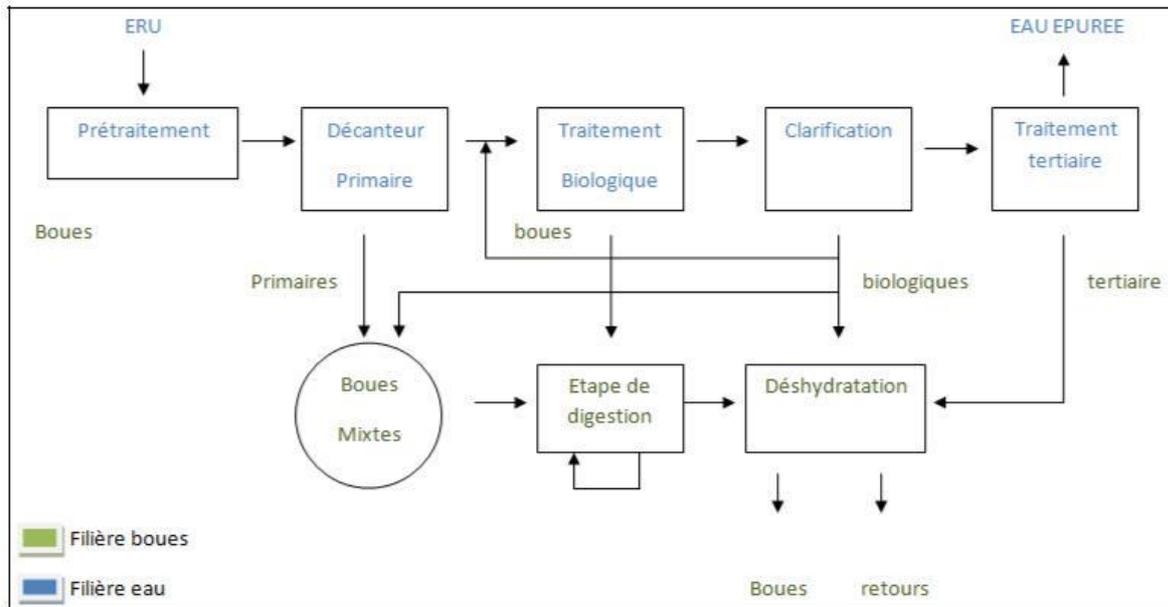


Figure 06 Production des boues au niveau d'une station d'épuration(Canler *et al.*, 2014).

3.3. Principe d'épuration

Ce procédé consiste à mettre en contact l'eau à épurer avec une forte concentration en microorganismes pour la biodégradation des composés organiques de l'eau, ce qui aboutit à la production de gaz carbonique, l'élimination d'autres composés tels que l'azote et le phosphate. Dans le bassin d'aération, les bactéries se trouvent en suspension sous forme de floccs bactériens formant un écosystème complexe avec des protozoaires et des métazoaires (Damotta, 2001). La biomasse épuratrice est par la suite séparée de l'eau épurée dans un clarificateur par simple décantation et les boues concentrées sont récupérées au fond de l'ouvrage. Ainsi, l'eau traitée se retrouve en sur verse. 97% environ des boues rejoignent la tête du bassin d'aération afin de maintenir une concentration stable et suffisante en biomasse alors que les 3% des boues en excès sont traitées spécifiquement (Damotta, 2001).

3.4. Formation des boues activées

Selon Bioma (2006), la formation des boues comprend essentiellement trois étapes : transfert, conversion et floculation.

3.4.1. Transfert

Le transfert de la matière organique vers les microorganismes se produit essentiellement par deux processus simultanés, à savoir l'absorption et l'adsorption (Bioma, 2006). La matière organique soluble est absorbée en passant directement à travers la membrane cellulaire. Les matières particulaires et colloïdales en suspension dans le liquide sont adsorbées sur la membrane cellulaire et transformées par dissociation des molécules, en matière soluble capable d'être absorbée par la cellule (Bioma, 2006).

3.4.2. Conversion

La conversion de la matière organique désigne le métabolisme cellulaire responsable de la dégradation des polluants organiques (Bioma, 2006).

3.4.3. Flocculation

Se traduit lorsque les microorganismes sont rassasiés et que leur activité diminue. Cette phase exige une eau calme, comme pendant la sédimentation (Bioma, 2006).

3.5. Composition microbiologique des boues

3.5.1. Microfaune

La microfaune est composée d'animaux microscopiques dont la taille est inférieure à 200µm (Davet, 1996). Elles sont composées principalement de protozoaires et de métazoaires. Ces organismes participent à l'élimination des bactéries libres par prédation, participant ainsi à la cohésion du floc par leurs déjections. Leur observation microscopique régulière, donne des indications quant à la qualité du traitement (Chergui et *al.*, 2016). Le tableau dans l'annexe 1 présente les fréquences d'apparition des éléments de la microfaune (Chergui et *al.*, 2016).

3.5.2. Microflore

Dans les boues activées, les bactéries rencontrées sont majoritairement aérobies facultatives, Gram négatif, mobiles et proviennent essentiellement du sol ou des eaux (Canler et *al.*, 2014).

3.5.2.1. Métabolisme bactérien

Dans des conditions bien déterminées, c'est-à-dire, une charge massique donnée, les bactéries n'utilisent qu'environ 50% de la pollution à traiter pour leur métabolisme (20% catabolisme et 30% anabolisme) le surplus étant stocké sous forme de sucres complexes (Canler et *al.*, 2014).

3.5.2.2. Processus métaboliques

Les principales relations au sein du peuplement biologique sont complexes et basées sur des relations de prédatons, de compétition qui peuvent être schématisées dans la figure 07 (Canler et *al.*, 2014).

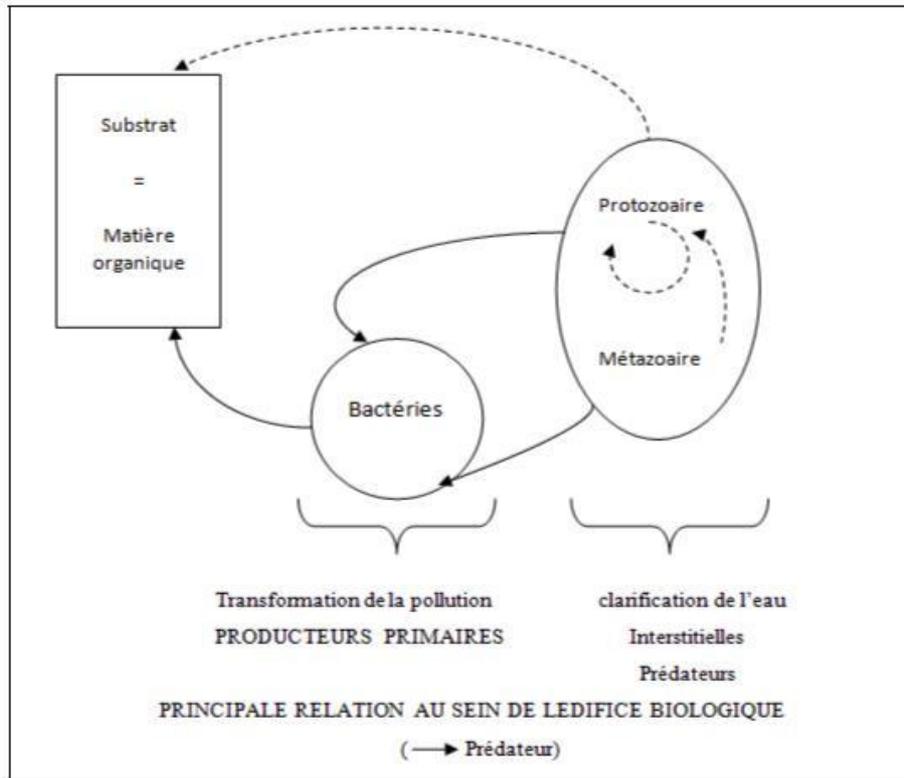


Figure 07 Relations entre les microorganismes de la boue activée (Canler *et al.*, 2014).

3.5.2.3. Floccs bactériens de boues activées

Dans les stations d'épuration à boues activées, les bactéries épuratrices sont majoritairement regroupées sous forme de floccs. Les bactéries filamenteuses jouent un rôle important dans la structure des floccs dont elles constituent le squelette. Les bactéries nitrifiantes, bien que présentes en minorités jouent un rôle essentiel puisqu'elles assurent l'oxydation de l'azote ammoniacal. Enfin, les exo-polymères sécrétés par les bactéries jouent un rôle dans la structuration des floccs et leurs propriétés physico-chimiques (Louvet-Noel, 2010).

3.6. Traitement des boues

Les boues récupérées proviennent généralement des traitements primaires, des bassins d'aération ou des décanteurs secondaires (Monod, 1989).

Le traitement des boues se déroule en trois étapes :

3.6.1. Épaississement

Il consiste à séparer gravitationnellement l'eau des particules de boues par décantation ou par flottation (Monod, 1989).

3.6.2. Stabilisation

Deux sortes de stabilisation peuvent être distinguées : anaérobie et aérobie. La stabilisation anaérobie élimine environ 50% de la matière oxydable sous l'action des micro-organismes anaérobiques, provoquant la diminution du poids des matières sèches et les germes pathogènes. Or, la stabilisation aérobie consiste à oxyder la matière organique des boues par des micro-organismes aérobies (Monod, 1989).

3.6.3. Déshydratation

La déshydratation est réalisée de façon naturelle, sur un lit de sable par filtration gravitaire et drainage, à qui s'en suit l'évaporation de l'eau de la surface. Ce phénomène dépend des conditions climatiques. La déshydratation mécanique consiste à la séparation des phases liquide-solide par dessiccation mécanique (Monod, 1989).

