

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الجيلالي بونعامة خميس مليانة

Université Djilali Bounaâma de Khemis Miliana

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Technologie



Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention d'un diplôme de Master en Sciences et Génie de l'Environnement

Spécialité: Génie des procédés de l'environnement

Thème :

Evaluation de la performance épuratoire de la station de
traitement des eaux usées de Ain Defla

Réalisé par :

M^{elle} HOUASNI Fethia

M^{elle} BENSMAILI Sabrina

Devant le jury composé de :

-Président : M^r BOUDECHICHE. N

-Examinatrice : M^{me} REZALA. H

-Promotrice : M^{me} CHERIFI. S

Année universitaire : 2017 / 2018

Remerciements

*Au terme de ce travail nous tenons à remercier :
En premier lieu le dieu miséricordieux qui nous à donner la
force d'achever ce travail.*

*Un grand merci à notre promotrice M^{me} Cherifi Souad pour
le temps qu'elle nous à accordé,*

Ainsi pour sa grande Aide et ces conseils judicieux.

*Nous tenons à présenter notre vif remerciement à tous les
membres de jury qui nous ont fait l'honneur d'examiner ce
travail.*

*Nos sincères remerciements vont également à tous les
enseignants de notre faculté.*

*Mes profonds respects et les vifs remerciements au
laboratoire l'ONA de Ain defla.*

*Enfin, nous remercions nos chers parents, familles et
amis pour leur soutien inconditionnel.*



Dédicace

C'est avec l'aide de Dieu le tout puissant que j'ai pu réaliser ce travail.

Je dédie ce modeste travail

A mes parents qui m'ont aidé infiniment de tout ce qu'il possède et surtout avec leur d'Oaa durant toute ma vie et mon parcours universitaire.

A mes frères « Hamid, Kader, Hamza » et mes sœurs « Mazori, Fouzia, Ibtissem » et leur familles,

J'oublié pas « Asma ».

A ma petite famille « ma belle mère, mon beau père » et surtout à « youcef » qui m'a encouragé de sa façon spécial et je lui dis merci à mon binôme sabrina avec elle j'ai partagé la réalisation de ce travail.

A toute ma promotion de génie de l'environnement.

Fethia



*Je dédie ce modeste travail
A mes très chers parents, pour leur tendresse, leur encouragement
et leurs sacrifices, pour l'espoir qu'ils ont semé en moi, qu'ils
trouvent ici l'expression de ma reconnaissance.*

A Mes chers frères : Mohamed, Nasser et Abdalhak

A Mes chères sœurs : Mira, Fatiha, Dhouha et Sakina

A mon beau frère Abdelkader

*A mon binôme Fethia avec elle j'ai partagé le bon et les durs
moments*

A toute ma famille

Et à tous mes amis que je connais dans ma vie

Sabrina

Remerciements	
Dédicace	
Table des matières	
Liste des tableaux	
Liste des figures et photos	
Liste des abréviations	
Résumé	
Introduction générale01

Partie 1 :
Etude Bibliographique

Chapitre 1 : Généralités sur les eaux usées

1.1. Introduction	03
1.2. Pollution des eaux usée	03
1.2.1. Définition de la pollution des eaux	03
1.2.2. Types de pollution	03
1. Pollution physique	03
2. Pollution chimique.....	03
3. Pollution microbiologique.....	04
4. Pollution par le phosphore	04
5. Pollution par l'azote.....	04
1.3. Définition des eaux usées.....	04
1.4. Origine des eaux usées.....	04
1.4.1. Les eaux usées domestiques	05
1.4.2. Les eaux usées industrielles	05
1.4.3. Les eaux usées agricoles.....	05
1.4.4. Les eaux pluviales.....	06

1.5. Caractéristiques des eaux usées.....	06
1. Les paramètres organoleptiques.....	06
1.1. La couleur	06
1.2. Odeur	06
2. Les paramètres physico-chimiques.....	07
2.1. La température	07
2.2. Potentiel hydrogène (pH).....	07
2.3. La turbidité	07
2.4. Les matières en suspension (MES).....	07
2.5. La conductivité électrique (CE).....	08
2.6. Oxygène dissous (OD).....	08
2.7. Résidu Sec (RS)	08
2.8. Salinité.....	08
3. Les paramètres de pollution.....	09
3.1. Demande chimique en oxygène (DCO).....	09
3.2. Demande biologique en oxygène (DBO ₅).....	09
3.3. L'azote	09
a) L'azote de Kjeldahl.....	10
b) L'azote ammoniacal.....	10
c) Les nitrates NO ₃ ⁻	10
d) Les nitrites NO ₂ ⁻	10
3.4. Phosphore total (PT).....	10
4. Les paramètres microbiologiques.....	11
4.1. Les coliformes totaux et fécaux.....	11
4.2. Les streptocoques fécaux (SF).....	12
4.3. Les virus.....	12

4.4. Les bactéries.....	12
4.5. Les protozoaires.....	12
4.6. Helminthes.....	13
1.6. L'équivalent habitant (EH).....	13
1.7. Normes internationales.....	13
1.8. Normes Algériennes.....	14
1.9. Conclusion.....	15

Chapitre 2 : Les procédés de traitement des eaux usées

2.1. Introduction	17
2.2. Définition de l'épuration.....	17
2.3. Paramètres essentiels pour le choix d'une technologie de traitement des eaux Usées	17
2.4. Rôle des stations d'épuration.....	18
2.5. Les procédés de traitements des eaux usées.....	18
2.5.1. Prétraitement.....	18
1. Le dégrillage.....	18
2. Le dessablage.....	19
3. Déshuilage dégraissage.....	19
2.5.2. Traitement primaire.....	19
1. La décantation physique (naturelle).....	20
2. La décantation physico-chimique.....	20
3. La flottation.....	20
2.5.3. Traitement biologique (traitement secondaire).....	20
1. Les procédés biologiques extensifs.....	21

2. Les procédés biologiques intensifs.....	21
1) Les installations à "cultures fixées"	22
a) Disques biologiques.....	22
b) Lits bactériens.....	22
2) Les installations à "cultures libres", ou par boues activées.....	22
2.1. Paramètres de fonctionnement des stations à boues activées.....	23
a) Charge massique.....	23
b) La charge volumique (Cv).....	24
c) Age des boues.....	24
d) Indice de Mohlman.....	24
e) Besoins en oxygène.....	24
2.2. Classement des procédés par boues activées	25
2.5.4. Le traitement tertiaire	26
1. Elimination de l'azote.....	26
2. Elimination du phosphore.....	26
3. Désinfection.....	26
4. Traitement des odeurs.....	27
2.6. Le traitement des boues	27
1. La mise en décharge contrôlée.....	28
2. L'incinération.....	28
3. Utilisation agricole des boues	29
2.7. Conclusion.....	29

Partie 2 : Etude expérimentale

Chapitre 3 : Prélèvements, Echantillonnages, Matériels et Méthodes

3.1. Introduction.....	30
3.2. Présentation de la station d'épuration de Ain Defla.....	30
3.3. Prélèvement des échantillons d'eau.....	31
3.3.1. Localisation des points de prélèvement.....	32
3.3.2. Conservation des prélèvements.....	33
3.4. Matériel et appareillages d'analyse.....	33
3.5. Les méthodes d'analyse.....	33
3.5.1. Analyses physico-chimiques.....	34
1. Mesure de pH, la température et la conductivité, O ₂ dissous et la salinité	34
2. Mesure la Turbidité	34
3. Mesure des matières en suspension MES.....	35
4. Détermination de Résidu Sec.....	36
3.5.2. Analyses des paramètres indicateurs de pollution.....	36
1. La demande chimique en oxygène (DCO).....	36
2. La demande biochimique en oxygène (DBO ₅).....	37
3. Dosage de Nitrate NO ₃ ⁻	37
4. Dosage de Nitrite NO ₂ ⁻	38
5. Azote ammoniacal N-NH ₄ ⁺	39
6. Phosphate PO ₄ ³⁻	40
3.5.3. Méthodes d'analyses paramètres de minéralisation globale.....	41
1. L'alcalinité.....	41
1.1. Détermination de titre alcalimétrique simple (TA).....	41
1.2. Détermination de titre alcalimétrique complet (TAC).....	41
2. Dureté totale par titrimétrie à l'EDTA (TH).....	42
3. Détermination du calcium (Ca ²⁺) et du magnésium (Mg ²⁺).....	43
3.1. Dosage des ions de Ca ²⁺	44
3.2. Dosage des ions de Mg ²⁺	44
4. Détermination de chlorure Cl ⁻	44

3.5.4. Analyses microbiologiques.....	45
1. Recherche et dénombrement des Germes Aérobie Mésophiles Totaux à 22°C et 37°C	45
2. Recherche et dénombrement des Coliformes Totaux à 37°C et les Coliformes Fécaux à 44°C.....	46
3. Recherche et dénombrement des Streptocoques Fécaux à 37°C	48
3.6. Conclusion.....	50

Chapitre 4 : Résultats et Discussions

4.1. Introduction	51
4.2. Performances de la station d'épuration de Ain Defla.....	51
4.2.1. Analyses physico-chimiques.....	51
1. La température.....	51
2. Le pH	52
3. La conductivité	52
4. La turbidité	53
5. Matières en suspension (MES).....	54
6. L'oxygène dissous	55
7. La salinité	56
8. Résidu Sec (RS).....	57
4.2.2. Analyse des paramètres de pollution.....	58
1. La demande chimique en oxygène (DCO).....	58
2. La demande biochimique en oxygène (DBO ₅).....	59
3. Les nitrates NO ₃ ⁻	60
4. Les nitrites NO ₂ ⁻	62
5. Azote ammoniacal (NH ₄ ⁺)	62
6. L'azote total (NT).....	63
7. Les phosphates PO ₄ ³⁻	64
8. Le phosphore total (PT)	65
4.2.3. Paramètres de minéralisation globale.....	66
1. Titre Hydrométrique (Dureté Totale).....	66
2. Titre Alcalimétrique complet (TAC)	67

Table des matières

3. Le calcium Ca^{2+}	67
4. Le magnésium Mg^{2+}	68
5. Le chlorure Cl^-	69
4.2.4. Analyses microbiologique.....	69
1. Les Germes totaux.....	70
2. Coliformes totaux.....	70
3. Coliformes Fécaux.....	70
4. Streptocoques Fécaux.....	71
Conclusion générale	72

Références bibliographiques

Annexe

Chapitre 1 : Généralité sur les eaux usées

Tableau (1.1) : Tableau des normes physico-chimiques de rejets de l'OMS (1989)..... 14
Tableau (1.2): Les valeurs limite des paramètres de rejet dans un milieu récepteur 15

Chapitre 2 : Les procédés de traitement des eaux usées

Tableau (2.1): Classement des procédés par boues activées..... 25

Chapitre 3 : Prélèvements, Echantillonnages, Matériels et Méthodes

Tableau (3.1) : Types d'appareillages utilisés pour les différentes..... 33

Chapitre 4 : Résultats et Discussions

Tableau (4.1) : Variations des Paramètres bactériologique..... 70

Annexe

Tableau 1 : Paramètres physico-chimiques

Tableau 2: Paramètres de pollution

Tableau 3 : Minéralisation globale

Tableau 4 : Nombre le plus probable (NPP)

Tableau 5 : Utilisation de la Table de NPP pour dénombrement les coliformes (eau traitée)

Tableau 6 : Utilisation de la Table de NPP pour dénombrement les coliformes (eau brute)

Tableau 7: Utilisation de la Table de NPP pour dénombrement les streptocoques fécaux (eau traitée)

Tableau 8 : Utilisation de la Table de NPP pour dénombrement les streptocoques fécaux (eau brute)

Chapitre 2 : Les procédés de traitement des eaux usées

Figure (2.1) : schéma d'un traitement préliminaire d'une STEP..... 18

Figure (2.2) : Schéma d'un procédé à boues activées..... 23

Chapitre 3 : Prélèvements, Echantillonnages, Matériels et Méthodes

Figure (3.1): Plan de la situation géographique de la STEP de Ain Defla..... 31

Figure (3.2) : Photo représentant des points de prélèvement..... 32

Figure (3.3) : Test présomption de Coliformes Totaux..... 46

Figure (3.4) : Le lecteur des Tubes..... 47

Figure (3.5) : Test conformation des Coliformes Fécaux..... 47

Figure (3.6) : Présence d'E-Coli..... 48

Figure (3.7) : Test présomption des Streptocoques Fécaux. 49

Figure (3.8) : La lecture des tubes..... 49

Figure (3.9) : Test confirmatif des Streptocoque Fécaux 50

Figure (3.10) : La lecture des tubes..... 50

Chapitre 4 : Résultats et Discussions

Figure (4.1) : Variation journalière de la température à l'entré et à la sortie de la STEP..... 51

Figure (4.2) : Variation journalière de pH à l'entrée et à la sortie de la STEP..... 52

Figure (4.3) : Variation journalière de la conductivité à l'entrée et à la sortie de la STEP..... 53

Figure (4.4) : Variation journalière de la turbidité à l'entrée et à la sortie de la STEP. 54

Figure (4.5) : Variation journalière de MES à l'entrée et à la sortie de la STEP. 55

Figure (4.6) : Variation de l'oxygène dissoute à l'entrée et à la sortie de la STEP en fonction du temps..... 56

Figure (4.7) : Variation journalière de salinité à l'entrée et à la sortie de la STEP..... 57

Figure (4.8) : Variation journalière de résidu sec à l'entrée et à la sortie de la STEP..... 57

Figure (4.9) : Variation journalière de la DCO à l'entrée et à la sortie de la STEP..... 58

Figure (4.10) : Variation journalière de la DBO₅ à l'entrée et à la sortie de la STEP.... 59

Figure (4.11) : Variation journalière de NO₃⁻ à l'entrée et à la sortie de la STEP..... 60

Figure (4.12): Mécanisme de dégradation des matières azotées dans les procédés biologiques..... 61

Figure (4.13) : Variation journalière de NO₂⁻ à l'entrée et à la sortie de la STEP..... 62

Figure (4.14) : Variation journalière de NH_4^+ à l'entrée et à la sortie de la STEP.....	63
Figure (4.15) : Variation journalière de NT à l'entrée et à la sortie de la STEP.....	63
Figure (4.16) : Variation de PO_4^{3-} à l'entrée et à la sortie de la STEP.....	64
Figure (4.17) : Variation journalière de P_T à l'entrée et à la sortie de la STEP.....	65
Figure (4.18) : Variation journalière de TH à l'entrée et à la sortie de la STEP.....	66
Figure (4.19) : Variation de TAC à l'entrée et à la sortie de la STEP.....	67
Figure (4.20) : Variation journalière de Ca^{2+} à l'entrée et à la sortie de la STEP.....	68
Figure (4.21) : Variation journalière de Mg^{2+} à l'entrée et à la sortie de la STEP.....	68
Figure (4.22) : Variation de Cl^- à l'entrée et à la sortie de la STEP en fonction du temps.....	69

Liste des abréviations

ONA	Office National d'Assainissement
DBO ₅	La demande biologique en oxygène pendant cinq jours
DCO	La demande chimique en oxygène
MES	Les matières en suspension
MMS	Les matières minérales en suspension
MVS	Les matières volatiles en suspension
C _m	la charge massique
V _{BA}	volume de bassin d'aération
Q _j	débit journalier d'eau résiduaire à épurer
C _v	La charge volumique
Age	âge des boues
C _{b.t}	concentration en solide (ou solide volatil) de la liqueur mixte
C _{b.ex}	concentration en solide (ou solide volatil) des boues
Im	Indice de Mohlman
M	masse de résidu sec
V ₃₀	volume de boue obtenu après 30 minutes de décantation d'un litre de boue activée
V	Le volume d'eau analysée
°C	Degré Celsius
°F	Degré Français
ERU	eaux résiduaires urbaines
EU	Eaux Usées
EH	L'équivalent habitant
EDTA	Ethylène Diamine Tétracétique
NTU	Unité néphélométriques de turbidité
pH	Le potentiel d'Hydrogène
T°C	La température
OD	Oxygène dissout
CE	La conductivité électrique
RS	Résidu sec
PT	Phosphore total
CT	Coliformes Totaux

Liste des abréviations

CF	Coliformes Fécaux
SF	streptocoques fécaux
BCPL	Bouillon Lactosée ou pourpre de Bromocrésol
EVA	Bouillon glucosé à l'éthyl violet et azide de sodium

ملخص :

تحتوي مياه الصرف الصحي على كم هائل من الملوثات المختلفة, الأمر الذي يشكل مشكلة المخاطر الصحية المرتبطة بإعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة, لذا يجب نقلها إلى محطة الصرف الصحي لمعالجتها. الهدف من عملنا هذا هو دراسة فعالية محطة تطهير مياه الصرف بطريقة الحماية المنشطة بولاية عين الدفلى. مراقبة سير المحطة يتضمن دراسة التغيرات لمختلف العناصر الفيزيولوجية و البيولوجية لمياه الصرف قبل وبعد المعالجة. وقد تم ذلك لمدة 3 أشهر.