3.7. Destination finale des boues

L'incinération, la valorisation énergétique ou la valorisation agricole forment les trois destinations finales des boues déshydratées en fonction des propriétés économiques (Jocteur, 2001 ; Charlou, 2014).

3.7.1. Incinération

La destruction de la matière organique des déchets est réalisée par combustion à haute température (plus de 500 °C) ce qui engendre des fumées et des cendres. La chaleur produite est exploitée sous forme de vapeur ou d'électricité nécessaire au fonctionnement de l'incinérateur lui-même ou le chauffage urbain ou industriel (Prevot, 2000).

3.7.2. Valorisation énergétique

La valorisation énergétique (méthanisation ou pyrolyse) des boues, par la production d'énergie renouvelable (électricité, chaleur), participe à la protection de l'environnement (Anonyme, 1997).

3.7.3. Utilisation agricole

Les boues résiduelles sont d'un grand intérêt économique et contribuent à rééquilibrer les cycles biogéochimiques (C, N, P...) dans les sols agricoles. Leur recyclage s'inscrit dans une politique de développement durable et de protection de l'environnement en évitant tout gaspillage des matières organiques par incinération ou enfouissement dans les décharges ainsi que la réduction de l'emploi excessif d'engrais coûteux (Lambkin et *al.*, 2004).

3.8. Impacts des boues sur l'environnement

Les boues d'épuration sont considérées comme des déchets dangereux dans lesquelles se concentrent les métaux lourds et les composés organiques faiblement biodégradables ainsi que, des microorganismes pathogènes présents dans les eaux usées. Ces polluants peuvent modifier la composition du sol sur lequel ils sont adsorbés. Ces modifications sont influencées par des facteurs liés aux propriétés du sol récepteur (sol de décharge), le substratum de la décharge ainsi que des facteurs climatiques. Le transport et la mise en décharge de quantités importantes de boues d'épuration peut provoquer la dispersion de substances toxiques dans l'atmosphère (sulfure et azote) (Jocteur, 2001).

Partie expérimentale

4. Présentation de STEP

4.1. Situation géographique de la STEP

La Wilaya de Mila regroupe plusieurs stations d'épuration, parmi lesquelles figure la STEP (station de traitement des eaux polluées) d'Oued Athmania conçue pour l'épuration des eaux usées d'origine domestique et pluviales en provenance des deux communes Oued Athmania et Chalghoum Laid. La station d'épuration des eaux usées de la daïra de Chalghoum Laid est de type **Boues activées** à faible charge située à la sortie de la commune d'Oued Athmania. Elle s'étend sur une superficie de 06 Hectares avec une capacité de 45.000 équivalent/habitant et un débit de 9.000 m³/jour. Elle a été mise en service en avril 1997, et traite les eaux usées et Oued Athmania qui sont collectées par une station de relevage et celles de Chlaghoum Laid qui sont collectées par deux stations de relevage. Les eaux épurées sont alors déversées dans Oued Rhumel qui alimente le Barrage de Beni Haroun (Anonyme, 1995).

Comme il est illustré par la figure 08, la STEP est délimitée au nord par Oued Rhumel, à l'est par des terre agricole privée, l'ouest par Chaabat farrouj et au sud par la route nationale qui conduit vers Telaghma (Anonyme, 1995).



Figure 08 Localisation de la station d'épuration des eaux usées d'Oued Athmania(Google Earth).

4.1.1. Choix du site

L'emplacement de la station permet la collecte et le transport gravitaire des eaux usées ainsi que l'évacuation des sous-produits du traitement, à savoir, les boues déshydratées, le sable et les refus de grilles par rapport à une décharge contrôlée et aménagée (Anonyme, 1995).

4.2. Caractéristiques fonctionnelles et charge de pollution

Le tableau suivant représente la charge de pollution à l'entrée et à la sortie, et le rendement d'épuration de la STEP.

Tableau 08 Charge de pollution et rendement d'épuration de la STEP (Anonyme, 1995).

Paramètres	Entrée	Sortie	Rendement d'épuration
DBO ₅	2430kg/j 270mg/l	270kg/j 30mg/l	89%
DCO	6750kg/j 750mg/l	270kg/j 30mg/l	88%
MES	3150kg / j 350mg/l	810kg/j 90mg/l	91%

4.3. Filière de traitement

La filière eau regroupe les différents procédés de dépollution et de traitement des eaux usées depuis leur entrée à STEP jusqu'à leur sortie en passant par le prétraitement, le traitement secondaire et le traitement tertiaire.

4.4. Fonctionnement de STEP

4.4.1. Ligne d'eaux

Le type UNITAIRE du réseau d'alimentation en égout présente le désavantage en matière de limitation du débit vers la station. Ainsi, une fraction de débit supérieure à ces volumes caractéristiques passera sur le déversoir d'orage et ne sera donc pas admise à la station d'épuration (Bypass).

Le déversoir d'orage, montré dans la figure 09, et dont le dimensionnement est présenté dans le tableau 09, est situé au niveau d'un regard de la conduite d'amenée des eaux brutes (Anonyme, 1995).

Tableau 09 Dimensionnement du déversoir d'orage (Anonyme, 1995).

Longueur	11.0m
Largeur	1.5m
Longueur de déversoir	9.0m

4.4.2. Poste de Relevage

Les eaux admises au traitement sont orientées par une tuyauterie vers la station de pompage. Ces eaux brutes (EB) subissent un **dégrillage grossier** et sont relevées depuis des grilles mécanisées jusqu'à la sortie du bassin de chloration où elles sont rejetées vers l'Oued Athmania. Une grille grossière manuelle est installée en amont du pompage dont le rôle consiste à retenir les objets dont la taille pourrait nuire au bon fonctionnement des pompes (Anonyme, 1995).



Figure 09 Déversoir d'ouvrage.

4.4.3. Prétraitement

Les EB (Eaux Brutes) sont pompées à travers un canal de 1.2m de largeur aboutissant au poste de dégrillage composé de 3 grilles dont deux sont mécanisées et une troisième manuelle. Cet assemblage possède des communications hydrauliques directes avec le dessableur et le déshuileur. La lame de débordement d'extrémité de cet ouvrage impose la hauteur d'eau. Cette disposition est nécessaire pour obtenir en toutes circonstances des vitesses acceptables au droit des barreaux (Anonyme, 1995).

4.4.3.1. Dégrilleur grossier

Le dégrilleur grossier est placé dans le chenal d'arrivé des EB avant le relèvement. Ce dégrilleur est secouru par un deuxième canal de dégrillage muni d'une grille manuelle. Le dégrilleur grossier permet de débarrasser les effluents des déchets de taille supérieure à 50mm dans le but de protéger les pompes de relevage contre le colmatage (figure 10). Le dimensionnement est présenté dans le tableau 10. Le dégrilleur automatique est asservi au fonctionnement des pompes couplées à une détection de niveau en amont. Les refus de dégrillage grossier sont stockés dans une benne de stockage (Anonyme, 1995).

Tableau 10 Dimensionnement de dégrilleur grossier (Anonyme, 1995).

Profondeur du chenal	2.40m
Largeur de grille	1.00m
Largeur utile de la grille	0.80m
Forme des barreaux	0.10×0.50m
Ecartement entre les barreaux	0.50m
Débit max	1150m ³ /h



Figure 10 Dégrilleur grossier.

4.4.3.2. Dégrilleur fin

Après le dégrillage grossier et le relevage, les EB sont mélangées dans un ouvrage de répartition en amont et passent au travers d'une grille fine (figure 11), dont le dimensionnement est présenté dans le tableau 11, afin de retenir les déchets solides les plus petits. Deux grilles fines automatiques sont installées chacune dans un canal. L'espace entre les barreaux est de 20mm. Les dégrilleurs sont destinés à protéger l'ensemble des installations de l'accumulation de filasses et d'éléments flottants de faible volume (Anonyme, 1995).

Tableau 11 Dimensionnement de dégrilleur fin (Anonyme, 1995).

Profondeur du chenal	2.00m
Largeur de grille	0.80m
Largeur utile de la grille	0.53m
Largeur utile de la grille	0.20m
Ecartement entre les barreaux	0.1m
Débit max	770m ³ /h



Figure 11 Dégrilleur fin manuel.

4.4.3.3. Dessablage-Déshuilage

Le dessablage-déshuilage implique un ouvrage rectangulaire (figure 12) qui permet la décantation des résidus les plus denses (sable) et la flottation des déchets plus légers (graisses et déchets fins). L'élimination du sable prévient l'abrasion des équipements en aval. Par contre, l'élimination des graisses favorise le transfert d'oxygène dans le bassin d'aération. L'ouvrage, dont le fond est plat, est équipé d'un pont automoteur assurant le raclage de fond pour la reprise des sables et les graisses sur la surface par des pompes aéraitrices (Anonyme, 1995). Le dimensionnement de cet ouvrage est présenté dans le tableau 12.

Tableau 12 Dimensionnement de dessableur-déshuileur (Anonyme, 1995).

Nombre de dessableur-déshuileur	2m
Longueur	7.20m
Largeur	4.00m
Hauteur de l'eau	4.00m
Volume	82.8m ³



Figure 12 Dessableur-déshuileur.

4.4.3.4. Lits de sable

Pour le séchage du sable provenant des dessableurs, il existe deux compartiments appelés lits de sable (figure 13). Ces lits de sables sont équipés par un système de drainage perforé avec une couche de gravier pour l'évacuation des eaux d'égouttage (Anonyme, 1995). Leurs dimensions sont présentées dans le tableau 13.

Tableau 13 Dimensionnement du lit de sable (Anonyme, 1995).

Longueur	4m
Largeur	2m
Hauteur	0.60m
Capacité de stockage	9.6m ³



Figure 13 Lit de sable.

4.4.4. Traitements biologiques

4.4.4.1. Bassins d'aération

Deux bassins d'aération distincts sont rencontrés au niveau de la STEP (figure 14). Chaque bassin d'aération possède les dimensions présentées dans le tableau 14.

Tableau 14 Dimensionnement des bassins d'aération (Anonyme, 1995).

Longueur	48.0m
Largeur	16.0m
Hauteur des voiles	5.0m
Hauteur d'eau	4.8m
Capacité	4548m ²

Lorsque les eaux arrivent dans ces bassins, elles sont brassées avec la liqueur mixte et les boues de recirculation en provenance du décanteur secondaire. Les eaux prétraitées arrivent dans une goulotte frontale de répartition du débit total vers les deux bassins d'aération. La goulotte de répartition des deux déversoirs obturables est constituée d'une vannette à main située dans le sens d'écoulement. Cette disposition permet d'isoler en cas de nécessité l'un des deux bassins. Les eaux de vidange retournent en tête de station via le réseau d'égouttage interne. Ces eaux peuvent être recyclées ou évacuées vers l'Oued Rhumel (Anonyme, 1995).



Figure 14 Bassin d'aération.

Aération de surface

Chaque bassin d'aération est divisé en trois cellules (trois aérateurs par bassin). Ces cellules sont délimitées par deux voiles minces disposés dans le sens de largeur des bassins (Anonyme, 1995).

Contrôle de l'oxygène dissous

Chaque bassin d'aération possède une chaîne de mesure de l'oxygène dissous, constituée d'une électrode reliée à une oxymétrie, pour le pilotage des aérateurs de surface (Anonyme, 1995).

4.4.4.2. Clarificateur ou décanteur

La STEP renferme deux clarificateurs alimentés à partir des puisards de la goulotte de collecte via une tuyauterie. Ces ouvrages reçoivent la liqueur mixte et visent à séparer les boues de l'eau épurée (figure 15). Les caractéristiques du clarificateur sont présentées dans le tableau 15. Ainsi les boues se retrouvent sur le radier de l'ouvrage par décantation où elles sont raclées et ramenées au centre vers la poche à boues également raclée. Elles sont ensuite transférées par tuyauterie vers le poste de pompage équipé de vis de recirculation et de pompes à boues en excès. Les eaux clarifiées débordent dans une goulotte périphérique de surverse (Anonyme, 2015).

Tableau 15 Caractéristiques du clarificateur (Anonyme, 1995).

Nombre	2
Forme	Circulaire
Surface	415,3m ²
Volume utile	1.439m ³
Longueur de déversoir	72.26m
Hauteur de l'eau au centre	5m



Figure 15 Clarificateur.

4.4.5. Traitement tertiaire

La désinfection consiste à détruire les germes pathogènes des effluents par un agent oxydant, le chlore (Anonyme, 1995).

4.4.5.1. Poste de recirculation des boues secondaires

La recirculation des boues secondaires vers le bassin d'aération est nécessaire pour maintenir une concentration en bactéries épuratrices relativement constante et suffisante pour obtenir des rendements épuratoires requis. Dans cette optique, des boues activées sont reprises au fond du clarificateur où elles s'épaississent à environ 10g/l puis sont réinjectées en tête des bassins d'aération comme il est montré sur la figure 16 (Anonyme, 1995).



Figure 16 Epaississeur.

4.4.6. Lits de séchage

La déshydratation des boues sur des lits de séchage consiste en une filtration naturelle par gravité et séchage à l'air de la boue. Ainsi la déshydratation naturelle de la boue se déroule en deux phases.

- a. Dans la première phase, la plus grande partie de l'eau interstitielle s'infiltré rapidement sans entrave vers le fond du lit, pendant un jour.
- b. La seconde phase consiste en un séchage à l'air par évaporation qui peut durer une ou deux semaine en fonction de la saison (Anonyme, 1995).

Le fond d'un lit de séchage est constitué de diverses couches de matériaux avec une échelle granulométrique décroissante de bas en haut, sur une épaisseur de 60cm, allant de pierres et cailloux jusqu'aux matériaux les plus fins au fur et à mesure que l'on se rapproche de la surface. Dans le fond du lit, l'eau filtrée est évacuée grâce à une tuyauterie vers le réseau de drainage et donc en tête de station (Anonyme, 2015).

La figure 17 montre les lits de séchage de la STEP dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau 16.

Tableau 16 Caractéristiques de lit de séchage (Anonyme, 1995).

Nombre	10
Longueur	28m
Largeur	10m
Hauteur de la boue	0.60m



Figure 17 Lits de séchage.

4.5. Traitement biologique par boues activées

Trois types de boues sont présentés dans la STEP, à savoir des boues primaires, des boues secondaires (boues biologiques /boues activées) et des boues tertiaires, issues de différents procédés de traitement des EU (figure 18) et dont les principales caractéristiques sont résumées dans le tableau 17.

Tableau 17 Caractéristiques de boues de STEP (Amorce, 2012).

Type de Boue	Boues biologiques (boues secondaires ou boues activées)
Origine	Traitement biologique secondaire
Composition Et siccité	Composés organiques avec un petit pourcentage de composés inorganiques
	Boue granulaire de couleur brun-jaunâtre

4.5.1. Procédés de traitement par boues activées

Le procédé de traitement par boues activées de la STEP est résumé dans le schéma de la figure 18. Il implique :

- Un bassin d'aération, où l'oxygène (utilisé comme capteur d'électrons), l'eau épurée (contenant des matières susceptibles d'être oxydées) et les microorganismes épurateurs sont mis en contact.
- Un système de brassage et d'oxygénation pour le bassin, deux fonctions souvent couplées, fournissant à la fois l'oxygène pour les réactions métaboliques, maintenant les boues en suspension et assurant un bon contact entre l'eau et les microorganismes.
- Un clarificateur, où l'eau épurée est séparée des boues.

•Un système de recirculation et d'extraction de boues (Damotta, 2001 ; Canler et al.,2014).

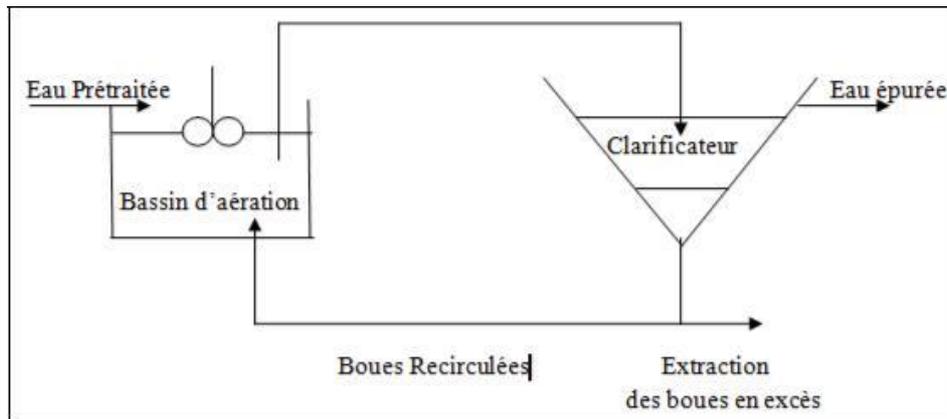


Figure 18 Système de traitement par boues activées (Canler et al.,2014).

4.5.2. Composition microbiologique des boues

La microflore de la STEP contient principalement espèce *Zoogloae ramigera* mais aussi des bactéries appartenant aux genres : *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Cytophaga*, *Flavobacterium*, *Aeromonas*, et la famille des *Enterobacteriaceae* (Edline, 1979).

4.6. Facteurs liés à l'épuration biologique

Le fonctionnement des boues activées et l'efficacité d'un traitement biologique sont définis par différents paramètres, tels que : la charge massique, la charge volumique et l'âge des boues (Louvet-Noel, 2010).

4.6.1. Charge massique (Cm)

La Cm est déterminante pour le bon fonctionnement de la boue activée, ainsi que :

- Le rendement épuratoire
- La production de boues
- Le degré de stabilisation de boues produites en excès
- Les besoins en oxygène ramenés à la pollution éliminés (Sahtout, 2012).

Elle est calculée par le rapport suivant :

$$Cm = \frac{DBO_5 \text{ entrée}}{V \text{ [MVS bassin]}}$$

Où :

DBO₅: Masse de DBO apportée par jour (kg/j)

V : Volume du bassin d'aération (m³)

[MVS bassin] : Concentration nominale de MVS dans le bassin d'aération (g/L).

4.6.2. Charge volumique (Cv)

Elle correspond à la masse de polluant arrivant chaque jour sur la station par unité de volume du réacteur. Cette donnée permet d'évaluer le volume du bassin mais n'a aucune signification biologique (Sahtout, 2012). Elle est calculée en Kg d'O₂/ (m³.J) comme suit :

$$C_v = Q_0 \cdot DBO_5 / V$$

Où : **Q₀**: débit journalier d'effluent à traiter (m³.J)

4.6.3. Age des boues (A)

L'âge des boues (A) correspond au rapport de la quantité de boues présentes, en kg MS., dans le bassin d'aération (S) sur la quantité de boues en excès (E) à évacuer par jour, en kg MS/j. Il donne une idée sur la présence ou l'absence de germe de nitrification (Anonyme, 2010).