لقد بينت النتائج المتحصل عليها أن قيم معايير التلوث اقل من المعايير الحدية (طلب البيولوجي للأكسجين اقل من 35 مغ/ل, الطلب الكيميائي للأكسجين اقل من 120مغ/ل, أما المواد العالقة اقل من 35مغ/ل . فقد كانت النتائج ذات مردودية مرضية تقدر ب 87% المواد العالقة ب 72,91% و 37,88% على الترتيب للطلب البيولوجي و الطلب الكيميائي للأكسجين .

أما بالنسبة لمعدلات التخفيض للازوت النشادري فقد قدر ب 89,91% بقيم اقل من 7,0مغ/ل.

الازوت الكلي قدر ب 44,68% و الفوسفور الكلي ب 27,43%

الكلمات المفتاحية: الصرف الحي, محطة تطهير المياه المستعملة بعين الدفلى, فعالية

Résumé :

Les eaux usées sont fortement chargées en polluants et en contaminants divers, ce qui pose le problème des risques sanitaires liés à une réutilisation des eaux usées épurées, donc elles doivent être acheminées par les égouts vers des stations d'épuration afin d'être traitées. L'objectif de ce travail est d'étudier expérimentalement les performances épuratoires d'une station d'épuration à boues activées à faible charge (cas de la STEP de Ain Defla) à travers des mesures de paramètres de pollution de l'eau usée à l'entrée (eau brute) et à la sortie (eau traitée) de la station. L'expérimentation a été réalisée sur une période de trois (03) mois.

Les résultats obtenus ont montré que les paramètres de pollution étudiés sont inférieurs aux normes de rejet ($DBO_5 < 35 \text{ mg/l}$; $DCO < 120 \text{ mg/l}$; $MES < 35 \text{ mg/l}$). Les taux d'abattement de la pollution étaient satisfaisants : 87 % pour les MES; 91,72 % et 88,37 % respectivement pour la DBO_5 et la DCO. L'abattement de l'azote ammoniacal NH_4^+ par ce procédé a atteint 91,89 % avec des valeurs inférieures à 0,7 mg/l ; 68,44 % de l'azote total et 43,27 % du phosphore total.

Mot clé: Eaux usées, STEP de Ain Defla, Performance.

Abstract:

The wastewater is straggly loaded with pollutants and various contaminants, which poses the problem of sanitary risks liked to the reuse of treatment water, therefore they must be routed by the sewers, to se wage treatment plant in order to be processed.

The aim of our work is to study experimentally the purification performance of a treatment plant at activated sludge et low load (case of the Ain Defla STEP) through measurements of waste water pollution parameters at the inlet (raw water) and the outlet (treated water) of the station.

The experiment was carried out over a period of three (03) months.

The results obtained showed that the pollution parameters studied are below the rejection standards (BOD5 <35 mg / l, DCO <120 mg / l, MES <35 mg / l). Pollution abatement rates were satisfactory: 87% for MS; 91,72% and 88,37% for DBO₅ and DCO; respectively. The reduction of ammonia nitrogen NH₄⁺ by this process reached 91,89% with values lower than 0,7 mg / l; 68,44% of total nitrogen and 43,27% of total phosphorus.

Key words: wastewater, STEP of Ain Defla, performance.

Introduction générale

L'eau est la matière première la plus importante sur notre planète, pour les êtres humains, les animaux, les plantes et les microorganismes, pratiquement tous les phénomènes vitaux de la biosphère sont liés à la disponibilité de l'eau. L'eau n'est donc pas uniquement espace vital, vecteur énergétique ou moyen de transport, mais également un élément essentiel pour tous genre de production.

Au cours de l'histoire, la disponibilité globale d'eau est restée plus ou moins constante. Il ya 2000 ans, 200 à 300 millions d'habitants sur terre utilisaient les ressources disponibles, Aujourd'hui, plus de 6,5 milliards d'êtres humains doivent se contenter de la même quantité d'eau. C'est pourquoi la matière première qu'est l'eau, pendant longtemps librement disponible dans de nombreuses parties de la terre, est aujourd'hui sérieusement menacée. De plus, les systèmes naturels de purification de notre planète sont considérablement sur chargés.

La nature et les êtres vivants subissent de plus en plus les conséquences de la pollution avec le développement industriel et la croissance démographique. La pollution de l'eau qui affecte les rivières, les mers, les nappes phréatiques et les lacs, est les résultats du rejet des eaux usées sans traitement ou un niveau de traitement insuffisant : Cela provoque une dégradation de l'écosystème. Le problème est encore plus grave dans le cas des effluents industriels présent un caractère toxique. L'effluent désigne les eaux (généralement altérées de pollution organique, chimique, thermique...) sortant de chez un usager ou un groupe d'usagers. Généralement, les effluents nécessitent un traitement, plus ou moins léger en fonction du degré d'altération des eaux, avant rejet dans le milieu naturel.

Le traitement des effluents peut prendre différentes formes : processus physiques, chimiques ou biologiques, compris le tri, qui modifient les caractéristiques des déchets de manière à en réduire le volume ou le caractère dangereux, à en faciliter la manipulation ou à en favoriser les valorisations. Le choix d'un procédé pour le traitement des rejets dépend d'un certain nombre de facteurs dont les plus significatifs : La composition de l'effluent, le type de la réutilisation, la qualité des besoins et la dimension de l'installation [1].

Face aux pénuries d'eau dans les dernières décennies et afin de préserver les ressources en eau, encore saines, et la protection de l'environnement ainsi que la santé publique, l'Algérie a adopté un programme riche en termes de traitement des eaux usées par la mise en service à la fin 2010, de plus d'une centaine de stations d'épuration, qui ont pour rôle de concentrer la pollution contenue dans les eaux usées sous forme de résidus appelés

boues, valorisable en agriculture et de rejeter une eau épurée répondant à des normes bien précises, qui trouve quant-à-elle, une réutilisation dans l'irrigation, l'industrie et les usages municipaux [2].

Les procédés d'épuration utilisés, dont l'objectif principal est d'éliminer la pollution organique sont : procédé à boues activées, le lagunage et les lits bactériens.

La phase de traitement biologique par boues activées représente une phase clé de la chaîne globale d'épuration des eaux usées qu'elle est largement utilisée [3].

L'objectif de ce travail consiste à évaluer les performances épuratoires et les rendements de la station d'épuration de Ain Defla, en analysant les paramètres suivants : le pH, la température, DCO, DBO₅, MES, les matières azotées, les phosphates et quelques paramètres microbiologiques.

Pour ce faire, ce présent travail est subdivisé principalement en deux parties :

✓ Une partie théorique comportant deux grands chapitres :

- Le premier chapitre donne des généralités sur les eaux usées urbaines (origine, composition, types et paramètres de pollution, normes de rejet).
- Le deuxième chapitre traite les différents procédés d'épuration des eaux usées (prétraitement, traitement primaire, traitement secondaire et tertiaire), que doivent subir les eaux usées avant d'être rejetées dans le milieu naturel.

✓ La seconde partie de l'étude est axée sur l'expérimentation, elle est présentée en deux chapitres :

- Le troisième chapitre est consacré à la description et aux matériels et les méthodes analytiques utilisées dans cette étude.
- Le quatrième chapitre présente les résultats expérimentaux trouvés et leurs interprétations.
- Et enfin, une conclusion générale est donnée pour résumer notre travail.

Partie 1

Etude

Bibliographique

Chapitre 1

Généralités sur les eaux usées

1.1.Introduction :

Les eaux de surface constituent un écosystème où règne une communauté d'êtres vivants qui établissent des relations et interactions entre eux et leur milieu. Dans ce fragile équilibre, un seul facteur de l'écosystème est modifié, et c'est l'équilibre qui est perturbé. C'est ainsi que la présence ou la sur abondance d'un élément dans un écosystème dont il est normalement absent constitue une pollution. Les eaux usées contiennent de nombreux éléments polluants. Ces polluants s'ils se retrouvent directement dans les milieux naturels perturbent les écosystèmes. Les eaux usées nécessitent d'être traitées avant leur évacuation dans le milieu récepteur, la protection de l'environnement en dépend [4].

1.2.Pollution des eaux :

1.2.1. Définition de la pollution des eaux

La pollution ou la contamination de l'eau peut être définie comme la dégradation de celle-ci en modifiant ses propriétés physiques, chimiques et biologiques; par des déversements, rejets, dépôts directs ou indirects de corps étrangers ou de matières indésirables telles que les microorganismes, les produits toxiques, les déchets industriels.

Selon leurs natures, on distingue divers types de pollution [5].

1.2.2. Types de pollution :

1. Pollution physique :

Elle est due aux agents physiques (tout élément solide entraîné par l'eau). Elle regroupe la pollution mécanique (effluents solides), la pollution thermique (réchauffement de l'eau par des usines) et la pollution atomique (retombées de radioéléments issus des explosions d'armes nucléaires, résidus des usines atomiques et accidents nucléaires) [4].

2. Pollution chimique :

La pollution chimique de l'eau est due essentiellement aux déversements de polluants organiques et des sels de métaux lourds par les unités industrielles. L'enrichissement des sols pour intensifier l'agriculture par diverses catégories d'engrais et de pesticides est également à l'origine de la pollution chimique des sources et des nappes souterraines [6].

3. Pollution microbiologique :

Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes. L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre grands groupes, par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes [7].

4. Pollution par le phosphore :

Le phosphore a pour origine les industries du traitement de surfaces des métaux, les laveries industrielles des fabrications, d'engrais agroalimentaire [8].

Le phosphore est un élément nutritif, Sa présence en abondance dans les milieux hydrauliques superficiels est une problématique, il est à l'origine du phénomène d'eutrophisation c'est-à-dire la prolifération excessive d'algues et de plancton dans les milieux aquatiques [9].

5. Pollution par l'azote :

L'élément azote existe principalement sous forme ionique (ammonium NH_4^+ , nitrite NO_2^- et nitrate NO_3^-) ainsi que sous forme gazeuse (N_2). L'origine de ces polluants est par ordre décroissant : L'utilisation massive des engrais, le développement industriel et le rejet des eaux résiduaires urbaines. Nos eaux usées contiennent de l'azote organique et de l'azote ammoniacal. Ces ions se transforment en milieu acide faible en ions nitrites qui sont toxiques pour l'organisme humain, puis en nitrates qui constituent aussi un agent fertilisant susceptible de favoriser le développement excessif des algues dans le milieu aquatique [1].

1.3. Définition des eaux usées :

Les eaux usées constituent l'ensemble des déchets liquides produits par l'homme pour ses propres besoins et au cours de ses activités domestiques, agricoles et industrielles, les eaux usées constituent un milieu de culture pour de très nombreuses espèces de micro organismes pathogènes et à ce titre elles pouvant être à l'origine de graves problèmes de santé publique surtout dans les pays où les conditions d'hygiène sont défavorables [10].

1.4. Origine des eaux usées :

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

1.4.1. Les eaux usées domestiques :

Les eaux usées d'origine domestique sont issues de l'utilisation de l'eau (potable dans la majorité des cas) par les particuliers pour satisfaire tous les usages ménagers. Lorsque les habitations sont en zone d'assainissement collectif, les eaux domestiques se retrouvent dans les égouts. Elles constituent l'essentiel de la pollution et se composent [7, 11, 12]:

- ✚ Des eaux de cuisine, qui contiennent des matières minérales en suspension provenant du lavage des légumes, des substances alimentaires à base de matières organiques, (glucides, lipides protides), et des produits détergents ;
- ✚ Des eaux de buanderie, contenant principalement des détergents ;
- ✚ Des eaux de salle de bains, chargées en produits utilisés pour l'hygiène corporelle, généralement de matières grasses hydrocarbonées ;
- ✚ Des eaux de vannes, qui proviennent des sanitaires (WC), très chargées en matières organiques hydrocarbonées, en composés azotés, phosphorés et en microorganismes.

1.4.2. Les eaux usées industrielles :

Elles sont représentées par les rejets des exploitations industrielles et semi-industrielles (station de lavage et graissage, station d'essences, etc. Qui sont caractérisés par une grande diversité de la composition chimique, présentant ainsi un risque potentiel de pollution [13].

Elle sont très différent des eaux usées domestique, Leur caractéristiques varient d'une industrie à l'autre, En plus de matière organiques, azotées ou phosphorées, elles sont chargées en substances chimiques, organique et métallique, selon leur origine industrielle elle peuvent également contenir [14] :

- ✚ Des hydrocarbures (raffineries)
- ✚ Des métaux (métallurgie)
- ✚ Des acides, des bases et diverse produits chimiques
- ✚ De l'eau chaude (circuit de refroidissement des centrales thermique)
- ✚ Des matières radioactives (centrales nucléaires)

1.4.3. Les eaux usées agricoles :

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

présenter, des risques pour l'environnement et plus particulièrement pour la qualité des eaux.

Il s'agit principalement des [15] :

- ✚ Fertilisants (engrais minéraux du commerce ou déjections animales produites ou non sur l'exploitation)
- ✚ Produits phytosanitaires (herbicides, fongicides, insecticides).

1.4.4. Les eaux pluviales :

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

Les eaux qui ruissellent sur les toitures, les cours, les jardins, les espaces verts, les voies publiques et les marchés entraînent toutes sortes de déchets minéraux et organiques : de la terre, des limons, des déchets végétaux, etc., et toutes sortes de micropolluants (hydrocarbures, pesticides, détergents, etc. [16].