Un âge de boues élevé témoigne d'un bon développement favorable à l'élimination de la pollution. Il est calculé comme suit :

$$A = S/E = VBA \times \{MS\}_{BA} / QE \times \{MS\}_E$$

Où :

VBA : Volume du bassin d'aération (m³)

{MS}_{BA} : Concentration de boues activées en kg /m³ en MS (Matières sèches)

QE : Débit journalier (m³/j) d'extraction des boues

{MS}_E : Concentration des boues en excès en kg/m³ MS

4.7. Destination finale des boues

Jusqu'à présent il n'existe aucun moyen de valorisation des boues de la STEP. Bien que cette action est importante aussi bien sur le plan économique qu'environnemental. De ce fait, les boues sont déversées dans des décharges spéciales. La valorisation des boues nécessite des dispositifs de filtration et de contrôle de certains composés ou sous-composés toxiques et potentiellement dangereux comme les métaux lourds et les composés organiques faiblement biodégradables ainsi que les microorganismes pathogènes présents dans les eaux usées.

5. Matériels et Méthodes

L'analyse de l'eau brute et épurée de la STEP de Oued Athmania commence par le prélèvement d'un échantillon d'eau. L'analyse des paramètres physico-chimiques mesurés sont : la température, le pH, les MES, la DOB₅, le dosage des nitrates (NO₃⁻), le calcul de l'indice des boues (Ib, V₃₀) et la siccité. Ces paramètres sont importants pour évaluer la conformité de l'eau épurée vis-à-vis des normes avant son rejet dans la nature.

5.1. Analyse des eaux usées

5.1.1. Echantillonnage

L'échantillonnage est effectué à partir de l'eau brute au niveau de l'entrée de la STEP des eaux usées et à partir de l'eau épurée au niveau de la sortie des eaux épurées déversées vers l'Oued Rhumel.

En ce qui concerne l'eau brute, un prélèvement de 200 ml est effectué à 9h00, puis à 11h00 et à 13h00, sur lesquels on mesure la température et le pH individuellement puis leur moyenne. Les 600ml qui résultent du mélange de ces trois prélèvements sont analysés une seconde fois à 13h00. Par contre, un seul prélèvement d'eau épurée est effectué à 13h00 et est analysé avec l'échantillon d'eau brute (Anonyme, 1995).

Le tableau 18 présente les fréquences d'analyses de la STEP en fonction de la disponibilité des réactifs. Les analyses qui ne sont pas effectuées sont le NTK et NH₄⁺.

Tableau 18 Fréquences d'analyses (Anonyme, 1995).

T° - pH – MES	Quotidiennement
NO ₃ ⁻	Dimanche et Mardi
NO ₂ ⁻	Lundi et Mercredi
PO ₄ ⁻³	Dimanche et Mercredi
DBO ₅ et DCO	Dimanche, Lundi et Mercredi
Siccité de boue	Dimanche et Mercredi

5.1.2. Techniques d'analyse des eaux usées

5.1.2.1. Température

La mesure de la température de l'échantillon est effectuée à l'aide d'un thermomètre digital. L'électrode est introduite sans immersion totale dans l'échantillon à analyser et la lecture est instantanément affichée sur l'écran (Anonyme, 1995).

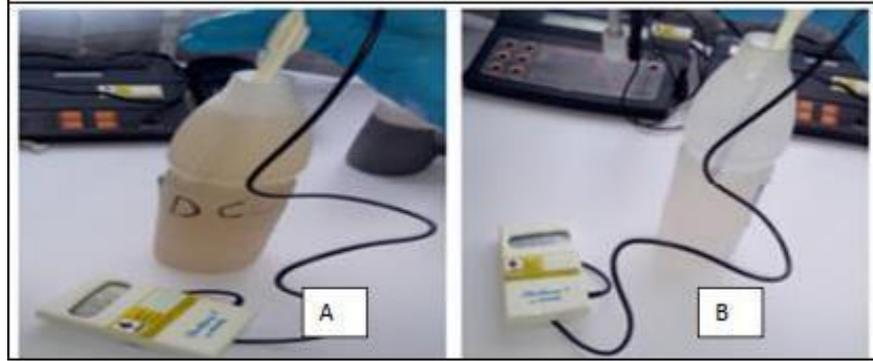


Figure 19 Mesure de la température

5.1.2.2. Potentiel hydrogène

L'étalonnage du pH mètre, effectué avec des solutions étalons pH=4 et pH=7, est important pour prélever les valeurs exactes du pH dans un échantillon d'eau. Il est important également de mesurer la température en même temps car le pH est susceptible de varier en fonction de la température. Lorsque cette dernière se stabilise, on calibre le pH mètre sur la valeur de l'étalon. Cette étape est également effectuée lors de la mesure du pH de l'échantillon d'eau à analyser. L'électrode doit être rincée avant chaque utilisation et pendant l'étalonnage (Anonyme, 1995).

5.1.2.3. Matière en suspension (MES)

On analyse chaque paramètre avec une longueur d'onde préalablement déterminée dans le programme du spectrophotomètre. Ci-dessous le tableau qui résume les longueurs d'onde utilisées.

Tableau 19 Tableau des longueurs d'ondes (Anonyme, 1995).

Paramètre	Longueur d'onde (nm)
MES	630
NO ₂ ⁻	371
NO ₃ ⁻	355
PO ₃ ⁻⁴	490
DCO (0-150ppm) E. Epurée	330
DCO (0-1500ppm) E. Brute	435
Pt	541
NH ₄ ⁺	343

Le volume de 10ml d'eau à analyser (épurée ou brute) ainsi que de l'eau distillée (le blanc qui correspond à la valeur zéro) est déposé dans des cuves rondes et lu au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 630nm (Anonyme, 1995). Les valeurs sont exprimées directement en mg/l.

Rendement épuratoire

Le rendement de la filière eau traduit la réduction de la concentration en micropolluants entre l'entrée et la sortie d'une station, ou d'une étape du traitement. Ce descripteur prend en compte le piégeage des micropolluants des matières en suspension (MES) de l'eau brute (Choubert et *al.*, 2011).

$$R = (F_{\text{EAU BRUTE}} - F_{\text{EAU EPUREE}}) / F_{\text{EAU BRUTE}} \times 100$$

5.1.2.4. Dosage des Nitrate NO₃⁻

Un volume de 2ml de chaque échantillon d'eau (épurée et eau brute) est dilué dans 8ml l'eau distillée. Le réactif NITRA-VER05 est par la suite ajouté dans chaque tube. La solution est agitée pendant une minute puis gardée à température ambiante pendant 05 minutes. La lecture s'effectue par le spectrophotomètre à une longueur d'onde de 355nm. La valeur est multipliée par le facteur de dilution (Anonyme, 1995).

5.1.2.5. DBO₅ : Demande biochimique en oxygène au bout de 5jours.

Le principe consiste à incuber à 20°C pendant une heure, sous agitation permanente, des échantillons de 164ml d'eau brute et 365ml d'eau épurée dans deux flacons ouverts d'une capacité de 500ml. Par la suite, l'inhibiteur de dénitrification ainsi que 3 pastilles de NaOH (Hydroxyde de sodium) sont ajoutés aux échantillons dans deux cupules en caoutchouc. Les flacons sont fermés par les calculateurs Oxitop. Les échantillons sont incubés de nouveaux pendant 5 jours (figure 20).

La valeur de la DBO₅ est affichée directement en mg/l et est, de ce fait, prélevée chaque 24 heures pendant les 5 jours d'incubation (Anonyme, 1995).

Pour l'échantillon de 164ml, la valeur mesurée est multipliée par 10.

Pour l'échantillon de 365ml, la valeur mesurée est multipliée par 02.

Calcul du rendement

Le rendement est calculé comme suit :

$$R = (F_{\text{EAU BRUTE}} - F_{\text{EAU EPUREE}}) / F_{\text{EAU BRUTE}} \times 100$$



Figure 20 Dispositif de mesure de la DBO₅.

5.2. Analyse des boues

5.2.1. Volume des boues V₃₀

Le volume de boue V₃₀ est le volume (en ml) qu'occupe la boue activée après décantation ininterrompue de 30min dans une éprouvette verticale transparente (Anonyme, 1995). Le volume décanté V₃₀ mesuré, doit impérativement être inférieur à 300ml, ce qui implique une dilution préalable de la boue par de l'eau épurée avant la réalisation du test (figure 21) (Anonyme, 1995).

Le V₃₀ est alors calculé comme suit :

$$V_{30} = V_{30 \text{ mesuré}} \times \text{dilution.}$$



Figure 21 Mesure de V₃₀.

5.2.2. Indice des boues

L'indice des boues est calculé comme suit :

$$I_b \text{ (ml/g)} = V_{30} / [\text{MES}]$$

5.2.3. Matière sèche MS à 105°C

La teneur en matières sèches inclut à la fois les matières en suspension et les sels dissous. Elle est exprimée en pourcentage par rapport au poids de l'échantillon. Le résidu sec est utilisé aussi pour déterminer la siccité de la boue (exprimée en %).

La méthode de mesure consiste à faire sécher, à l'étuve à 105°C, un échantillon de boue jusqu'à obtention d'une masse constante (généralement au bout de 24h).

La matière sèche **MS BA1, BA2** est mesurée sur des échantillons de 250ml prélevés au niveau de chaque bassin d'aération (BA1 et BA2) et de 100ml de boues re-circulées (10min après la mise en marche du vis d'Archimède) (Anonyme, 1995).

La matière sèche épaisse (**MS épaisse**) est réalisée par séchage de 50g des boues prélevées au niveau de l'épaississeur, préalablement pesées dans un creuset. La détermination de la MS est réalisée par comparaison du poids sec par rapport au poids humide (Anonyme, 1995).

La **siccité des boues** est le pourcentage massique de matière sèche dans un échantillon de boue prélevé au niveau des lits de séchages (figure 22) (Anonyme, 1995). La siccité est calculée comme suit :

$$\text{Siccité} = (M2 / M1) \times 100$$

Où M1 correspond à la masse de l'échantillon humide et M2 à sa masse après séchage.



Figure 22 Mesure de la siccité.

6. Résultats et Discussion

L'analyse de la qualité des eaux usées brutes et épurées est effectuée par le suivi des paramètres physico-chimiques et biologiques. L'étude empirique a été réalisée par le traitement des données analytiques représentatives d'un semestre à partir du 01 Janvier jusqu'au 30 Juin 2020. Ces données concernent les échantillons d'eaux usées prélevés à l'entrée (point de prélèvement d'eau brute) et à la sortie de la station (point de prélèvement d'eau épurée). L'analyse de ces données et leur comparaison aux normes de rejet présentées dans le Manuel de la STEP permet d'évaluer les performances de la station d'épuration Chalghoum Laid Oued Athmania en matière de réduction du niveau de la pollution de l'eau.

Certains paramètres physiques et chimiques impliquent un suivi quotidien, tels que la température, le pH, et les MES. D'autres, par contre, nécessitent un suivi mensuel, tels que la DBO₅ et le dosage du NO₃⁺. Cependant, dans ce modeste travail, nous avons présenté les intervalles indiquant les valeurs minimales et maximales représentatives de chaque paramètre durant tout le mois et pour les six mois de suivi.

6.1. PH

Les résultats de pH prélevés sur l'eau brute et épurée entre le mois de Janvier et Juin 2020 sont présentés dans le tableau 20.

Tableau 20 Variation du pH à l'entrée et la sortie de la STEP (Janvier-Juin 2020).

Mois	pH entrée	pH Moyenne EB	pH sortie	pH Moyenne EE	Norme de rejet
Janvier	[7.81-7.88]	7.84	[7.58-7.81]	7.45	[6.5-8.5]
Février	[7.61-7.93]	7.85	[7.55-7.64]	7.62	
Mars	[7.83-7.90]	7.93	[7.63-7.65]	7.90	
Avril	[7.77-7.82]	7.70	[7.61-7.64]	7.58	
Mai	[7.84-8.30]	7.87	[7.71-7.80]	7.85	
Juin	[7.76-7.99]	7.83	[7.62-7.73]	7.71	

Le pH demeure un paramètre important à prendre en considération lors du traitement des eaux usées. Ainsi, le pH joue un rôle important dans l'épuration biologique d'un effluent et dans la prospérité des microorganismes responsables du traitement biologique ainsi que leur métabolisme. Par exemple, la nitrification n'est optimale que lorsque le pH est compris entre 7,5 et 9.

D'une manière générale, l'eau brute à l'entrée de la station présente un pH compris entre 7.70 à 7.93 avec une moyenne de 7.82. En ce qui concerne les eaux traitées, à la sortie de la STEP, on constate qu'elles présentent un pH compris entre 7.45 à 7.90 avec un pH moyen de 7.71. On remarque que le pH de l'eau traitée est légèrement inférieur à celui de l'eau brute. Cette

diminution est due à une formation d'acide carbonique (H_2CO_3) dans l'eau lors du traitement biologique. Cependant, les valeurs obtenues sont incluses dans l'intervalle préconisé par le journal officiel de la République Algérienne et les normes de l'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (Anonyme, 1995 ; FAO, 2003 ; Anonyme, 2006). D'autant plus que les valeurs du pH enregistrées sont favorables à la croissance et à la survie de la microfaune et de la microflore aquatique et le dépérissement rapide des virus (OMS, 2012).

6.2. Température

Les résultats de la variation de la température de l'eau brute et de l'eau traitée enregistrés entre le mois de Janvier et mois de Juin sont regroupés dans le tableau 21.

Tableau 21 Variation de la température de l'eau brute et de l'eau épurée (Janvier-Juin 2020).

Mois	T (°C) à l'entrée	T (°C) Moyenne EB	T (°C) à la sortie	T (°C) Moyenne EE	Norme (°C)
Janvier	[10.7-12.0]	11.25	[9.2-10.5]	9.73	30
Février	[10.9-13.5]	12.61	[10.5-12.0]	11.19	
Mars	[11.5-14.5]	13.50	[11.0-12.7]	14.00	
Avril	[12.5-15.0]	14.68	[12.1-13.0]	14.68	
Mai	[19.2-20.7]	19.42	[18.5-19.5]	19.24	
Juin	[19.5.-22.0]	19.90	[19.0-21.0]	19.46	

T : Température, EU : Eaux usées, EE : Eaux épurées.

Les températures des eaux brutes enregistrées sont comprises entre 11.25 à 19.9°C avec une moyenne de 15.22°C. Par contre, celles enregistrées pour les eaux traitées varient de 9.73 à 19.46°C avec une moyenne de 14.66°C, ce qui indique un refroidissement considérable de l'eau après l'épuration par le traitement biologique. Cependant, les valeurs enregistrées ne dépassent pas le seuil indiqué pour le rejet des eaux résiduaires (Anonyme, 1995 ; OMS, 2006 ; Anonyme, 2006). Le suivi de ce paramètre est très important, car il influence d'autres paramètres (effet domino), tels que la conductivité électrique (directement proportionnelle), pH (inversement proportionnelle) et l'oxygène dissous (inversement proportionnelle), ainsi que la prolifération des microorganismes épurateurs, la dégradation et la minéralisation de la matière organique.

Au niveau des stations d'épuration la température des eaux usées agit sur l'efficacité des procédés de traitement. Ainsi, la nitrification et la dénitrification sont optimales lorsque la température est comprise entre 28°C à 32°C. Elles sont par contre réduites lorsque les températures sont comprises entre 12°C à 15°C et s'arrêtent complètement pour des températures inférieures à 5°C (Mettahri, 2012). Selon cette logique, l'eau traitée au niveau de la STEP ne représente aucun risque pour l'utilisation agricole.

6.3. Matière en suspension

Les résultats MES mesurés à l'entrée et la sortie de la STEP ainsi que le rendement d'épuration sont représentés respectivement dans les figures 23 et 24.

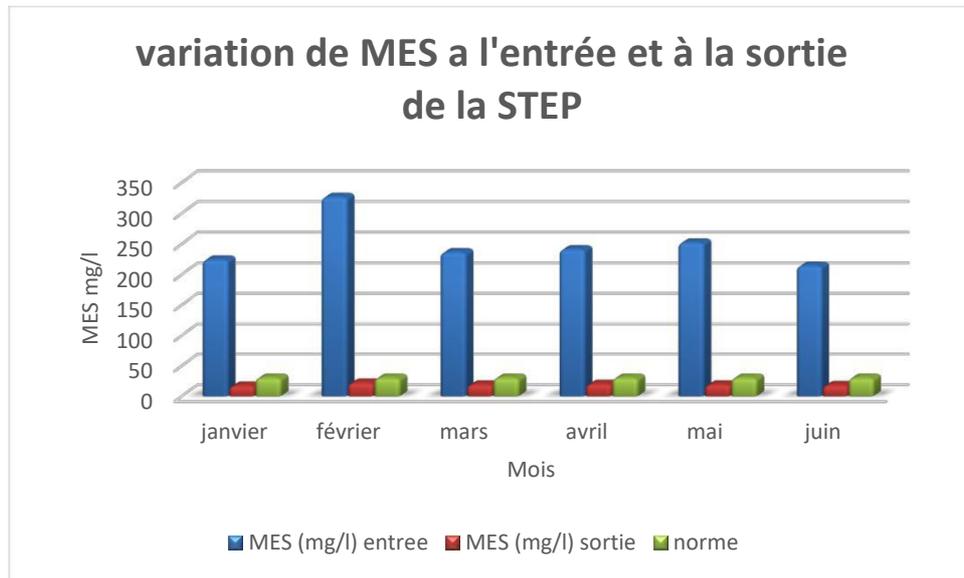


Figure 23 Variation de MES à l'entrée et à la sortie de la STEP.

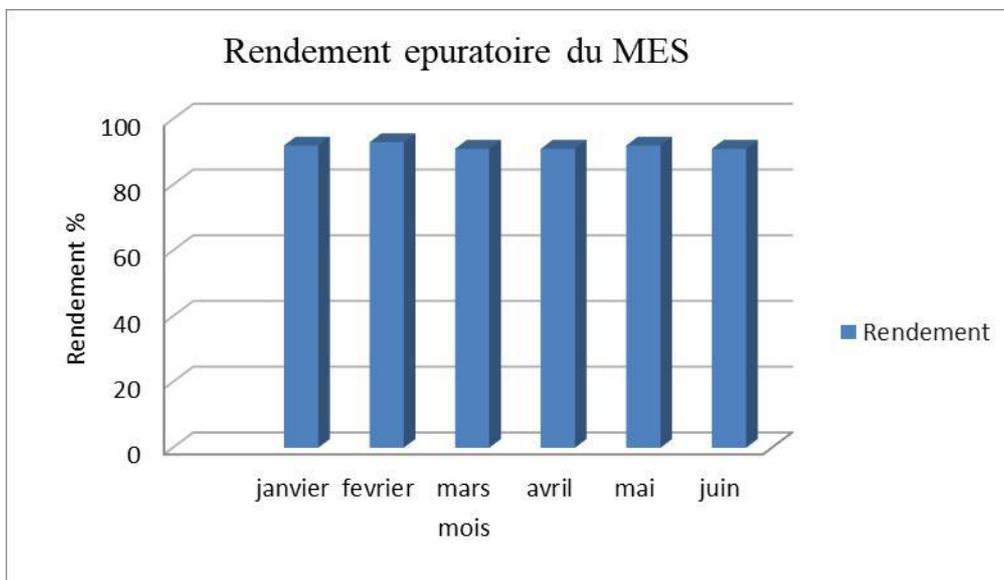


Figure 24 Rendement épuratoire du MES.