1.5. Caractéristiques des eaux usées :

Les normes de rejet des eaux usées, fixent des indicateurs de qualité physico-chimique et biologique, ce potentiel de pollution généralement exprimés en mg/l, est quantifié et apprécié par une série d'analyse. Certains de ces paramètres sont indicateurs de modifications que cette eau sera susceptible d'apporter aux milieux naturels récepteurs. Pour les eaux usées domestiques, industrielles et les effluents naturels, on peut retenir les analyses suivantes [17].

1. Les paramètres organoleptiques :

1.1. La couleur :

Une eau pure observée sous une lumière transmise sur une profondeur de plusieurs mètres émet une couleur bleu clair car les longueurs d'ondes courtes sont peu absorbées alors que les grandes longueurs d'onde (rouge) sont absorbées très rapidement [18]. La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration [19].

1.2. Odeur :

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

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

- ✓ La qualité de cette sensation particulière est provoquée par chacune de ces substances [20].

2. Les paramètres physico-chimiques :

Ils résultent de l'introduction dans un milieu des substances conduisant à son altération, se traduisant généralement par des modifications des caractéristiques physico-chimiques du milieu récepteur. La mesure de ces paramètres se fait au niveau des rejets, à l'entrée et à la sortie des usines de traitement et dans les milieux naturels.

2.1. La température :

La température est un facteur écologique important des milieux aqueux. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique (pollution thermique). Elle joue un rôle important dans la nitrification et la dénitrification biologique. La nitrification est optimale pour des températures variant de 28 à 32°C par contre, elle est fortement diminuée pour des températures de 12 à 15°C et elle s'arrête pour des températures inférieures à 5°C [19].

2.2. Potentiel hydrogène (pH):

Les organismes sont très sensibles aux variations du pH, et un développement correct de la faune et de la flore aquatique n'est possible que si sa valeur est comprise entre 6 et 9. L'influence du pH se fait également ressentir par le rôle qu'il exerce sur les autres éléments comme les ions des métaux dont il peut diminuer ou augmenter leur mobilité en solution bio disponible et donc leur toxicité. Le pH joue un rôle important dans l'épuration d'un effluent et le développement bactérien.

2.3. La turbidité :

La turbidité est inversement proportionnelle à la transparence de l'eau, elle est de loin le paramètre de pollution indiquant la présence de la matière organique ou minérale sous forme colloïdale en suspension dans les eaux usées. Elle varie suivant les matières en suspension (MES) présentes dans l'eau [21].

2.4. Les matières en suspension (MES) :

Ce sont des particules solides très fines qu'on peut voir à l'œil nu. Théoriquement, elles déterminent la turbidité de l'eau et limitent la pénétration de la lumière diminuant ainsi la teneur en oxygène dissous et nuisent au développement de la vie aquatique [22].

MES s'expriment par la relation suivante :

$$\text{MES} = 30\% \text{ MMS} + 70\% \text{ MVS} \quad (\text{Eq 1.1})$$

2.5. La conductivité électrique (CE) :

La conductivité d'une eau fournit une indication précise sur sa teneur en sels dissous (salinité de l'eau). Elle s'exprime en $\mu\text{S}/\text{cm}$ et elle est l'inverse de la résistivité qui s'exprime en ohm/cm . La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau [16].

2.6. Oxygène dissous (OD):

L'oxygène est toujours présent dans l'eau. Sa solubilité est en fonction de la pression partielle dans l'atmosphère et de la salinité. La teneur de l'oxygène dans l'eau dépasse rarement 10 mg/l. Elle est en fonction de l'origine de l'eau ; l'eau usée domestique peut contenir de 2 à 8 mg/l [23].

2.7. Résidu Sec (RS) :

Le résidu Sec donne une information sur la teneur en substances dissoutes non volatiles (le taux des éléments minéraux). Suivant le domaine d'origine de l'eau cette teneur peut varier de moins de 100 mg/l (eaux provenant de massifs cristallins) à plus de 1000 mg/l [24].

Une certaine quantité d'eau bien mélangée est évaporée dans une capsule tarée. Le résidu desséché est ensuite pesé [25].

2.8. Salinité :

C'est la masse de sels (composés ioniques) dissous dans 1L d'eau. Elle s'exprime en g par Kg d'eau. Un composé ionique ou solide ionique cristallin est constitué de cations (ions chargés positivement) et d'anion (ion chargés négativement) régulièrement disposés dans l'espace. Globalement, un cristal ionique est électriquement neutre. Chaque solide ionique cristallin

possède une formule statistique qui indique la nature et la proportion des ions présents sans en mentionner [26].

3. Les paramètres de pollution :

3.1. Demande chimique en oxygène (DCO) :

Elle correspond effectivement à la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder dans des conditions opératoires définies, les matières organiques présentes dans un échantillon donné. L'oxydation est réalisée ici par un réactif ayant un pouvoir d'oxydation puissant (le permanganate de potassium à chaud en milieu acide). La quantité de réactif consommé pour l'oxydation des matières organiques présentes, rapportée en mg/l d'oxygène, correspond à la DCO [27].

3.2. Demande biologique en oxygène (DBO₅) :

La demande biochimique en oxygène (DBO) est définie comme la quantité d'oxygène consommée dans les conditions de l'essai, c'est-à-dire après incubation durant 5 jours, à 20°C et dans l'obscurité, par certaines matières présentes dans l'eau, principalement pour assurer leur dégradation par voie biologique. La mesure de la quantité d'oxygène consommée est suivie dans une solutionensemencée ou non [28].

Le rapport DCO/DBO₅ est l'indice de la biodégradabilité d'une eau.

La biodégradabilité traduit d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les micro-organismes qui interviennent dans le processus d'épuration biologique des eaux.

La biodégradabilité est exprimée par un coefficient k tel que [29]:

$$k = \text{DCO} / \text{DBO}_5 \quad (\text{Eq 1.2})$$

Si $k < 1,5$: cela signifie que les matières oxydables sont constituées en grande partie de matières fortement biodégradables ;

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

Si $2,5 < k < 3$: les matières oxydables sont peu biodégradables.

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

Un coefficient k très élevé traduit la présence dans l'eau d'éléments inhibiteurs de la croissance bactérienne, tels que, les sels métalliques, les détergents, les phénols, les hydrocarbures, etc.

La valeur du coefficient k détermine le choix de la filière de traitement à adopter, si l'effluent est biodégradable on applique un traitement biologique, sinon on applique un traitement physico-chimique

3.3. L'azote :

L'azote présent dans l'eau peut avoir un caractère organique ou minéral. L'azote organique est principalement constitué par des composés tels que des protéines, des polypeptides, des acides aminés. Le plus souvent ces produits ne se trouvent qu'à de très faibles concentrations. Quant à l'azote minéral, il constitue la majeure partie de l'azote total [21]. Les différentes formes de l'azote qui existent dans les eaux usées sont :

a) L'azote de Kjeldahl :

L'azote de Kjeldahl comprend l'azote sous les formes organiques et ammoniacales (NH_4^+), à l'exclusion des formes nitrites et nitrates. La présence d'azote organique est un signe de pollution des eaux usées

$$\text{NTK (Azote Kjeldahl)} = \text{N organique} + \text{N ammoniacal (NH}_4^+) \quad (\text{Eq 1.3})$$

b) L'azote ammoniacal :

La présence d'ammoniaque en quantités importante est l'indice de contamination par des rejets d'origine humaine ou industrielle. L'ammoniaque présente une forte toxicité pour tous les organismes d'eau douce. La proportion de NH_3 augmente en fonction croissante du pH et de la température [18].



c) Les nitrates NO_3^- :

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote. Leur présence associée aux autres éléments nutritifs stimule le développement de la faune aquatique.

Les bactéries nitratâtes (nitrobacters) transforment les nitrites en nitrates. Les nitrates ne sont pas toxiques ; mais des teneurs élevées en nitrates provoquent une prolifération algale qui contribue à l'eutrophisation du milieu. Leur potentiel danger reste néanmoins relatif à leur réduction en nitrites [17,30].

d) Les nitrites NO_2^- :

Les nitrites constituent le stade intermédiaire entre les ions ammonium (NH_4^+) et les nitrates. Les bactéries nitrifiantes (nitrosomonas) transforment l'ammonium en nitrites. Cette opération, qui nécessite une forte consommation d'oxygène, est la nitratisation.

Les nitrites proviennent de la réduction bactérienne des nitrates, appelée dénitrification.

Les nitrites constituent un poison dangereux pour les organismes aquatiques, même à de très faibles concentrations. La toxicité augmente avec la température [30].

3.4. Phosphore total (PT) :

Le phosphore se trouve dans les ERI sous formes:

- D'orthophosphate, soluble PO_4H_2 .
- De polyphosphate qui a tendance à s'hydrolyser en orthophosphate.
- De phosphore non dissous.

La somme de ces diverses formes constitue le phosphore total, dont chaque forme peut être mesurée indépendamment des autres par spectrométrie [9, 17].

Les phosphates PO_4^{3-} sont généralement responsables de l'accélération du phénomène eutrophisation dans les lacs ou les rivières. S'ils dépassent les normes, ceux-ci sont considérés comme indice de contamination fécale entraînant une prolifération des germes, goût et coloration [19].

4. Les paramètres microbiologiques :

La présence des bactéries (coliformes fécaux, coliformes totaux,...) indiquent une contamination de l'eau par des matières fécales.

L'eau ne doit contenir ni microbe, ni bactéries pathogènes, ni virus qui pourraient entraîner une contamination biologique et être la cause d'une épidémie.

Le dénombrement bactérien consiste à rechercher des bactéries, c'est-à-dire se développant en présence d'oxygène. Cette analyse est surtout significative pour l'étude de la protection des nappes phréatiques [31].

4.1. Les coliformes totaux et fécaux :

Sous le terme de «coliformes» est regroupé un certain nombre d'espèces bactériennes appartenant en fait à la famille des *Enterobacteriaceae*.

La définition suivante a été adoptée par l'Organisation internationale de standardisation (ISO). Le terme «coliforme» correspond à des organismes en bâtonnets, non sporogènes, Gram négatifs, oxydase négatifs, facultativement Anaérobies, capables de croître en présence de sels biliaires ou d'autres agents de surface possédant des activités inhibitrices de croissance similaires, et capables de fermenter le lactose (et le mannitol) avec production d'acide et d'aldéhyde en 48 heures, à des températures de 35 à 37 °C.

Les coliformes sont intéressants car un très grand nombre d'entre eux vivent en abondance dans les matières fécales des animaux à sang chaud et de ce fait, constituent des indicateurs fécaux de la première importance.

Les coliformes fécaux sont appelés aussi les coliformes thermo-tolérants, ce sont des coliformes qui fermentent le lactose mais à 44°C. Le germe *Escherichia coli* est le type de coliformes fécaux d'habitat fécal exclusif, sa recherche est donc extrêmement importante[32,33].

4.2. Les streptocoques fécaux (SF) :

Ces bactéries appartiennent à la famille des streptococcaceae, sont des cocci généralement disposées en diplocoques ou en courte chaîne, à gram négatif.

Les concentrations en streptocoques fécaux sont, dans les milieux naturels autres que ceux spécifiquement pollués par le bétail, inférieures à celles des coliformes fécaux. Il faudra tenir compte de cette différence des concentrations (que l'on peut évaluer à un rapport de 1 à 2 ou 4) dans le choix des prises d'essai [33].

4.3. Les virus :

Ce sont des organismes infectieux de très petite taille (10 à 350 nm) qui se reproduisent en infectant un organisme hôte. Les virus ne sont pas naturellement présents dans l'intestin, contrairement aux bactéries. Ils sont présents soit intentionnellement (après une vaccination contre la poliomyélite, par exemple), soit chez un individu infecté accidentellement.

L'infection se produit par l'ingestion dans la majorité des cas, sauf pour le coronavirus où elle peut aussi avoir lieu par inhalation [34].

On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines comprise entre 10³ et 10⁴ particules par litre. Leur isolement et leur dénombrement dans les eaux usées sont difficiles, ce qui conduit vraisemblablement à une sous-estimation de leur nombre réel.

Les virus entériques sont ceux qui se multiplient dans le trajet intestinal ; parmi les virus entériques humains les plus importants, il faut citer les entérovirus (exemple : polio), les *rotavirus*, les rétrovirus, les adénovirus et le virus de l'Hépatite A [35].

4.4. Les bactéries :

Les bactéries sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau. Leur taille est comprise entre 0,1 et 10 µm. Les eaux usées urbaines contiennent environ 10⁶ à 10⁷ bactéries par 100 ml. Parmi les plus communément rencontrées, on trouve les *salmonella* responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux [36].

4.5. Les protozoaires :

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires munis d'un noyau, plus complexes et plus gros que les bactéries. 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 [6].

Parmi les protozoaires les plus importants du point de vue sanitaire, il faut citer *Entamoebahistolytica*, responsable de la dysenterie amibienne et *Giardialambliia* [35].

4.6. Helminthes :

Les helminthes sont rencontrés dans les eaux usées sous forme d'œufs et proviennent des excréments des personnes ou d'animaux infectés et peuvent constituer une source de réinfection par voie orale, respiratoire ou par voie cutanée [37].

La concentration en œufs d'helminthes dans les eaux usées est de l'ordre de 10 à 10^3 œufs par litre. On peut citer, notamment, *Ascaris lumbricades*, *Oxyurisvermicularis*, *Trichuristrichuria*, *Taenia saginata* [38].

1.6. L'équivalent habitant (EH) :

Un équivalent habitant correspond à la pollution quotidienne que génère un individu. Chacun est sensé utiliser 180 à 300 l d'eau par jour.

La quantité de pollution journalière produite par un individu est estimée à 57 g de matières oxydables (MO), 90 g de matières en suspension (MES), 15 g de matières azotées (MA), et 4g de matières phosphorées (MP). Enfin, la concentration des germes est généralement de l'ordre de 1 à 10 milliards de germes pour 100 ml [21].

1.7. Normes internationales :

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

Les normes internationales selon l'organisation mondiale de la santé pour les eaux usées sont représentées dans le tableau suivant [39] :

Tableau (1.1) : Tableau des normes physico-chimiques de rejets de l'OMS (1989) [40].

Paramètres	Normes utilisées (OMS)	Unité
T	30	°C
pH	6.5-8.5	-
O ₂	05	mg/l
DBO ₅	30	mg/l
DCO	90	mg/l
MES	30	mg/l
Zinc	02	mg/l
Chrome	0.1	mg/l
Azote total	50	mg/l
Phosphates	2	mg/l
Hydrocarbures	10	mg/l
Détergents	01	mg/l
Huiles et graisses	20	mg/l

1.8. Normes Algériennes :

Les eaux usées se caractérisent par des paramètres physico-chimiques et bactériologiques, qui permettent de déterminer leur éventuelle origine et de connaître l'importance de leur charge polluante. Avant qu'elles ne soient rejetées dans le milieu naturel et ne le dégradent, elles doivent impérativement obéir à des normes établies pour protéger les milieux récepteurs contre la pollution. Pour cela, elles sont acheminées vers une station d'épuration où elles subissent plusieurs phases de traitement.

Selon les normes Algériennes les valeurs limites maximales de rejet d'effluents sont regroupées dans le **tableau (1.2)**

Tableau (1.2): les valeurs limites des paramètres de rejet dans un milieu récepteur (Journal Officiel de la République Algérienne, 2006) [41].