L'observation de l'évolution des MES indique une diminution considérable dans leur quantité. La concentration de MES à l'entrée de la station est comprise entre 326.25 mg/l et 214 mg /l avec une moyenne de 248,83 mg/l. Ces valeurs peuvent s'expliquer par des ruissellements qui enrichissent les eaux usées en polluants. En aval de la STEP, la

concentration de MES est comprise entre 16 mg/l et 21 mg/l avec une moyenne de 19,14 mg/l. Elle est de ce fait inférieure à la valeur limite de la norme de rejet (Anonyme, 1995).

Les MES sont liées aux propriétés physico-chimiques de l'eau, et plus précisément à la turbidité de l'eau et indiquent le degré de pollution d'un effluent (Bourrier et *al.*, 2010). Ainsi, leur présence est susceptible de modifier la turbidité des eaux résiduaires et la réduction de leur transparence (El-Morhit, 2009). L'élimination de ces matières en suspension constituées de 30 % de matières organiques est nécessaire. Elle est effectuée par l'emploi de coagulants chimiques dans les bassins d'aération. Les particules qui y sont présentes, chargées négativement, ont tendance à se repousser mutuellement et à se maintenir en suspension. Les coagulants ont pour effet de neutraliser ces charges, de permettre leur agglomération et de rendre possible la séparation des particules avec l'eau par décantation (Bechac et Boutill, 1987). Les matières en suspension, à des concentrations ne dépassant pas les normes de rejet, sont bénéfiques pour les cultures et interviennent dans l'évaluation de la production des boues en excès (Bechac and Boutill, 1987 ; OMS, 2006). Le rendement d'épuration de MES de la STEP est de 91% à 93% avec une moyenne de 92%. Ces taux, étant supérieurs à la norme de rejet, montrent que la STEP traite efficacement la pollution organique (Anonyme, 1995).

6.4. Nitrates

Les résultats de Nitrates dosés pendant le premier trimestre de l'année 2020 (Janvier-Mars) sont présentés dans le tableau 22.

Tableau 22 Résultats de N-NO₃.

Mois	N-NO ₃ (mg/l) entrée	N-NO ₃ (mg/l) sortie	Norme (mg/l)
Janvier	3.50	1.70	10
Février	4.40	1.40	
Mars	5.10	1.10	
Avril	ND	ND	
Mai	ND	ND	
Juin	ND	ND	

ND : Non déterminé.

Les nitrates dosés dans l'eau brute à l'entrée de la station varient entre 3.5 à 5.10 mg/l avec une moyenne de 4.33mg/l. Par contre, les concentrations de nitrates enregistrées à la sortie de la STEP (eaux traitées) varient entre 1.10 à 1.70 mg/l avec une moyenne de 1.40 mg/l. Ces valeurs se révèlent inférieures à la norme (Anonyme, 1995).

Les nitrates sont issus de l'oxydation de l'azote organique dans l'eau par les bactéries. Ces composés ne sont pas toxiques pour l'environnement, mais des teneurs élevées en nitrates

dans l'eau provoquent l'eutrophisation (prolifération d'algues) du milieu dans lequel ces eaux sont déversées. En aquaculture, les nitrates ne constituent pas un paramètre décisif étant très peu toxiques pour la vie aquatique (sauf en aquaponie pour les plantes). La consommation régulière d'eau potable contaminée par des nitrates ne présente pas de toxicité aigüe. Cependant, le danger potentiel reste néanmoins relatif à leur réduction en nitrites. Ainsi, l'accumulation de nitrites dans les tissus provoque une toxicité chronique et augmente le risque de développer un cancer (Anonyme 2, 2017 ; Rodier, 2005). La diminution des NO₃ est due à leur transformation en azote gazeux (N₂) ou atmosphérique, en présence de bactéries hétérotrophes et en absence totale d'O₂ dissous (dénitrification). Ce phénomène est observé en zone d'anoxie au niveau du traitement biologique et nécessite une température idéale, une concentration de substrat suffisante et un pH neutre. La diminution des NO₃ indique une efficacité non négligeable du traitement de la STEP (Duronzier et *al.*, 2001).

6.5. DBO₅

Les résultats de la DBO₅ mesurés pendant six mois sur l'eau brute et épurée, c'est-à-dire sur des échantillons d'eau prélevés à l'entrée et à la sortie de la STEP ainsi que les valeurs normales sont présentés dans la figure 25.

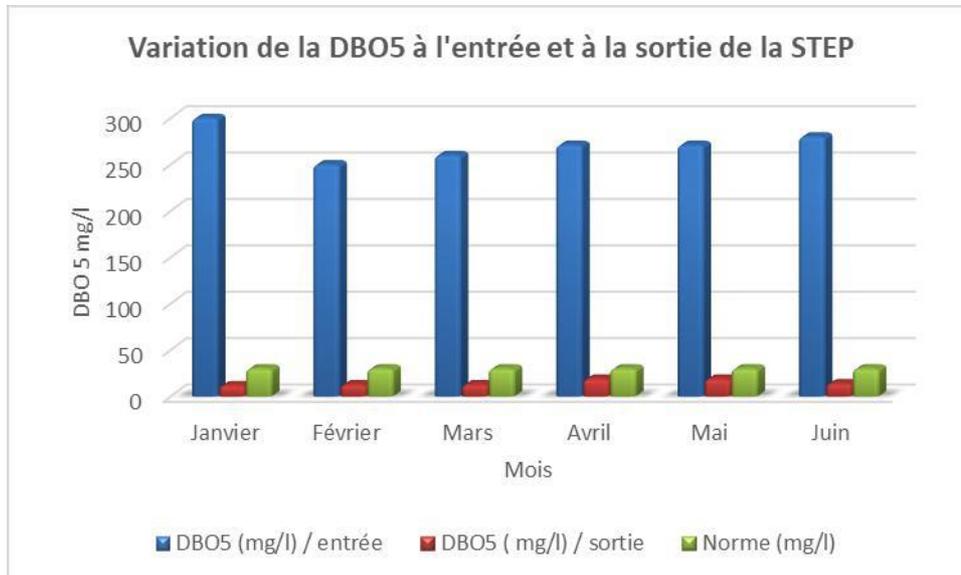


Figure 25 Variation de la DBO₅ à l'entrée et à la sortie de la STEP (Janvier-Juin 2020). Les données estimées révèlent que l'eau brute à l'entrée de la station présente des DBO₅ variables entre 250 mg/l et 300 mg/l avec une valeur moyenne de 272 mg/l. Cette variation est due à un surcroît de la charge organique biodégradable dans les eaux brutes en amont. En revanche, on constate que les mesures de DBO₅ à la sortie de la STEP (eaux traitées) c'est-à-dire en aval du processus de traitement, sont décroissantes et varient entre 12 mg/l et 19 mg/l

avec une valeur moyenne de 15 mg/l. Ces valeurs sont clairement inférieures à la norme (Anonyme, 1995).

Le rendement d'épuration représenté par le pourcentage de réduction de la DBO₅ calculé en aval est illustré dans la figure 26.

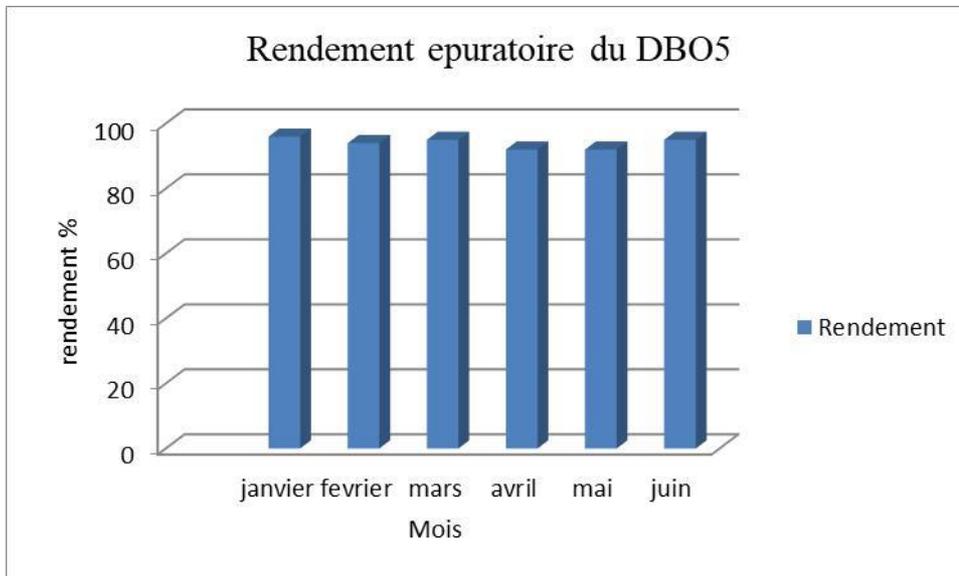


Figure26 Rendement épuratoire du DBO₅

Les taux de réduction de la DBO₅ calculés en aval sont compris entre de 92% et 96% avec une moyenne de 94%. Ces taux de réduction sont largement supérieurs à ceux mentionnés dans le manuel de la STEP (Anonyme, 1995).