Les paramètres	Les valeurs maximales	Unités
Températures	30	C°
pH	6,5 à 8,5	-
MES	35	mg/l
DBO ₅	35	Mg/l
DCO	120	mg/l
Azote Kjeldahl	30	mg/l
Phosphates	02	mg/l
Phosphore total	10	mg/l
Cyanures	0.1	mg/l
Aluminium	0.3	mg/l
Cadmium	0.2	mg/l
Fer	03	mg/l
Manganèse	01	mg/l
Mercuré total	0.01	mg/l
Plomb total	0.5	mg/l
Cuivre total	0.5	mg/l
Zinc total	03	mg/l
Huiles et Graisses	20	mg/l
Hydrocarbures totaux	10	mg/l
Fluor et composés	15	mg/l
Étain total	02	mg/l
Composés organiques chlorés	05	mg/l

1.9. Conclusion :

Compte-tenu des éléments présents dans les eaux usées, la réutilisation d'une eau de mauvaise qualité peut présenter des risques pour la santé et l'environnement, la quantité et la composition de contaminants qui parvient dans l'environnement dépend de la population à l'origine de la production des eaux usées.

Les conséquences immédiates ou différées d'un rejet d'eaux usées dans le milieu récepteur sont nombreuses, elles sont dues à la présence d'éléments polluants contenus dans l'eau sous forme dissoute ou particulaire, par conséquent, il faut traiter cette eau pour limiter, voir même éliminer les risques qui posent des problèmes sur la santé des habitants.

Chapitre 2

**Les procédés des
traitements des eaux
usées**

2.1. Introduction :

Le rejet direct des eaux usées dans le milieu naturel perturbe l'équilibre aquatique en transformant le milieu accepteur en égouts. Cette pollution peut aller jusqu'à la disparition de toute vie. Pour cela, il faut épurer et retirer des eaux usées un maximum de déchets, avant de les rejeter dans l'environnement, pour que leur incidence sur la qualité de l'eau, en tant que milieu naturel aquatique, soit la plus faible possible.

L'épuration consiste à éliminer les plus gros débris organiques ou minéraux, retirer les MES de densité différente de l'eau tels que les grains de sables et les particules minérales, et aussi à éliminer les pollutions résiduelles qui pourraient être gênantes en aval (germes pathogènes, azote, phosphore, etc.)

Elle se fait dans des stations d'épuration qui comportent des installations de traitement des eaux et des dispositifs de traitement des boues produites [7].

Les méthodes de traitement des eaux usées sont diverses et peuvent être classées en quatre catégories : les prétraitements, les traitements primaires, secondaires et tertiaires.

2.2. Définition de l'épuration :

En assainissement, l'épuration constitue le processus visant à rendre aux eaux résiduaires rejetées la qualité répondant aux exigences du milieu récepteur il s'agit donc d'éviter une pollution de l'environnement et non de produire de l'eau potable [42].

2.3. Paramètres essentiels pour le choix d'une technologie de traitement des eaux usées [43] :

Les paramètres essentiels qui doivent être pris en compte pour le choix d'une technologie de traitement doivent tenir compte :

- ✚ Des exigences du milieu récepteur.
- ✚ Des caractéristiques des eaux usées, (demande biochimique en oxygène, demande chimique en oxygène, matières en suspension, etc.)
- ✚ Des conditions climatiques (température, évaporation, vent, etc.)
- ✚ De la disponibilité du site.
- ✚ Des conditions économiques (coût de réalisation et d'exploitation).
- ✚ Des facilités d'exploitations, de gestion et d'entretien.

2.4. Rôle des stations d'épuration [44] :

Ce rôle peut être résumé dans les points suivants :

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

2.5. Les procédés de traitements des eaux usées :

Selon le degré d'élimination de la pollution et les procédés mis en œuvre, plusieurs niveaux de traitements sont définis : les prétraitements, le traitement primaire, le traitement secondaire et tertiaire. Dans certains cas des traitements tertiaires sont nécessaires notamment lorsque l'eau épurée doit être rejetée en milieu particulièrement sensible.

2.5.1. Prétraitement :

Les dispositifs de prétraitement physique sont présents dans toutes les stations d'épuration, quels que soient les procédés mis en œuvre à l'aval. Ils ont pour but d'éliminer les éléments solides ou les particulaires les plus grossiers [62]. Il comprend (figure 2.1) :

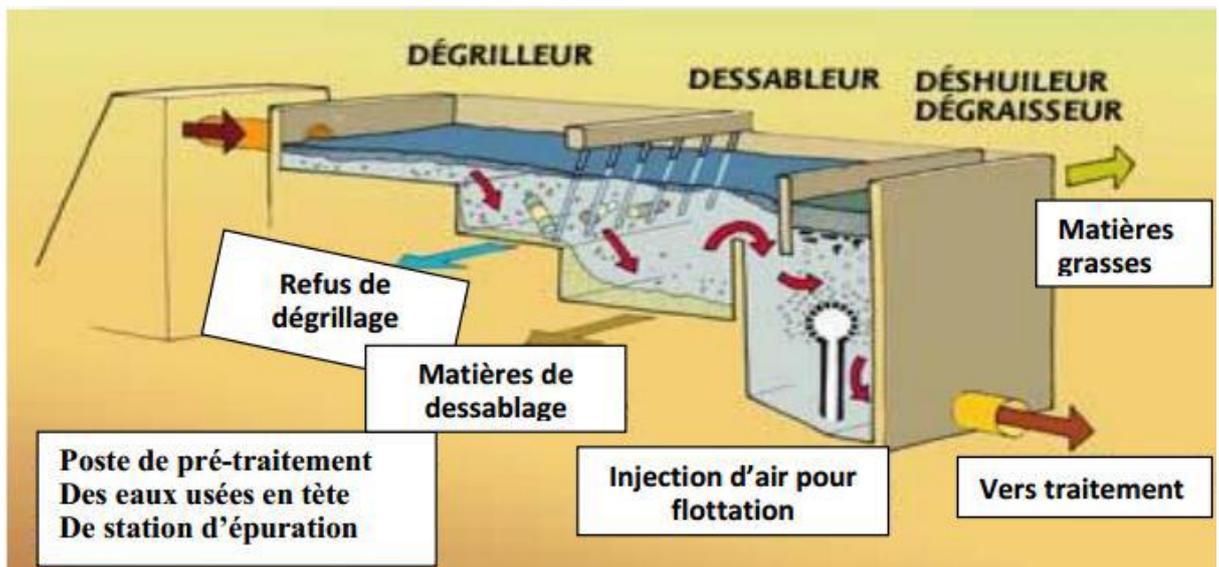


Figure (2.1) : schéma d'un traitement préliminaire d'une STEP [45].

1. Le dégrillage :

Le dégrillage est une opération indispensable pour éliminer de gros objets susceptibles de gêner le fonctionnement des procédés situés en aval. Il permet de séparer et d'évacuer les

matières volumineuses, amenées par l'effluent à traiter. L'efficacité de ce traitement dépend essentiellement de l'écartement des barreaux des grilles qui sont de trois types [46] :

- Dégrillage fin (écartement 3 à 10 mm) ;
- Dégrillage moyenne (écartement 10 à 25 mm) ;
- Dégrillage grossier (écartement 50 à 100 mm) ;

2. Le dessablage :

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes les graviers, les sables et les particules minérales plus ou moins fines de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduites, ainsi pour protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion et à éviter de surcharger les stades de traitements ultérieurs en particulier les réacteurs biologiques.

L'écoulement de l'eau à une vitesse réduite dans un bassin appelé "dessableur" entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage. Les sables récupérés par aspiration sont ensuite essorés puis lavés avant d'être soit envoyés en décharge, soit réutilisés selon la qualité du lavage. Cette opération concerne les particules minérales de granulométrie supérieure à 100 μ m [47].

3. Déshuilage dégraissage :

Les opérations de dégraissage et de déshuilage consistent en une séparation de produits de densité légèrement inférieure à l'eau, par effet de flottation.

Le dégraissage est une opération de séparation liquide-solide réalisant un compromis entre une rétention maximale des graisses et un dépôt minimale de boues de fonde fermentescibles.

Le terme déshuilage est habituellement réservé à l'élimination d'huiles présentes en quantité notable dans les eaux résiduaires. Le déshuilage est une opération de séparation liquide-liquide [48].

2.5.2. Traitement primaire :

Le traitement primaire consiste en une simple décantation. Elle permet d'alléger les traitements biologiques et physico-chimiques ultérieurs, en éliminant une partie des solides en suspension. L'efficacité du traitement dépend du temps de séjour et de la vitesse ascensionnelle [49].

La décantation primaire permet d'éliminer, pour une vitesse ascensionnelle de 1,2 m/h, 40 à 60% de MES, soit 40% de MO, 10 à 30 % de virus, 50 à 90% des helminthes et moins de 50% des kystes de protozoaires et entraîne également avec elle une partie des micropolluante.

1. La décantation physique (naturelle) :

La décantation est utilisée dans pratiquement toutes les usines d'épuration et de traitement des eaux, c'est un procédé de séparation des matières en suspension et des colloïdes rassemblés en floc dont la densité est supérieure à celle de l'eau ; elle s'effectue selon un processus dynamique, en assurant la séparation des deux phases solide-liquide de façon continue. Les particules décantées s'accumulent au fond du bassin, d'où on les extrait périodiquement. L'eau récoltée en surface est dite clarifiée. Elle est dirigée vers un autre stade d'épuration [17].

2. La décantation physico-chimique :

Si les particules sont très fines (colloïdales), ils peuvent rester en suspension dans l'eau très longtemps, ces dernières n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres. Pour les éliminer, on a recours aux procédés de coagulation et de floculation qui ont pour but de déstabiliser les particules en suspension et faciliter leur agglomération. Par l'injection des réactifs tels que : (le sulfate d'alumine, le sulfate ferrique) pour coagulation et pour la floculation on trouve : les flocculant minéraux, les flocculant organiques [50].

3. La flottation :

La flottation est un procédé de séparation solide-liquide ou liquide-liquide qui s'applique à des particules dont la masse volumique est inférieure à celle du liquide qui les contient [51]. Pour l'extraction des particules en suspension, on fait appel à des techniques de clarification et d'épaississement par insufflation d'air. Les bulles d'air s'accrochent aux particules fines à éliminer en les ramenant à la surface de l'eau [52]. Ce traitement élimine 50 à 55 % des matières en suspensions et réduit d'environ 30% de la DBO₅ et de la DCO [51].

2.5.3. Traitement biologique (traitement secondaire) :

Les traitements secondaires également appelés traitements biologiques visent à dégrader la matière organique biodégradable contenue dans l'eau à traiter. Des microorganismes mis en contact avec l'eau polluée assimilent la matière organique qui, leur sert de substrat de croissance. L'ensemble de la pollution avec les microorganismes vivants forme la liqueur mixte ou boue biologique contenue dans des bassins de traitement biologique. En règle générale, l'élimination complète de la pollution organique de ces bassins

se déroule en conditions aérées par des souches aérobies strictes ou facultatives. Plusieurs procédés existent à ce stade du traitement biologique. Ce sont les procédés à culture en suspension ou procédés à boues activées, les procédés à culture fixée (disques biologiques rotatifs, lits bactériens, etc.), les procédés à décantation interne (lagunage), les techniques d'épandage-irrigation, etc.

Le traitement par boues activées est très largement utilisé. Il s'agit d'un réacteur qui contient les eaux à traiter dans lequel est injectée une boue chargée de bactéries. Les bactéries consomment la matière organique et contribuent aussi à l'élimination de l'azote et du phosphore. A la sortie du réacteur, l'effluent passe dans un clarificateur. La boue décantée est séparée en deux flux : l'un rejoint le réacteur (ensemencement) et l'autre est évacué vers la filière des boues. L'action des bactéries dans le réacteur nécessite de l'oxygène [53].

En traitement biologique on distingue des procédés extensifs et d'autres intensifs.

1. Les procédés biologiques extensifs :

Une lagune aérée utilise le même principe que le lagunage simple dans le quel, l'apport d'oxygène est augmenté par la mise en place d'aérateurs mécaniques. Une lagune aérée est assimilée à un vaste bassin aérobie. Il existe deux types de lagunes aérées :

- ✚ Les lagunes aérobies dans laquelle on maintient une concentration en oxygène dissous dans tout le bassin.
- ✚ Les lagunes facultatives dans laquelle l'oxygène n'est maintenu que dans la partie supérieure du bassin. Une zone anaérobie est donc présente au fond du bassin.

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 et de ne pas offrir des rendements constants durant l'année [54, 55, 56].

2. Les procédés biologiques intensifs :

Les techniques les plus développées au niveau des stations d'épuration urbaines sont des procédés biologiques intensifs. Le principe de ces procédés est de localiser sur des surfaces réduites et d'intensifier les phénomènes de transformation et de destruction des matières organiques que l'on peut observer dans le milieu naturel. Trois grands types de procédés sont utilisés [57]:

- les lits bactériens.
- les disques biologiques.

- les boues activées.

Deux types d'installations sont utilisés [58]:

1) Les installations à "cultures fixées", d'où on distingue différents types de supports pour les cultures bactériennes : les disques biologiques et lits bactériens.

a) Disques biologiques :

C'est une technique faisant appel aux cultures fixées est constituée par les disques biologiques tournants où se développent les micro-organismes et forment un film biologique épurateur à la surface des disques. Les disques étant semi immergés, leur rotation permet l'oxygénation de la biomasse fixée.

b) Lits bactériens :

Le principe de fonctionnement d'un lit bactérien consiste à faire ruisseler les eaux usées, préalablement décantées sur une masse de matériaux poreux ou caverneux qui sert de support aux micro-organismes (bactéries) épurateurs.

Une aération est pratiquée soit par tirage naturel soit par ventilation forcée. Il s'agit d'apporter l'oxygène nécessaire au maintien des bactéries aérobies en bon état de fonctionnement. Les matières polluantes contenues dans l'eau et l'oxygène de l'air diffusent, à contre-courant, à travers le film biologique jusqu' aux micro-organismes assimilateurs. Le film biologique comporte des bactéries aérobies à la surface et des bactéries anaérobies près du fond. Les sous-produits et le gaz carbonique produits par l'épuration s'évacuent dans les fluides liquides et gazeux. Le rendement maximum de cette technique est de 80 % d'élimination de la DBO₅ [50,54].

2) Les installations à "cultures libres", ou par boues activées :

C'est le procédé le plus répandu actuellement pour l'épuration des eaux résiduaires urbaines des petites, moyennes ou grandes collectivités. Le procédé à boues activées est un système en continu dans lequel des micro-organismes sont mis en contact avec des eaux usées renfermant des matières biodégradables pendant un temps suffisant. Ces amas biologiques sont maintenus en agitation au sein de l'eau de façon à assurer un contact avec toute la partie de l'effluent. L'oxygénation est fournie en quantités suffisantes par des aérateurs [59].

Ainsi, dans le bassin d'aération, en présence d'oxygène, les micro-organismes vont se développer et se reproduire aux dépens des matières biodégradables formant ainsi des floccs

décantables, orientés par la suite vers un clarificateur (**figure 2.2**). A la sortie une eau traitée et des boues seront produites, une partie de ces boues sera expédiée vers les organes de traitement de boues et l'autre partie réintroduite dans l'aérateur [60].

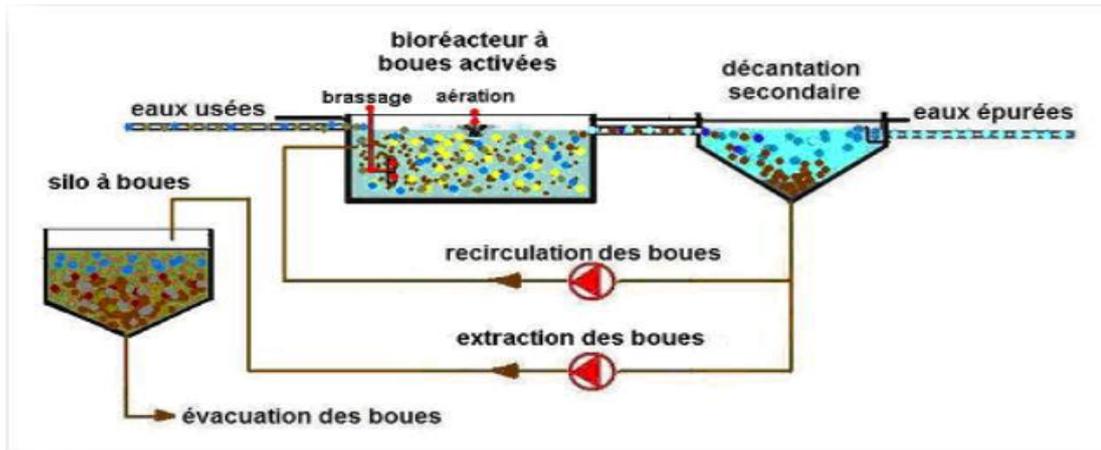


Figure (2.2): Schéma d'un procédé à boues activées [61].

2.1. Paramètres de fonctionnement des stations à boues activées:

Le procédé à boues activées est défini par les paramètres suivants :

a) Charge massique :

La charge massique C_m est le rapport entre la quantité de pollution dont le substrat introduit dans ce réacteur et la masse de boues activées MVS dans ce réacteur. Cette notion C_m est importante car elle conditionne pour les différents paramètres de boue le fonctionnement de la boue activée, tel que [62]:

- Le rendement épuratoire.
- La production des boues
- Le degré de stabilisation de boues en excès produites
- Les besoins en oxygène ramenés à la pollution éliminée.

$$C_m = \frac{DBO_5 \times Q_j}{V_{BA} \times MVS} \quad (\text{Eq 2.1})$$

C_m : la charge massique (kg DBO₅ / kg MVS.j).

V_{BA} (m³): volume de bassin d'aération.

MVS (kg/m³): concentration en matière sèche.

Q_j (m³/j): débit journalier d'eau résiduaire à épurer.

b) La charge volumique (C_v) :

La charge volumique C_v est le rapport de la pollution journalière reçue en Kg de DBO_5 au volume du bassin d'aération. Cette donnée permet d'évaluer le volume de bassin et elle n'a aucune signification biologique [62].

$$C_v = \frac{DBO_5 \times Q_j}{V_{BA}} \quad (\text{Eq 2.2})$$

C_v : la charge volumique kg DBO_5 / $m^3 \cdot j$.

$V_{BA}(m^3)$: volume de bassin d'aération.

$Q_j (m^3/j)$: débit journalier d'eau résiduaire à épurer.

c) Age des boues :

L'âge des boues est un rapport entre la masse des boues présentes dans le réacteur et la masse journalière des boues extraite de la station. Cette notion d'âge de boue traduit la présence ou l'absence de germe nitrifications [62].

$$\text{Age} = \frac{C_{bt}}{C_{bex}} = \frac{MES_{BA} \times V_{BA}}{C_{bex}} \quad (\text{Eq 2.3})$$

Age: âge des boues (h).

$C_{b.t}$: concentration en solide (ou solide volatil) de la liqueur mixte (mg/l).

$C_{b.ex}$: concentration en solide (ou solide volatil) des boues (mg/l).

L'âge des boues est inversement proportionnel à la charge massique.

d) Indice de Mohlman :

L'indice de décantation dite l'indice de Mohlman, est l'un des paramètres utilisés dans les contrôles des boues biologiques des STEP des eaux usées. Cet indice détermine le volume de boue activée décantée en une demi-heure (en ml) par rapport à la masse de résidu sec de cette boue [52].

$$I_m = V_{30} / M \quad (\text{Eq 2.4})$$

Avec :

V30: volume de boue obtenu après 30 minutes de décantation d'un litre de boue activée.

Une boue activée de bonne qualité a un indice de Mohlman inférieur ou égal à 100.

e) Besoins en oxygène :

Les Besoins en oxygène réclamés par l'élimination de la pollution carbonée et azotée se décomposent en [52] :

-besoins nécessaires à la synthèse cellulaire des micro-organismes, proportionnelle à la masse de la pollution carbonée assimilée.

-les besoins consommés par l'énergie d'entretien des micro-organismes présents dans le réacteur biologique.

-Les besoins nécessaires pour l'oxydation de l'azote ammoniacal.

2.2. Classement des procédés par boues activées :

Les populations microbiennes des boues activées sont complexes et ne peuvent se définir qu'au moyen des principaux groupes suivants : bactéries, champignons, protozoaires et métazoaires.

L'essentiel de l'épuration est dû à la microflore peut constituer 10^{11} à 10^{12} bactéries par gramme de matières sèches.

La nature de la microfaune est sujette à divers facteurs tels que la composition chimique de l'effluent, la proportion d'azote présente, la charge massique et le temps de séjours.

Alors l'examen de la microfaune, prédatrice est très révélateur de l'état d'une boue activée et il constitue pour un biologiste le plus sûr moyen de diagnostiquer le fonctionnement d'un bassin de boues activées et de connaître les éventuelles solutions à apporter en cas de mauvais fonctionnement, [55, 64-66]. Le tableau (2.1) présente différents systèmes d'épuration biologique par boues activées.

Tableau (2.1): Classement des procédés par boues activées [67].

Appellation	Charge massique C_m (Kg DBO ₅ /Kg MVS .j)	Charge volumique C_v (KgDBO ₅ /m ³ .j)	Agés des boues en jour	Rendement R d'élimination de la DBO ₅
Faible Charge	$C_m < 0,15$	$C_v < 0,40$	10 à 30	$R \geq 90\%$ Nitrification possible
Moyenne Charge	$0,15 \leq C_m < 0,4$	$0,5 < C_v < 1,5$	4 à 10	$R = 80 \text{ à } 90\%$ Nitrification possible aux températures élevées
Forte Charge	$0,4 \leq C_m < 1,2$	$1,5 < C_v < 3$	1,5 à 4	$R < 80\%$

2.5.4. Le traitement tertiaire :

Les traitements complémentaires appelés aussi tertiaires, avancés, ou de finissage, sont des procédés qui permettent d'améliorer la caractéristique d'une eau résiduaire après un traitement biologique ou un traitement physico-chimique.

On leur fait appel lorsqu'il est nécessaire d'assurer une protection complémentaire de milieu récepteur ou en raison d'une réutilisation immédiate. [68].

Les traitements tertiaires englobent, principalement, l'élimination de l'azote, l'élimination du phosphore et la désinfection, mais aussi le traitement des odeurs.

1.Élimination de l'azote :

Les stations d'épuration classique, prévues pour éliminer les matières carbonées, n'éliminent que des quantités réduites d'azote présent dans eaux usées. Pour satisfaire aux normes de rejet en zones sensibles, des traitements complémentaires doivent être mis en place.

L'élimination de l'azote est, le plus souvent, obtenue grâce à des traitements biologiques, de « nitrification-dénitrification ».

Les procédés physique et physico-chimiques d'élimination de l'azote (électrodialyse, résines échangeuses d'ions) ne sont pas utilisés dans le traitement des eaux résiduaires urbaines, pour des raisons de rendement et de cout [69].

2.Élimination du phosphore :

L'élimination du phosphore, ou "déphosphatation", peut être réalisée par des voies physico-chimiques ou biologiques. En ce qui concerne les traitements physico-chimiques, l'adjonction de réactifs, comme des sels de fer ou d'aluminium, permet d'obtenir une précipitation de phosphates insolubles et leur élimination par décantation. Ces techniques, les plus utilisées actuellement, éliminent entre 80 % et 90 % du phosphore, mais engendrent une importante production de boues [70].

3. Désinfection :

La désinfection vise à réduire la concentration des germes pathogènes dans les effluents avant rejet dans l'environnement. Contrairement aux normes de désinfection pour la production d'eau potable qui spécifie l'absence totale de coliformes, les normes de rejets pour

les eaux résiduaires urbaines ERU varient suivant la nature du milieu récepteur. On peut distinguer deux catégories de traitement :

- Les procédés extensifs comme le lagunage et l'infiltration-percolation (filtration à travers un massif filtrant). Dans le cas du lagunage, il ne subsistera qu'une bactérie pour 1000 ou 10 000 présentes dans l'eau résiduaire alors que dans le second il n'en subsistera qu'une pour 100 ou 1000.
- Les procédés physico-chimiques intensifs comme la désinfection par le chlore, l'ozone ou la filtration sur membranes d'ultra ou de microfiltration [60].

4. Traitement des odeurs :

La dépollution des eaux usées produit des odeurs, qui sont parfois perçues comme un gêne par les riverains des stations d'épuration. Les principales sources de mauvaises odeurs sont les boues et leur traitement, ainsi que les installations de prétraitement.

Le seuil de tolérance de ces nuisances olfactives est subjectif et aucune norme en matière d'émissions malodorantes n'existe. Cependant, les exploitants de stations d'épuration cherchent à limiter les odeurs dégagées par les traitements.

La conception des stations est le premier élément permettant de limiter l'émission d'odeurs dans le voisinage. Il faut, par exemple, veiller à réduire les surfaces d'échange entre l'air et les eaux usées.

Ainsi, les ouvrages les plus odorants sont souvent regroupés pour concentrer l'émission d'effluves nauséabonds. Leur couverture est aussi une manière d'atténuer les émissions malodorantes.

Des installations de désodorisation chimique ou biologique sont également mises en place, au sein des stations d'épuration. La désodorisation chimique est la technique la plus utilisée. Les gaz malodorants sont captés puis envoyés dans des tours de lavage, où un liquide désodorisant est pulvérisé. Ces lavages peuvent comporter de la soude, de l'acide et/ou de l'hypochlorite de sodium (eau de javel), réactifs qui captent ou neutralisent les mauvaises odeurs [71].

2.6. Le traitement des boues :

Les boues résiduaires se présentent sous une forme liquide et avec une forte charge en matière organique hautement fermentescible. Ces deux caractéristiques sont gênantes et posent beaucoup de problèmes techniques pour leur évacuation «quelle que soit la

destination», parmi lesquels leur transport et leur stockage qui conduisent souvent à des problèmes de manipulation et des nuisances olfactives. Ceci impose le choix d'une filière de traitement dès l'installation de la STEP. Le traitement des boues a pour objectifs de :

- La **stabilisation** pour empêcher ou réduire les problèmes de fermentation et d'éviter ainsi les nuisances olfactives. La stabilisation peut être **biologique** par voie aérobie (compostage) ou anaérobie (méthanisation) ou **chimique** (chaulage ou autres traitements) [72]. La stabilisation biologique présente l'avantage de limiter l'évolution ultérieure de la composition des boues.
- La **déshydratation** et la concentration des boues qui a pour objectif de réduire leur volume (plus de 97 % d'eau) par épaissement et/ou par déshydratation pour faciliter par la suite leur transport et leur stockage. Selon la puissance du procédé de séchage utilisé, épaissement, déshydratation ou séchage thermique, on obtient des boues à différents pourcentages de siccité : Boues liquides (4 à 10 %), Boues pâteuses (10 à 25%), Boues solides (25 à 50 %), Boues granulées ou en poudre pour une siccité supérieure à 85 % [73].

1. La mise en décharge contrôlée :

La mise en décharge contrôlée consiste en un enfouissement des boues (souvent mélangées avec les ordures ménagères) en tenant en compte de certaines conditions : compactage des résidus, site étanche, récupération et traitement des jus de décharges (lixiviats), équipement et gestion du site [74]. Les boues doivent être préalablement stabilisées et déshydratées (humidité maximale de 70 %). Cette solution a perdu progressivement de son intérêt et se retrouve actuellement interdite pour des raisons financières (procédure de fermeture ...) et pour des problèmes environnementaux tels que les odeurs nauséabondes, pullulation de moustiques, entraînement d'éléments fertilisants (nitrates, phosphates) et de produits toxiques par les eaux superficielles et contamination des nappes d'eaux souterraines [75]. Les décharges ne doivent plus accepter que des déchets qui ne peuvent plus être raisonnablement valorisés ou à caractère non dépolluables ou dangereux appelés aussi déchets ultimes.

2. L'incinération :

Elle réalise la destruction de la matière organique des déchets par combustion à haute température (Supérieur à 500 °C) produisant des fumées et des matières minérales résiduelles nommées cendres. Dans l'objectif d'une valorisation énergétique des déchets, la chaleur

produite est récupérée sous forme de vapeur ou d'électricité pour le fonctionnement du four lui-même, pour le chauffage urbain ou industriel [76]. Les résidus de l'incinération (mâchefer) sont utilisables pour les travaux publics [77].

Cependant, malgré l'intérêt de ce procédé pour une réduction importante des volumes de déchets, il présente des contraintes principalement liées à un investissement très coûteux. Les boues seules ne sont pas auto combustibles, elles nécessitent des fours spéciaux et un mélange avec d'autres déchets tels les déchets ménagers. Cette technique reste aussi néfaste de point de vue écologique et environnemental puisqu'elle contribue en plus du gaspillage de matières organiques utiles pour le sol à la diffusion de gaz très toxiques (NO, NO₂, CO, SO, etc). Qui ont fait l'objet de réglementations spécifiques [78].

3. Utilisation agricole des boues :

La valorisation agricole des boues résiduaires peut être considérée comme le mode de recyclage le plus adapté pour rééquilibrer les cycles biogéochimique (C, N, P), pour la protection de l'environnement et d'un très grand intérêt économique. Elle vise à ménager les ressources naturelles et à éviter tout gaspillage de matière organique dû à l'incinération ou à l'enfouissement dans les décharges [79].

2.7. Conclusion :

Le traitement des eaux usées est un processus très important pour la vie quotidienne des habitants des villes et du monde rural. On effectue l'épuration des eaux usées non seulement pour protéger la santé de la population et éviter les maladies contagieuses, mais aussi pour protéger l'environnement. Aujourd'hui, ce dernier but devient de plus en plus important et les techniques de traitement et les stations d'épuration évoluent constamment. Les traitements usuels (primaires et secondaires) ont été complétés par des traitements qui visent à éliminer le plus possible de substances nocives pour les écosystèmes (tertiaires).