Etant donnée la corrélation positive entre la concentration en matière organique biodégradable et la quantité d'oxygène nécessaire à la minéralisation de ces composés organiques, on estime qu'une diminution dans la DBO₅ est due à l'oxydation chimique par des microorganismes aérobies responsables du traitement biologique de l'effluent d'eaux brute (Ouali, 2001). Cette diminution dans la DBO₅ mesurée dans l'échantillon d'eau épurée, est considérée comme indicatrice d'une réduction considérable du taux de matières organiques contenues dans les eaux brutes à l'entrée de la STEP. Cette réduction est due au phénomène de nitrification par des bactéries autotrophes aérobies et la dénitrification par les bactéries hétérotrophes aéro-anaérobie facultatives au niveau des bassins d'aération (traitement biologique). Ces bactéries participent activement à l'élimination d'une majeure partie des polluants organiques, mais aussi l'élimination de l'azote, du phosphore et des métaux lourds.

Ces résultats indiquent clairement que le traitement biologique effectué par la STEP sur l'eau usée est efficace. Ainsi, l'eau destinée au rejet ne représente aucun danger sur la santé et l'environnement.

Conclusion

Ce travail vise à explorer les différents procédés d'épuration physico-chimiques et biologiques au niveau de la STEP de Chalhoun Laid Oued Athmania. Cette station d'épuration adopte le système dit traditionnel, c'est-à-dire celui des boues activées. Ce système consiste à établir des prétraitements aux eaux usées avant d'effectuer des traitements biologiques dans des bassins d'aération. Les boues générées par l'effluent sont transférées vers le clarificateur (décanteur secondaire) où elles sont séparées des eaux épurées. Ainsi, l'eau est évacuée vers l'oued Rhumel tandis que les boues prennent deux destinations différentes. Une partie des boues (boues de retour) est re-circulée en tête de la station et sert à ensemercer le bassin biologique. La seconde partie est réorientée vers l'épaississeur, où elle subit une digestion anaérobie, et enfin vers les lits de séchage. Ces boues séchées peuvent servir en agriculture en tant que fertilisants. Tout au long du traitement, le suivi des paramètres de pollution chimiques (nitrates), physiques (température, pH et MES) et organiques (DBO₅) est primordial pour évaluer l'efficacité de chaque procédé de traitement. Les résultats d'analyse obtenus montrent une réduction considérable de la pollution organique. Cette réduction est traduite par la diminution de la DBO₅ mesurée à la sortie de la station (eau épurée) qui demeure conforme à la réglementation fixée dans le journal officiel de la république algérienne et aux normes fixées par l'OMS (30 mg/l). Dans ce même contexte, la quantité de nitrates mesurée à la sortie est inférieure à la limite préconisée (30 mg /l). D'une manière générale, ces résultats indiquent l'efficacité du processus de purification en termes de réduction de la pollution organique de l'eau qui ne présente aucun risque lors de sa réutilisation en agriculture.

Références bibliographiques

- Addou, A. (2009).** Traitement des déchets, valorisation, élimination, Ed Ellipses, (Paris), 284.
- ADEME (2001).** Agence Del'Environnement et de la Maitrise de l'Energie Situation du recyclage agricole des boues d'épuration urbaines en Europe et dans divers autres pays du monde Ademe. Ed Paris, 159.
- Afir, D and Mezaoua, M. (1984).** Application et dimensionnement; un procédé de coagulation Flocculation pour le traitement des eaux résiduaires. [Mémoire ingénieur]. [Alger] : Ecole nationale de polytechnique.
- Amorce (2012).** Boues de station d'épuration : technique de traitement, valorisation et élimination. DT51 série technique, 5, 6.
- Anonyme (2003).** Université Pierre et Marie Curie. Cour Bactériologie. Niveau DCEM1.
- Anonyme (2006).** Journal officiel de la république algérienne, N°26, 23 avril 2006.
- Anonyme (2008).** Commune européenne de normalisation.
- Anonyme (2010).** Fiche d'exploitation n°1, Quelques paramètres caractéristiques des boues actives, 3.
- Anonyme (2015).** ONA-dz.org/1-ona-en-chiffres (consulté 23-05-2015).
- Asano, T. (1998).** Waste water reclamation and reuse. Water quality management library. Ed CRC Press. (Floride), 1475.
- Attab, S. (2011).** Amélioration de la qualité microbiologique des eaux épurées par boues activées de la STEP Haoud berkouki par l'utilisation d'un filtre à sable local. [Mémoire de Magistère]. [Ourgla] : Université Kasdi Merbah. 39;42.
- Baleh, K. (2011).** Conception de station d'épuration de la ville d'Azazga. [Mémoire de Magistère]. [Tizi Ouzou] : Université Mouloud Memmeri. ENSH.
- Baumont, S., Camard, J.P., Lefranc, A., and Franconi, A. (2004).** Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Ed Ecole nationale supérieure agronomique de Toulouse, (Toulouse), 220.
- Bechac, J.P., and Boutill, P. (1997).** Traitement des eaux usées, 2^e Ed. Eyrolles, (Paris), 281.
- Berland, J. M., Boutin, C., Molle, P. and Cooper, P. (2001).** Procédés extensifs d'épuration des eaux usées. Office International de l'Eau, (Luxembourg). .
- Bioma.co, (2006).** Notion technique et pratique sur l'épuration de l'eau et l'évacuation des boues. Document technique. Geolife. Ed Copyright, (Switzerland), 22, 26.

- Bolmstedt, J. (2000).** Dynamic modeling of an activated sludge process at a pulp and paper mill. [Doctoral thesis]: Department of Industrial Electrical Engineering and Automation (IEA). [Sweden]: Lund Institute of Technology (LTH), Lund University.
- Bourrier, R., Satin, M., and Selmi, B. (2010).** Guide technique de l'assainissement. Paris : LEMONITEUR édition.
- Bouzara, A and Rekmouch, K. (2004).** Etude d'une station d'épuration des eaux usées de la ville de Relizane. [Mémoire d'ingénieur]. [Chlef] : Université Hassiba Ben Bouali. 69.
- Brame, V. (1986).** Le procédé physico-chimique d'épuration des eaux usées urbaines série documents techniques. A.F.E.E, (France).
- Canler, J.P., Perret, J.M., Duchéne, P., and Cotteux, E. (1999).** Aide au diagnostic des stations d'épuration par observation microscopique des boues activées. Ed QUAE, (Paris) ,155.
- Canler, J.P., Perret, J.M., Duchéne, P., and Cotteux, E. (2014).** Aide au diagnostic des stations d'épuration par observation microscopique des boues activées. Ed QUAE, (Paris) ,11-130.
- Cayocca, F. (2012).** Etat physique et chimique caractéristique physique turbidité .Ministère d'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie. (France), 2.
- Charlou, CH. (2014).** Caractérisation et modélisation de l'écoulement de boues résiduelles dans un sécheur à palettes. [Thèse de Doctorat]. [Toulouse] : Université de Toulouse.
- Chergui, F ., Zoubiri, A.F ., Debib, A., Hamaidi, M.S ., and Kais, H., (2016).** Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°26. Vol : 183-208. 197-201.
- Choubert, J.M., Martin-Ruel, S., Budzinski, H., Miège1, C., Esperanza M., Soulier, C., Lagarrigue, C., and Coquery1, M. (2011).** Évaluer les rendements des stations d'épuration. Apports méthodologiques et résultats pour les micropolluants en filières conventionnelles et avancées. INREA, (France).
- Crosclaude, G. (1999).** L'eau, tom1 : milieu naturel et maîtrise et tom2 : usage et polluants Versailles, INRA, (Paris)
- Cshpf (1995).** Recommandations sanitaires relatives à la désinfection des eaux usées urbaines. Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France. (France) ,22.
- Daffri, A. (2008).** Biodégradation des crésols par le microbiote des eaux usées de la ville de Constantine. [Mémoire de magisters] : Microbiologie appliquée, Biotechnologies microbiennes. [Constantine] : Université Mentouri Constantine. 3;5.
- Damotta (2001).** Application de l'analyse d'image à la caractérisation de la microfaune

- Davet, P. (1996).** Vie microbienne du sol et production végétale. INRA, (Paris), 67,68.
- de stations d'épuration des eaux usées. [Thèse doctorat] : spécialité génie des procédés [France] : l'institut national polytechnique de Lorraine, 5-12, 41, 42.
- Desjardins, R. (1997).** Le traitement des eaux, Lausanne : Ecole polytechnique Lausanneédition.
- Dugniolle, H. (1980).** L'assainissement des eaux résiduaires domestiques, CSTC-revue n°344, 52.
- Duronzier, G., Schétrite, S., Racault, Y., Canler, J.P., Liénard, A., Héduit, A., and Duchène, P., (2001).** Traitement de l'azote dans les stations d'épuration biologiques despetites collectivités, INRA. Antony, 79.
- Edline, F. (1979).** L'épuration biologique des eaux résiduaires. Ed CEBEDOC, (Paris), 306.
- El Morhit, M. (2009).** Hydrochimie, éléments traces métalliques et incidences écotoxicologiques sur les différentes composantes d'un écosystème estuarien (Bas Lukkos). [Thèse de Doctorat]. [Maroc] : Université Mohammed V. Agdal, Rabat. 260.
- Encyclopedia (1995).**Industrial chemistry, Water in Ullman, Wiley-VCH Verlags, vol.8. Épuration Techniques. Sciences et Méthodes. 81-118.
- Faby, J.A., and Brissaud, F. (1997).** L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. France : Office International de l'Eau.
- FAO (2003).**L'irrigation avec des eaux usées traitées. Organisation des Nations Unies pourl'alimentation et de l'agriculture (FAO).
- Galaf, F., and Ghannam, S. (2003).**Contribution à l'élaboration ; un manuel et ; un site web sur la pollution du milieu marin. [Mémoire d'ingénieur]. [Maroc] : Université Hassan II de Rabat.
- Gaujous, D. (1995).** La pollution des milieux aquatiques. Aide-mémoire. Ed. Technique etDocumentation. Lavoisier, (Paris), 220.
- Glanic, R., and Benneton, J.P. (1984).** Caractérisation d'effluents d'assainissementindividuel et essais de matériels d'assainissement autonome R TSM- l'eau- N 11, 573,584.
- Hadj-Sadok, Z.M. (1999).** Modélisation et estimation dans les bioréacteurs ; prise en comptedes incertitudes : application au traitement de l'eau. [Thèse de Doctorat]: Faculté des sciences del'ingénieur.[France] :Université de Nice – Sophia Antipolis.