Partie 2

Etude expérimentale

Chapitre 3
Prélèvements,
Echantillonnages,
Matériels et
Méthodes

3.1. Introduction :

Dans toute station d'épuration des eaux usées, il est nécessaire d'effectuer des analyses de l'eau brute (l'entrée) et de l'eau traitée (la sortie) afin de déterminer les différents paramètres physicochimiques et bactériologiques permettant d'évaluer le niveau de pollution dans chaque phase de traitement. L'objectif principal de ce travail est de faire un contrôle de la qualité des eaux usées à différentes étapes du processus de la station d'épuration des eaux usées de Ain Defla en vue d'un meilleur respect des normes de rejet.

3.2. Présentation de la station d'épuration de Ain Defla :

La station d'épuration des eaux usées de la ville d'Ain Defla se situe à 3 km Nord EST de la ville. L'année de mise en service est le 21 Avril 2007.

Cette station d'épuration est d'une superficie de 5 hectares et d'une capacité de traitement de 12900 m³/j.

La station d'épuration de Ain Defla est de type boues activées à faible charge, Contient des filières d'eau :

- ✚ Un poste de relevage
- ✚ Un dégrilleur grossier
- ✚ Un dégrilleur fin
- ✚ Un dessableur,
- ✚ Un déshuileur,
- ✚ Deux bassins biologiques avec six aérateurs chacun,
- ✚ Deux clarificateurs,

Et filière Boue: un épaisseur et 20 lits de séchage pour la déshydratation naturelle.

Le milieu récepteur des eaux épurées c'est Oued Chlef [80].

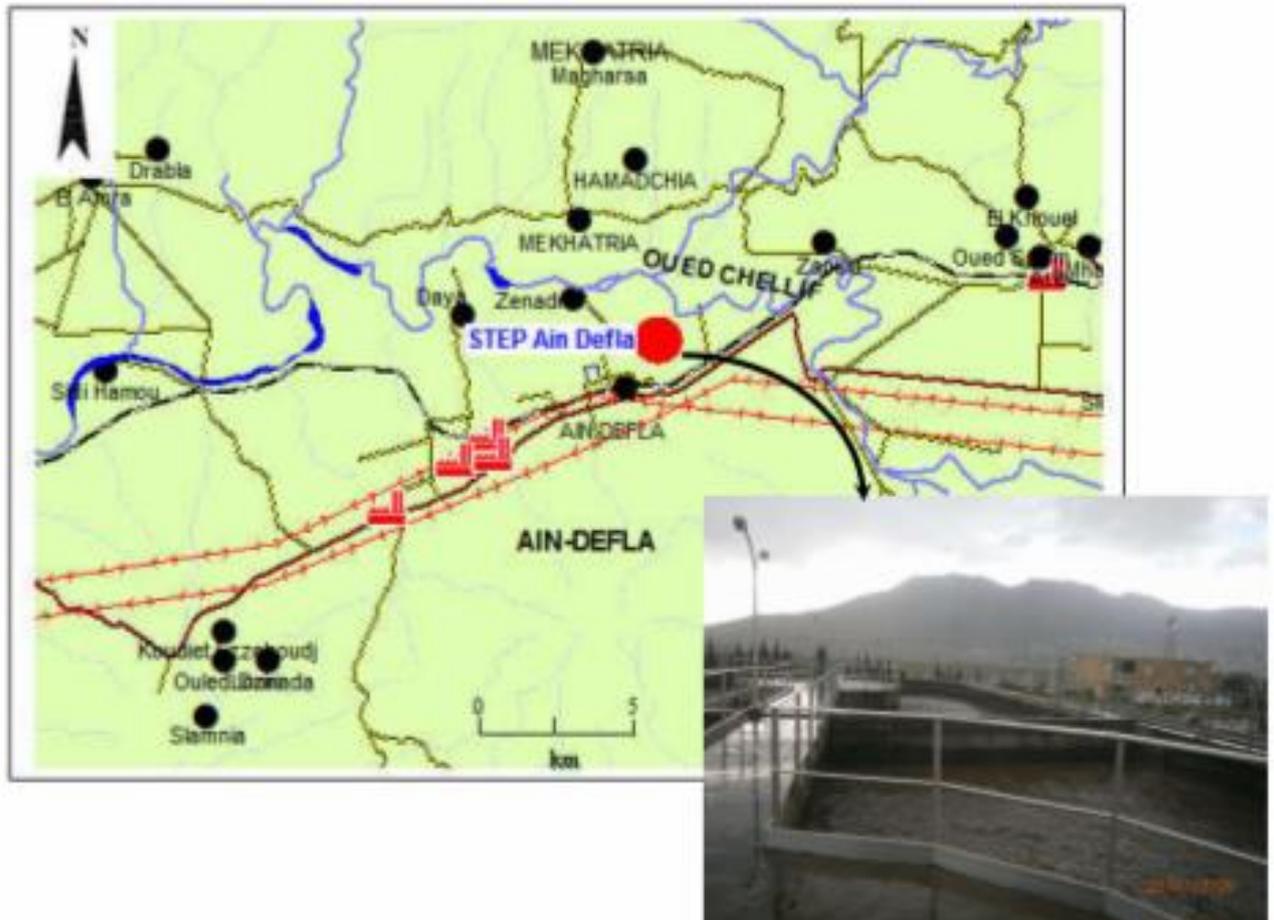


Figure (3.1) : Plan de la situation géographique de la STEP d'Ain Defla

3.3. Prélèvement des échantillons d'eau :

En dehors des études de contrôle et des recherches scientifiques, la plupart des prélèvements d'eau résulte de l'application des textes législatifs et réglementaires ayant pour objet l'hygiène publique, la lutte contre la pollution, la surveillance des installations classées et des stations de traitement.

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à la quelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension, etc.). Étant donné que dans la plupart des cas le responsable du prélèvement n'est pas l'analyste, il convient que le préleveur ait une connaissance précise des conditions du prélèvement et de son importance pour la qualité des résultats analytiques [28].

Quelque soit la méthode adoptée, on doit obéir aux principes de bases suivants :

3.3.1. Localisation des points de prélèvement :

Dans notre travail nous avons procédé au prélèvement de l'eau usée comme suit :
Le prélèvement a été effectué à partir d'une conduite des rejets située à 3 m de hauteur d'un bassin de décantation et à 1 m de hauteur d'un bassin qui contient de l'eau traitée.



(a)

(b)

Figure (3.2) : Photo représentant des points de prélèvement.

(a) L'eau brute (b) L'eau traitée

- Définir les quantités à prélever : le volume nécessaire pour une analyse complète est de 2 litres.
- Stabiliser l'échantillon en le conditionnant dans un récipient hermétique approprié

Les prélèvements seront effectués dans des flacons bien propre en polyéthylène ou en verre borosilicaté, bouchés émeri ou au téflon. Pour une meilleure conservation des échantillons, certains matériels sont à déconseiller comme les bouteilles en plastique ou en caoutchouc, leur réemploi poserait des problèmes de contamination résiduelle. Ainsi que certaines matières sont à proscrire pour éviter toutes contaminations comme la graisse.

Dans notre travail on a utilisé des flacons en verre fumé qui sont lavés et séchés de la manière suivante :

1-Lavage au détergent avec de l'eau chaude plusieurs fois.

2-La verrerie est ensuite abondamment rincée avec de l'eau distillée, puis séchée à l'étuve à 105°C pendant deux heures.

3-Avant remplissage, rincer les flacons avec l'eau à analyser.

4-Eviter toutes bulles d'air dans les flacons.

3.3.2. Conservation des prélèvements :

Pour avoir des résultats analytiques significatifs, il est très important de connaître le devenir de l'échantillon entre le prélèvement et l'analyse. Le moyen le plus courant de conservation des échantillons d'eaux résiduaire consiste à les garder dans une mallette isotherme de température comprise entre 0 et 4°C jusqu'à leur arrivée au laboratoire dans un temps ne dépassant pas les 24 heures [81].

Toutefois, un certain nombre d'analyses sont pratiqués sur place : température, pH, oxygène dissous. En ce qui concerne les matières en suspension, leur mesure doit intervenir dans les 6 heures après le prélèvement.

- ✓ Les conditions climatiques lors du prélèvement (pluie, neige, température, etc.)
- ✓ Etiqueter l'échantillon en précisant l'origine exacte et la date de prélèvement.

3.4. Matériel et appareillages d'analyse :

Les appareillages consignés dans le tableau (3.1) ont été utilisés au cours de notre travail.

Tableau (3.1) : types d'appareillages utilisés pour les différentes analyses.

Paramètres mesurés	Types d'appareils
Température	Multi paramètre modèle WTW 3430i
Conductivité	Multi paramètre modèle WTW 3430i
O ₂ dissous	Multi paramètre modèle WTW 3430i
Salinité	Multi paramètre modèle WTW 3430i
Matières en suspension (MES)	Dispositif de filtration
DCO (mg/l)	Spectrophotomètre modèle DR600 Thermoréacteur.WTW.CR2200
DBO5 (mg/l)	DBO mètre modèle oxitrop
NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , PO ₄ ³⁻ , P _T , N _T	Spectrophotomètre mode DR600
RS	Etuve 105 °C
Turbidité	Turbidimétrie 555 IR

3.5. Les méthodes d'analyse :

-  L'analyse gravimétrie utilisée pour mesurer les MES et le RS.
-  L'analyse volumétrique pour mesurer TA, TAC, TH, Ca²⁺, Mg²⁺ et Cl⁻

- ✚ L'analyse spectrophotométrie utilisée pour mesurer, DCO, DBO₅, NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻, PO₄³⁻, N_T et P_T.

Les analyses physico-chimiques ont été effectuées au niveau de laboratoire de l'ONA de Ain Defla et le laboratoire de Génie des procédés de l'université de Khemis Miliana.

Les analyses microbiologiques ont été effectuées au niveau du laboratoire de la Laiterie ARIB de la wilaya de Ain Defla.

3.5.1. Analyses physico-chimiques :

1. Mesure de pH, la température et la conductivité, l'oxygène dissous et la salinité [80]:

- **Matériel :**

Multi-paramètre muni.

- **Etalonnage :**

L'instrument est étalonné après chaque essai.

- **Mode opératoire :**

-Allumer le multi paramètre.

-Brancher l'électrode de pH.

-Rincer l'électrode avec l'eau distillée.

-Tremper l'électrode de pH dans l'eau à analyser.

-Mettre un agitateur avec faible agitation.

-Laisser stabiliser un moment, puis noter le pH.

-Enlever l'électrode et la rincer abondamment avec l'eau distillée.

-Tremper le deuxième l'électrode dans l'eau à analyser.

-Afficher la température T (°C) et la conductivité (µs/cm) et la salinité.

-Rincer abondamment avec l'eau distillée.

-Brancher l'électrode l'oxygène dissoute.

-Rincer l'électrode avec l'eau distillée.

-Tremper l'électrode d'O₂ dans l'eau à analyser.

-Mettre un agitateur avec faible agitation.

-Laisser stabiliser un moment, puis noter l'O₂.

-Enlever l'électrode et la rincer abondamment avec l'eau distillée.

2. Mesure la Turbidité :

Réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matière non dissoute.

- **Principe :**

Pour tout échantillon d'eau, la mesure de la lumière diffusée et de la lumière transmise permet la détection de matières non dissoutes, absorbant mais diffusant mal, qui passeraient inaperçues par la seule mesure de la lumière diffusée.

- **Mode opératoire :**

Remplir une cuvette de mesure propre et bien essuyer avec du papier hygiénique avec l'échantillon à analyser bien homogénéisé et effectuer rapidement la mesure, il est nécessaire de vérifier l'absence de bulle d'air avant la mesure.

- **Expression des résultats :**

La mesure est obtenue directement en NTU.

3. Mesure des matières en suspension MES [30]:

La détermination des matières en suspension dans l'eau s'effectue par filtration.

- **Principe :**

L'eau est filtrée et le poids de matières retenus par le filtre est déterminé par pesées différentielle.

- **Matériel :**

- Dispositif de filtration sous vide ou sous pression

-Disque filtrants en fibre de verre.

- **Mode opératoire :**

Laver le disque de filtration à l'eau distillée, le sécher (105 °C) jusqu'à masse constante, puis le peser à 0,1 mg près après passage au dessiccateur. Le mettre en place sur l'équipement de filtration. Mettre en service le dispositif d'aspiration ou de pression. Verser l'échantillon (V= 100 ml) sur le filtre. Rincer la fiole ayant contenu l'eau à analyser avec 10 ml d'eau distillée. Faire passer sur le filtre cette eau de lavage.

Laisser essorer le filtre, sécher à 105C°. Laisser refroidir au dessiccateur et peser à 0.1mg près, jusqu'à poids constant.

- **Expression des résultats :**

La teneur de l'eau en matières en suspension (mg/l) est donnée par l'expression

$$\text{MES (mg/l)} = 1000 * (\text{m}_1 - \text{m}_0) / V \quad (\text{Eq 3.1})$$

MES : matière en suspension (mg/l).

m₀ = masse du disque filtrant avant utilisation (mg)

m₁ = masse du disque filtrant après utilisation (mg)

V = Volume d'eau utilisé (ml).

4. Détermination de Résidu Sec :

La détermination des résidus secs permet d'estimer la teneur en matières dissoutes et en suspension d'une eau.

Soit un creuset de masse M_0 , bien séché à l'étuve et refroidis à l'abri de l'humidité dans un dessiccateur. On mesure exactement 25ml d'échantillon à l'aide d'une pipette et on les verse dans le creuset.

On introduit le creuset pendant quatre heures à 105°C dans l'étuve ; puis on le met directement dans un dessiccateur.

Le creuset est ensuite pesé, on note la mesure M_1 .

Le calcul des Résidus secs est donné par la formule :

$$\text{RS (mg/l)} = \frac{M_1 - M_0}{V} \quad (\text{Eq 3.2})$$

3.5.2. Analyses des paramètres indicateurs de pollution [80]:

1. La demande chimique en oxygène (DCO)

- **Le but :**

L'objectif de ce protocole est de définir la procédure pour mesurer la demande chimique en oxygène (DCO).

- **Principe :**

L'échantillon est chauffé pendant 2 heures en présence d'un oxydant (le dichromate de potassium). Les composées organiques oxydables réagissent l'ion bichromate en ion chromique de couleur verte.

- **Matériels :**

- Cuve ronde.
- Spectrophotomètre UV.
- thermoréacteur (CR 2200).
- Pipette.

- **Réactifs:**

- Boite de réactif : LCK 514 (90% d'acide sulfurique, sulfate de mercure, agent sulfate).

- **Mode opération:**

-Ajouter à l'aide de la pipette 2ml de l'échantillon d'eau dans la cuve ronde.

- Fermer et nettoyer l'extérieur de la cuve.
- retourner doucement à plusieurs reprises pour homogénéiser, la cuve deviendra très chaude à l'étape de ce mélange.
- Placer la cuve ronde dans le thermoréacteur.
- Chauffer la cuve ronde pendant 2 heures.
- Attendre environ 20 minutes afin de laisser refroidir la cuve ronde à température ambiante.
- Placer la cuve ronde dans le Spectrophotomètre.
- Les résultats sont affichés directement sur Spectrophotomètre.

2. La demande biochimique en oxygène (DBO₅) :

- **Principe :**

C'est une méthode manométrique avec des manomètres de marque DBO Sensor à affichage numérique qui se fixe directement sur le flacon DBO, Il permet de mesurer la quantité d'oxygène nécessaire aux microorganismes pour dégrader la matière organique dans l'eau.