HU, B., QI, R., Yong, M. (2013). Systematic analysis of microfauna indicator values fortreatment performance in a full-scale municipal wastewater treatment plat. Journal of Environmental sciences. Vol 25, Issue 7, 13, 79-138.

ISO 14001, (2014).Office National de l'Assainissement. Système de Management Environnemental.

Jocteur, M. (2001). Chimie de l'environnement, air, eau, sols, déchets. Paris: De Boeck.

Koller, E. (2004). Traitement des pollutions industrielles: Eau, Air, Déchets, Sols, Boues. Paris : Dunod.

Koller, E. (2005). Traitement des pollutions industrielles. Paris : Dunod.

Lambkin, D., Nortcliff S., and White T. (2004). The importance of precision in samplingsludge, biogas and treated soils in a regulatory frame work trends in analytical chemistry. Doi: [10.1016/j.trac.2004.08.008](https://doi.org/10.1016/j.trac.2004.08.008)

Lazarova, V., Gaid, A., Rodriguez-Gonzales J., and Ansola J. (2003). L'intérêt de laréutilisation des eaux usées : analyses d'exemples mondiaux. Techniques, Sciences et Méthodes. Ed Flammarion. (Paris). 64-85.

Libes, Y. (2010). Les eaux usées et leur épuration. (France), 5.

Louvet-Noel, J. (2010). Effets des antibiotiques sur le procédé d'épuration par boues activées.Etude du cas de l'érythromycine, du floc bactérien au réacteur biologique. [Thèse de Doctorat]: Génie des procédés. [France] : Université de Nancy. 36-38.

Menoret, C. (2001). Traitement d'effluents concentrés par cultures fixées sur gravier ouPouzzolan. [Thèse de Doctorat] : Académie des sciences et techniques du Languedoc. [France] : Université Montpellier II.

Mettahri, M.S. (2012).Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eauxusées traitées, par des procédés mixtes .Cas de la STEP de la ville de Tizi-Ouzou. [Thèse de Doctorat]: agronomie, génie des procédés. [Tizi Ouzou] : Université de mouloud Memmeri. 4; 21; 23; 24.

Mira, Y. (2008). Contribution à la conception de la station d'épuration d'ISOLA 2000. [Mémoire d'ingénieur]. [Alger]. Ecole nationale Polytechnique.

Monod, J. (1989).Mémento technique de l'eau. Tome II.9^eEd Degrémont , (RueilMalmaison),1459.

OMS (2006). Guideliens for the safe use of waste water, excreta and greywater volume 4 : Excreta and greywater use in agriculture, 182.

OMS (2012).L'utilisation sans risque des eaux usées, des Excréta et des eaux ménagères. Organisation mondial de la santé (OMS).

Ouali, M.S. (2001). Cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux. Offices des publications universitaires. (Algérie).

Ouanouki, B., Abdellaoui, N., and Ait abdallah N. (2009). Application in Agriculture of Treated Wastewater and Sludge from a Treatment Station European Journal of Scientific Research, 602-619.

Pandolfi, D. (2006). Caractérisation morphologique et physiologique de la biomasse des boues activées par analyse d'images. [Thèse Doctorat]. [Lorraine] : Institut national polytechnique .1-61.

Petit, K.M.B. (2007). Actualisation des connaissances sur les éléments biologiques et Minéraux persistants dans les boues de la station d'épuration. Impact sur la santé publique. [Thèse de doctorat] : Ecole nationale vétérinaire d'Alfort. 7;8;31.

Prevot, H, (2000). La récupération de l'énergie issue traitement des déchets. Ministère de l'Economie, des finances et de l'industrie, 124.

Pronost, J., Pronost, R., Deplat, L., Malrieu, J., and Berland, J. (2002). Stations d'épuration : dispositions constructives pour améliorer leur fonctionnement et faciliter leur exploitation, Ed Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, et des affaires rurales, (France).

Ramade, F. (2002). Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. 2^e Ed DUND, (Paris), 1075.

Ramdan, N. (2006). Etude comparative de la dépollution des eaux de la station de SKIKDA par adsorption sur charbon actif et sur bentonite. [Mémoire de magister]. [Skikda] : Université du 20 Août 1955.

Ramdani, N. (2007). Contribution à l'étude de boue urbaine de la station d'épuration des eaux usées résiduelles. Effet sur la fertilité d'un sol sableux. [Mémoire de magistère]: sciences de l'environnement et climatologie. [Oran] : Université Ahmed Bella Oran 1. 6.

Rejsek, F. (2002). Analyse des eaux ; aspect réglementaires et technique. Ed Canopé-CRDP de Bordeaux, (France).

Rodier, J. (2005). L'analyse de l'eau eau naturelle, eau résiduaire et l'eau de mer. Paris : Dunod.

Rodier, J., et al, (1996). L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduelles, eau de mer. Paris: Dunod.

Rose, J.B., Farrah, S.R., Friedman, D., Riley K., Hamann C.L., and Robbins, M. (1999). Public evaluation of advanced water for potable application. Water Science and Technology, 40 (4-5):247- 252.

Sahtout, N. (2012). Etude de station de traitement des eaux à boues activées : optimisation de l'aération de la clarification en vue d'une bonne dilatabilité des boues. [Mémoire de de magister].11, 12.

Salghi, R. (2001). Différents filières de traitements des eaux. Ed Université IZ Rabat, (Rabat),22.

Tekfi, K. (2006). Étude de performances épuratoire d'une station a boues activées. [Mémoire de DEUA]. [Tlemcen] : Université de Abou Bekr Belkaid.

Vaillant, J.R. (1974). Perfectionnement et nouveautés pour l'épuration des eaux résiduaires: eaux usées urbaines et eaux résiduaires industrielles. Ed Eyrolles, (Paris), 413p.

Vibouroux, D. (1981). Epuration des eaux usées résiduaires. (France), 569.

Vilagenés, R. (2003). Eau, environnement et santé publique ,2^eEd .Tec & Doc, (Paris),88.

Villebrun, J.F. (1989). La déphosphatation biologique appliquée à la station d'épuration de Craon, Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt de la Mayenne, (Mayenne).

Wallace, T.H. (2001). Biological Treatment of a Synthetic Dye Water and an Industrial Textile Waste water Containing Azo Dye Compounds. [Doctoral Thesis]: Department of Civil and Environmental Engineering. [Etats-Unis]: faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment Blacksburg, Virginia.

Webographie

Monreseaudeau.fr(2017).

https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://www.monreseaudeau.fr/index.php/glossaire_item/eauparasite/&ved=2ahUKEwjh_MCZ8sPrAhUnzYUKHQKIBjYQFjAMegQICBAB&usg=AOvVaw1XJncyK_O716J0k2LsQ8L&cshid=1598824584326[Accédé 7 Février,2017].

Paramètre des eaux usées (2017).nitrate.<https://www.1h2o3.com/apprendre/parametres-des-eaux-usees/quels-sont-les-parametres-les-plus-utilises-en-station-epuration>[Accédé Octobre,2017].

Annexe 1. Composition des boues de STEP de l'oued Athmania à l'échelle microscopique

Tableau 1. Fréquence des espèces de la microfaune dans la boue activées (Chergui *etal.*,2016).

Protozoaires	Fréquence	Signification de la présence de cette microfaune
Flagellés les petits flagellés à mouvement lents	+	Leur prédominance signifie un déficit en oxygène ou une sur charge en matière organique.
Amibes Rhizopodes -Amibes -Thécamébiens -Arcella - Diffflugia	+++ ++ +	La prédominance des amibes caractérise des boues bien oxygénées avec un bon traitement du carbone la présence d' <i>Arcella</i> indique un bon processus d'épuration et une bonne performance en nitrification. La présence de <i>Diffflugia</i> indique une minéralisation assez poussée des boues.
Ciliés Peritriches -Epistylis -Carchesium Hypotriches -Aspidisca Hétérotriches -Stentor	 ++ + +++ +	La présence d' <i>Epistylis</i> caractérise des boues fortement concentrées et indique un bon traitement de la charge organique et du NH4+ <i>Carchesium</i> est un indicateur d'effluent de bonne qualité. La présence d' <i>Aspidisca</i> indique un phénomène de nitrification. La présence de Stentor indique un effluent traité de très bonne qualité
Métazoaires Nématodes Tardigrades	 +++ +	Signe de dépôt au fond du bassin Indicateur d'une très bonne qualité de l'eau traité et une nitrification très importante

+++ Espèces très fréquentes, ++ Espèces moyennement fréquentes, + Espèces rares