- **Matériels :**

- Bouteille DBO Sensor.
- Armoire thermorégulatrice.

- **Réactifs :**

- NaOH.

- **Mode opératoire :**

- Introduire un volume d'eau dans un flacon brun en verre contenant un barreau magnétique.
- Mettre deux pastilles de soude (NaOH).
- Fermer les flacons par les têtes et mettre à 0.
- La température est équilibrée par un thermostat réglé à 20°C.
- Les échantillons sont incubés à l'obscurité dans une armoire thermorégulatrice fermée à clé pendant cinq jours.
- Les résultats sont afficher sur la tête de chaque flacon.

3. Dosage de Nitrate NO₃⁻ :

- **Principe :**

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

- **Matériels :**

- Cuve ronde.
- Micropipette.
- Spectrophotomètre UV.

- **Réactif :**

- Boite de réactif LCK 340 (des cuves rondes contiennent 60% d'acide sulfurique, 33% d'acide phosphorique).

-Réactif LCK A.

- **Mode opératoire :**

- Pipeter lentement 0,2 ml d'eau analyser dans la cuve.
- Pipeter lentement 1 ml de la solution A dans la cuve.
- Fermer et retourner 2-3 fois de suite jusqu'à ce le mélange.
- Attendre 15 minutes.
- Bien nettoyer l'extérieur de la cuve ronde et placés dans le spectrophotomètre.
- Le code à barre est identifié, une évaluation automatique est réalisée après l'insertion de la cuve.
- Les résultats sont affichés directement sur le spectrophotomètre.

4. Dosage de Nitrite NO₂⁻ :

- **Principe :**

Les nitrites réagissent en solution acide avec les amines primaires et aromatiques pour donner des sels diazonium. Ceux ci forment avec des composés aromatiques, contenant un amino-groupe ou un hydroxyle, un colorant azoïque de couleur intense.

- **Réactifs :**

- Boite de réactif LCK 341(des cuves rondes contiennent l'acide citrique)

- **Matériel :**

- Cuve ronde.
- Micropipette.
- Spectrophotomètre UV.

- **Mode opératoire :**

- Enlever délicatement la feuille de protection du DosiCap Zip.
- Pipeter lentement 2 ml de l'eau analyser dans la cuve ronde.
- Fermer avec la feuille de DosiCap Zip et mélanger.
- Attendre 10 minutes.

- Bien nettoyer l'extérieur de la cuve ronde et placés dans le spectrophotomètre.
- Le code à barre est identifié, une évaluation automatique est réalisée après l'insertion de la cuve ronde
- La résultat affiché directement sur le spectrophotomètre.

5. Azote ammoniacal N-NH₄⁺ :**• Principe :**

Azote lié organiquement et organiquement est oxydé en nitrate par digestion avec Peroxo disulfate. Les ions nitrate réagissent avec 2,6-diméthyl-phénol dans une solution de l'acide phosphorique pour former un nitrophénol.

• Matériels :

- Cuve en verre.
- Cuve ronde.
- Micropipette.
- spectrophotomètre UV.

• Réactifs :

-Boite de réactif : LCK 238(des cuves rondes contiennent 60% d'acide sulfurique, 33% d'acide phosphorique).

- Réactif de LCK A.
- Réactif de LCK B.
- Réactif de LCK C.
- Réactif de LCK D.

• Mode opératoire :

- Pipeter 0,5 ml de l'eau analysé
- Pipeter 02 ml de réactif LCK A
- Ajouter une pièce de réactif LCK B
- Bien nettoyer l'extérieur de la cuve ronde, Attendre 15 min et placer dans le thermoréacteur pendant 1heur à 100°C.
- Refroidir jusqu'à température ambient, et ajouter une pièce de réactif LCK C.
- Fermer le cuve et mélanger pour les réactions chimique entre les réactive utilisé
- Pipeter lentement dans la cuve ronde, 0,5 ml d'échantillon désagrégée.
- Pipeter lentement 0,2 ml de solution LCK D
- fermer immédiatement la cuve ronde et mélangé.

- Attendre 15 minutes, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et placer dans le spectrophotomètre
- Le code à barre est identifié, une évaluation automatique est réalisée après l'insertion de la cuve ronde
- La résultat affiché directement sur le spectrophotomètre.
- Changé le code pour donné le résultat de Azote total.

6. Phosphate PO_4^{3-} :

• Principe :

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

• Matériels :

- Cuve ronde.
- spectrophotomètre UV.
- Micropipette.

• réactifs :

- Boite de réactif LCK 348(sodium peroxy disulfate métaborate de sodium, Lithium sulfate.
- Réactif de LCK B.
- DosiCap LCK 348 C.

• Mode opératoire:

- Enlever délicatement la feuille de protection du DosiCap Zip.
- Pipeter 0,5 ml de l'eau analysé.
- fermé avec DosiCap Zip.
- Placer la cuve ronde dans le thermoréacteur.
- Chauffer la cuve ronde à 100 °C pendant 1 heure.
- Pipeter 0.2 ml de réactive LCK B.
- Visser un DosiCap C (LCK 348 C) gris sur la cuve ronde, puis mélangé.
- Attendre 15 min, bien nettoyer l'extérieur de la cuve ronde et placer dans le spectrophotomètre.
- Le code à barre est identifié, une évaluation automatique est réalisée après l'insertion de la cuve ronde
- La résultat affiché directement sur le spectrophotomètre.
- Changer le code pour donner le résultat de phosphore total.

3.5.3. Méthodes d'analyses paramètres de minéralisation globale:

1. L'alcalinité [28]:

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des hydrogencarbonates, carbonates et hydroxydes.

Le titre alcalimétrique (TA) mesure la teneur de l'eau en alcalis libre et en carbonates caustiques.

Le titre alcalimétrique complet (TAC) mesure la teneur de l'eau en alcalis libres, carbonates et hydrogencarbonates.

- **Méthode titrimétrique :**

L'eau à analyser doit être conservée de préférence dans des récipients en polyéthylène ou en verre borosilicaté et l'analyse doit être pratiquée dans les 24 heures après le prélèvement.

- **Principe :**

Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré.

- **Réactifs :**

- Acide chlorhydrique ou sulfurique..... 0,02 N.
- Solution de phénolphtaléine dans l'alcool à 0,5 %
- Solution de méthylorange à 0.5 %.

1.1. Détermination de titre alcalimétrique simple (TA) :

Prélever 100 ml d'eau à analyser dans une fiole conique. Ajouter 1 à 2 gouttes de solution alcoolique de phénol phtaléine. Une coloration rose doit alors se développer. Dans le cas contraire le TA est nul, ($\text{pH} < 8,3$)

Verser ensuite doucement l'acide dans la fiole à l'aide d'une burette, en agitant constamment, et ceci jusqu'à décoloration complète de la solution ($\text{pH} = 8,3$).

Soit V le volume d'acide utilisé pour obtenir le virage.

1.2. Détermination de titre alcalimétrique complet (TAC) :

Utiliser l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas eu de coloration. Ajouter 2 gouttes de solution de rouge de méthyle et titrer de nouveau avec le même acide jusqu'à disparition de la coloration de jaune au jaune orangé ($\text{pH} = 4,3$).

S'assurer qu'une goutte d'acide en excès provoque le passage de la coloration du jaune orangé au rose orange (pH 4). Soit V' le nombre de millilitres d'acide 0.02 N versés depuis le début du dosage. Retrancher de ce volume 0.5 ml, quantité d'acide nécessaire pour le virage de l'indicateur, qui est un peu plus faible que le pH de neutralisation exacte de l'hydrogénocarbonate.

- **Expression des résultats:**

✚ TA :

- $\frac{V}{5}$ (Eq 3.3) exprime le titre alcalimétrique (TA) en milliéquivalents par litre.

- V (Eq 3.4) exprime le titre alcalimétrique en degrés français (1° f correspond à 10 mg de carbonate de calcium ou à 0,2 (meq/l).

✚ TAC :

- $\frac{V' - 0.5}{5}$ (Eq 3.5) exprime le titre alcalimétrique complet en milliéquivalentes par litre.

- V' - 0.5 (Eq 3.6) exprime le titre alcalimétrique complet en degrés français

2. Dureté totale par titrimétrie à l'EDTA (TH) [30] :

Cette méthode permet de doser rapidement les ions calcium et magnésium ; avec certaines précautions, elle est appropriée à la plupart des types d'eaux.

- **Principe :**

Les alcalinoterreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel dissodique de l'acide éthylène diamine tétraacétique à pH=10. La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique, le noir ériochrome. En milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation du magnésium, la méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium.

- **Réactifs :**

-Solution de noir ériochrome T à 0,5 % :

– Solution tampon pH =10:

Sel disodique de magnésium de l'EDTA (C₁₀H₁₂N₂O₈Na₂Mg)..... 5 g

Eau déionisée..... 1 L

- **Mode opératoire :**

Introduire 50 ml d'eau à analyser dans une fiole conique de 250 mL, ajouter 4 mL de solution tampon et trois gouttes de solution de noir ériochrome T. La solution se colore en rouge foncé ou violet, le pH doit être de 10. En maintenant une agitation, verser la solution d'EDTA rapidement au début puis goutte à goutte lorsque la solution commence à virer au bleu.

- **Expression des résultats :**

La concentration totale en calcium et magnésium, exprimée en milliéquivalents par litre, est donnée par l'expression suivante :

$$1000X \frac{C \times V_1}{V_2} \quad (\text{Eq 3.7})$$

C = Concentration en milliéquivalents par litre de la solution d'EDTA.

V₁ = Volume en ml de la solution d'EDTA.

V₂ = Volume d'échantillon.

3. Détermination du calcium (Ca²⁺) et du magnésium (Mg²⁺) [82]:

- **Principe :**

Le calcium est dosé avec une solution aqueuse d'E.D.T.A à pH entre 12 et 13. Ce dosage se fait en présence du murexide, l'E.D.T.A réagit tout d'abord avec les ions calcium libres puis avec les ions calcium combinés avec l'indicateur colore qui vire alors de la couleur rouge au violet.

- **Réactifs :**

- Solution d'E.D.T.A N/50 (C₁₀ H₁₄ N₂ Na₂ O₈ 2H₂O) : (0,02N ou 0,01M)
- EDTA3,725g après déshydratation à 80°C pendant 2 h.
- H₂O distillée1000 ml.
- Solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) 2 N :
- NaOH (pastilles)..... 80 g.
- H₂O distillée1000 ml.
- Solution d'hydroxyde d'ammonium (NH₄OH) pH = 10,1:
- Chlorure d'ammonium..... 67,5 g.
- NH₄OH (25%)570 ml
- HCl concentré..... jusqu'à pH = 10,1
- H₂O distillée1000
- Noir Eriochrome T.

3.1. Dosage des ions de Ca²⁺ :

- Prendre 50 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 2 ml de NaOH à 2 N.
- Ajouter du murexide.
- Et titrer avec l'E.D.T.A jusqu'au virage (violet).

3.2. Dosage des ions de Mg²⁺ :

- Prendre 50 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 2 ml de NH₄OH (10,1).
- Ajouter noir Eriochrome (NET)
- Et titrer avec l'E.D.T.A jusqu'au virage (bleu)

- **Expression des résultats :**

La détermination du Calcium en mg/l est donnée par la formule suivante:

$$[\text{Ca}^{2+}] \text{ en mg/l} = \frac{V_1 \times N_{\text{EDTA}} \times F \times M_{\text{Ca}^{2+}} \times 1000}{\text{P.E}} \quad (\text{Eq 3.8})$$

Où :

V₁ : Volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée.

C : Concentration molaire d'EDTA (0,01 M/l).

M_{Ca²⁺}: Masse molaire du calcium en g.

P.E : Prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour ce dosage).

F : Facteur de dilution.

4. Détermination de chlorure [28] :

- **Méthode de Mohr :**

- **Principe :**

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent

- **Réactifs :**

- Acide nitrique pur.
- Carbonate de calcium pur.
- Solution de chromate de potassium à 10 %.
- Solution de nitrate d'argent 0,1 N

- **Mode opératoire :**

Introduire 100 mL d'eau à analyser (préalablement filtrée si nécessaire).

Ajouter 2 à 3 gouttes d'acide nitrique pur puis une pincée de carbonate de chaux et 3 gouttes de solution de chromate de potassium à 10 %.

Verser alors au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre, qui doit persister 1 à 3 minutes.

Soit V le nombre de millilitres de nitrate d'argent 0,1 N utilisés.

- **Expression des résultats :**

➤ Pour une prise d'essai de 100 mL :

$V \times 10 \times 3,55$ (Eq 3.9) donne la teneur en chlorures, exprimée en milligrammes de Cl^- par litre d'eau.

3.5.4. Analyses microbiologiques :

1. Recherche et dénombrement des Germes Aérobie Mésophiles Totaux à 22°C et 37°C :

- **Mode opératoire :**

- **Les dilutions :**

-Les dilutions consistent à atteindre la concentration la plus faible pour effectuer une bonne analyse microbiologique de l'eau usée.

-Pour l'obtention de la dilution 10^{-1} : On prélève 1ml d'eau à analyser (brute et traiter), à l'aide d'une pipette graduée stérile qu'on va ajouter à 9ml d'eau physiologique puis homogénéiser bien, on prélève 1ml dans la boîte de pétri PCA.

-Pour l'obtention de la dilution 10^{-2} : On prélève 1ml du tube de la dilution précédente (10^{-1}) à l'aide de la même pipette qu'on va ajouter à un tube contenant 9ml d'eau physiologique ; on jette la pipette. A l'aide d'une nouvelle pipette graduée stérile, on prélève 1ml dans la boîte de PCA, A partir de la dilution 10^{-2} et de la même façon, on prépare la dilution 10^{-3} . Porter aseptiquement deux fois (pour la $T=22^\circ C$ et pour la $T=37^\circ C$), en suit des mouvements pour une bonne homogénéisation du milieu avec l'échantillon.

Laisser se refroidir sur paillasse, puis mettre à l'incubateur à 22°C pendant 72h et l'autre à 37°C pendant 24 à 48h.

- **Remarque :**

Les manipulations doivent être faites dans la zone stérile.

- **Lecture :**

Ces germes recherchés se présentent dans les deux cas sous forme de colonies lenticulaires blanchâtres.

- **Dénombrement :**

- En tenant compte que les boîtes de pétri comportant entre 30 et 300 colonies.
- Compter le nombre de colonies (n) dans la boîte de pétri choisie qu'on va multiplier par le taux de dilution et on va obtenir le nombre de germes /ml du produit à analyser.

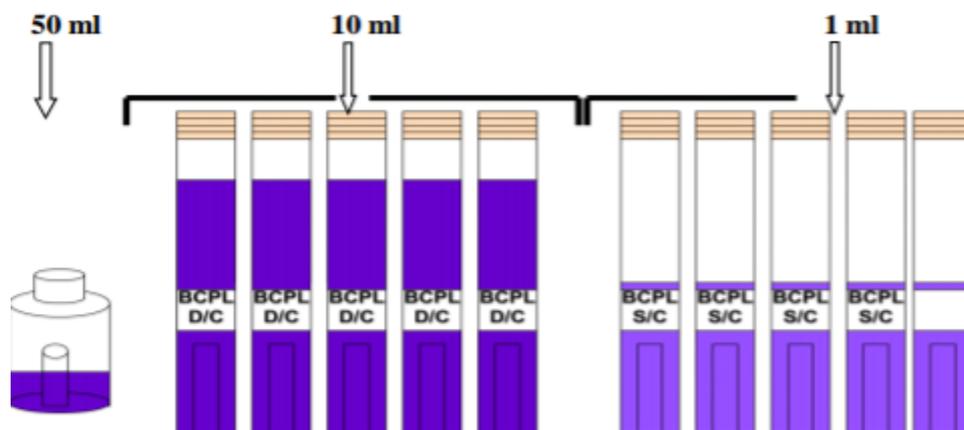
$$\text{Nombre de germe /ml} = n \times \text{taux de dilution} \quad (\text{Eq 3.10}).$$

2. Recherche et dénombrement des Coliformes Totaux à 37°C et les Coliformes Fécaux à 44°C [82]:

- **Teste de présomption :**

A partir de l'eau à analyser (Eau brute et Eau traité) porter aseptiquement :

- 50 ml dans un flacon contenant 50 ml du milieu BCPL D/C + Cloche de Durham.
- 5 fois 10 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL D/C muni d'une cloche de Durham.
- 5 fois 1 ml dans 5 tube contenant 10 ml de milieu BCPL S/C muni d'une cloche de Durham.



Incuber 24-48h à 37 °C

Figure (3.3) : Test présomption de Coliformes Totaux

- **Lecture :**

Sont considérés comme positif les milieux présentant à la fois :

- Un dégagement gazeux 1/10 de la hauteur de la cloche.

- Un trouble microbienne avec virage du milieu au jaune (témoin de la fermentation de lactose présent dans le milieu).
- La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table de Mac Grady NPP.

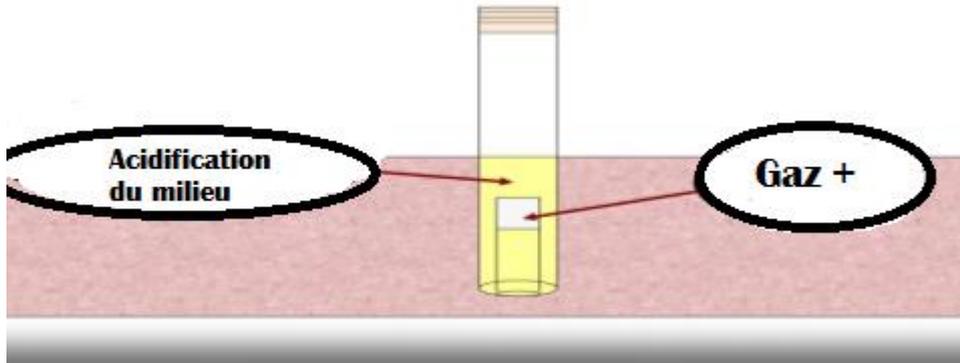
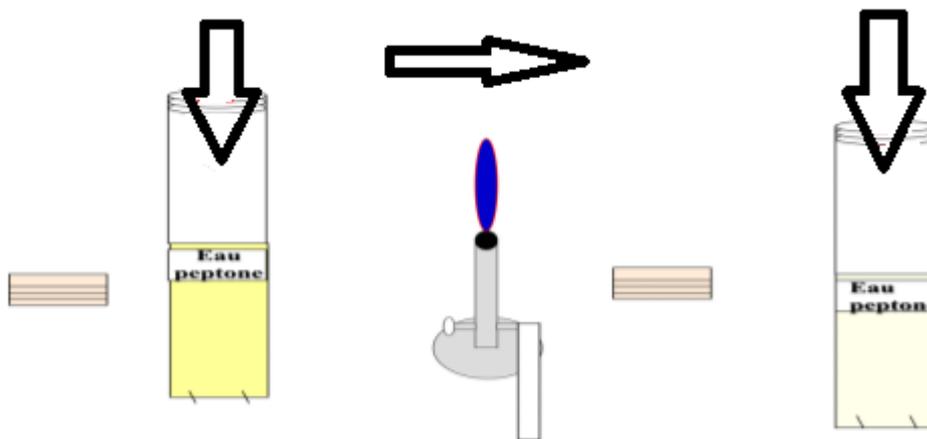


Figure (3.4) : Le lecteur des Tubes

✚ Test de confirmation :

Le test de confirmation ou test de Marc Kenzie est basé sur la recherche de coliformes fécaux parmi lesquels on redoute surtout la présence d'Escherichia Coli. Les tubes de BCPL positifs, après l'agitation, prélever de chacun d'eux quelques gouttes à l'aide d'une pipette Pasteur pour faire le repiquage dans un tube contenant le milieu Eau peptone. L'incubation se fait à 44 °C pendant 24 heures.



Incuber 24h à 44C°

Figure (3.5) : Test conformation des Coliformes Fécaux

- **Lecture :**

Seront considérés comme positif + ; les tubes présentant à la fois :

- Un anneau rouge ou rose en surface, témoin de la production d'Indole par Escherichia Coli après adjonction de 2 à 3 gouttes du réactif de Kovacs La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table de Mac Grady NPP en tenant compte du fait qu'Escherichia Coli est trouble et d'indole à 44 °C.

- Utilisation d'un seul tube confirmatif (dénombrement d'E. Coli)

Sont considérés positifs les tubes présentant à la fois un dégagement gazeux et un anneau rouge = Indole⁺. La lecture finale se fait sur la table NPP.

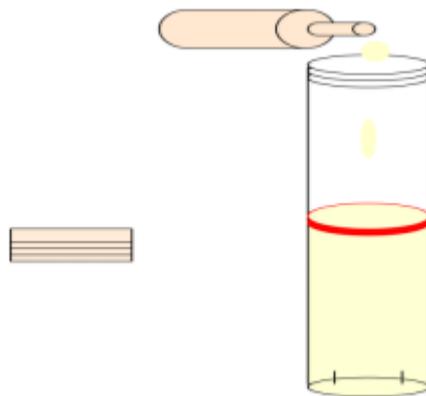


Figure (3.6) : Présence d'E-Coli

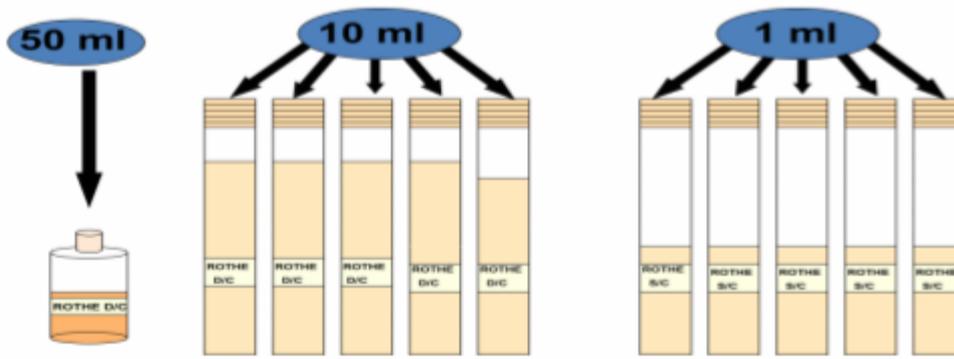
3. Recherche et dénombrement des Streptocoques Fécaux à 37°C [82]:

- **Test de présomption :**

A partir de l'eau analysée, porter aseptiquement :

- 50 ml dans un flacon contenant 50 ml de milieu ROTHE D/C.
- 5 fois 10 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu ROTHE D/C.
- 5 fois 01 ml dans 05 tubes contenant 10 ml de milieu Rothe S/C.

Bien mélanger le milieu avec l'échantillon, puis mettre dans l'incubation à 37°C pendant 24h à 48h.



Incuber 24-48h à 37°C

Figure (3.7) : Test présomption des Streptocoques Fécaux

• **Lecture :**

- Sont considérés comme positifs les tubes présentant un trouble microbienne accompagné d'un virage du milieu pendant cette période est présumé contenir un streptocoque fécal. .
- La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table du NPP.

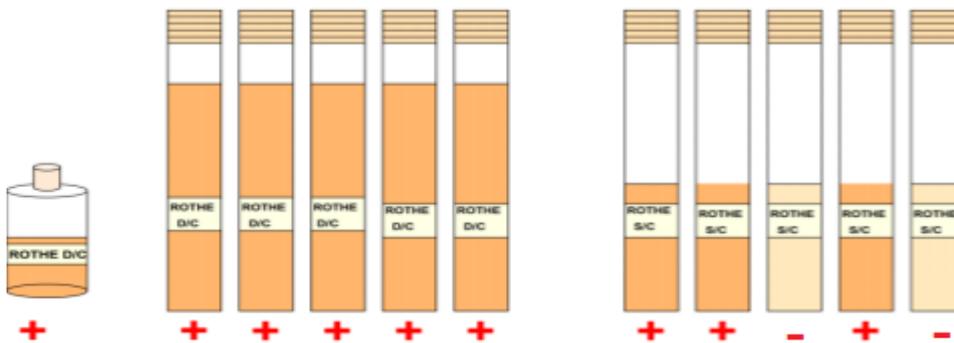


Figure (3.8) La lecture des tubes

• **Test de confirmation :**

Le test de confirmation est basé sur la confirmation des Streptocoque fécaux éventuellement présents dans le test de présomption.
Des tubes de milieu ROTHE positifs, en ajout quelques gouttes à l'aide d'une pipette Pasteur de milieu EVA LITSKY et incuber se fait à 37°C pendant 24 heures.



Figure (3.9) : Test confirmatif des Streptocoque Fécaux

• **Lecture :**

-Seront considérés comme positif, les tubes présentant à la fois :

- Un trouble microbien.

- Une pastille violette (blanchâtre) au fond des tubes.

- La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table du NPP le nombre de streptocoque fécaux sont par 100 ml de l'eau analysé

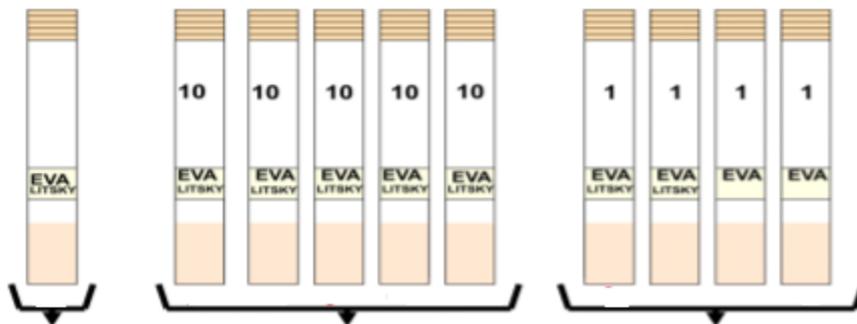


Figure (3.10) : La lecture des tubes

3.6. Conclusion :

Afin d'apparaître la qualité physico-chimiques et microbiologique des eaux usées brutes et épurées de la STEP de Ain Defla, il est indispensable de procéder à des analyses des paramètres de pollution. Les paramètres bactériologiques sont les plus délicats soit pour leurs prélèvements, pour la conservation des échantillons ou pour leurs analyses. Pour ces raisons, l'analyseur doit être vigilant et prend en considération toutes les conditions de prélèvement, d'échantillonnage et d'analyses nécessaires. Les paramètres physicochimiques analysés sont : la température, le pH, la conductivité électrique, la salinité, Rs, DCO, DBO₅, les composés azotés et phosphorés, tire hydrotimétrique, l'alcalinité, les ions de magnésium, les ions de calcium. Par contre, pour les paramètres microbiologiques, on a recherché et dénombré les germes totaux, les coliformes totaux et fécaux, les streptocoques fécaux.

Chapitre 4

Résultats et

Discussions

4.1. Introduction :

Afin d'évaluer les performances de l'épuration des eaux usées au niveau de la STEP de Ain Defla (ONA), on présente dans ce travail, l'abattement des principaux paramètres Physico- chimiques et microbiologiques, au niveau de cette station durant une période de 03 mois. Une série de mesures sur les paramètres de pollution de l'eau ont été effectuées respectivement à l'entrée (eaux brutes) et à la sortie (eaux traitées) de cette STEP. Les résultats obtenus sont présentés dans les tableaux en annexe.

4.2. Performances de la station d'épuration de Ain Defla:

4.2.1. Analyses physico-chimiques :

1. La température :

La figure (4.1) montre la variation de la température de l'eau à l'entrée et à la sortie de la STEP en fonction du temps.

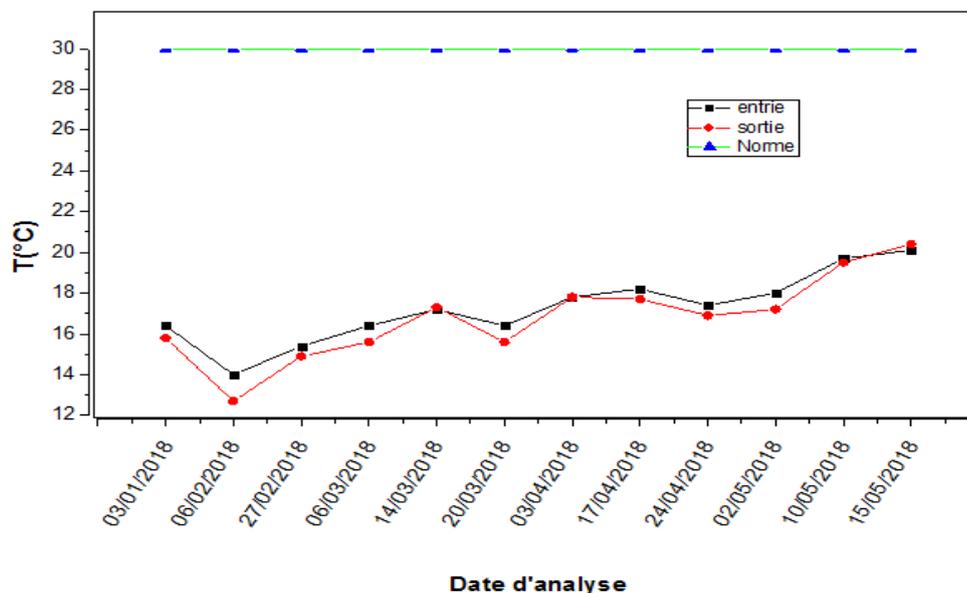


Figure (4.1) : Variation journalière de la température à l'entrée et à la sortie de la STEP

D'après les résultats obtenus, les valeurs de la température de l'eau brute, se situent dans un intervalle qui va d'un minimum de 14°C à un maximum de 20,1°C ; une moyenne de 17,25°C ; et à l'eau traitée entre 12,7°C et 20,4°C avec une moyenne de 15,64°C ; elles sont voisines des températures ambiantes. Les températures de l'eau traitée restent toujours inférieures à celles enregistrées au niveau des eaux brutes, Ces valeurs sont en fonction de l'heure de prélèvement et des conditions météorologiques. L'élévation de la température au cours du temps est influencée par la température atmosphérique. Elle s'accompagne d'une

modification de la densité qui décroît lorsque la température croît, d'une réduction de la viscosité, d'une diminution de la solubilité du gaz (O_2).

2. Le pH :

La figure (4.2) représente la variation journalière de pH de l'eau à l'entrée et à la sortie de la STEP.

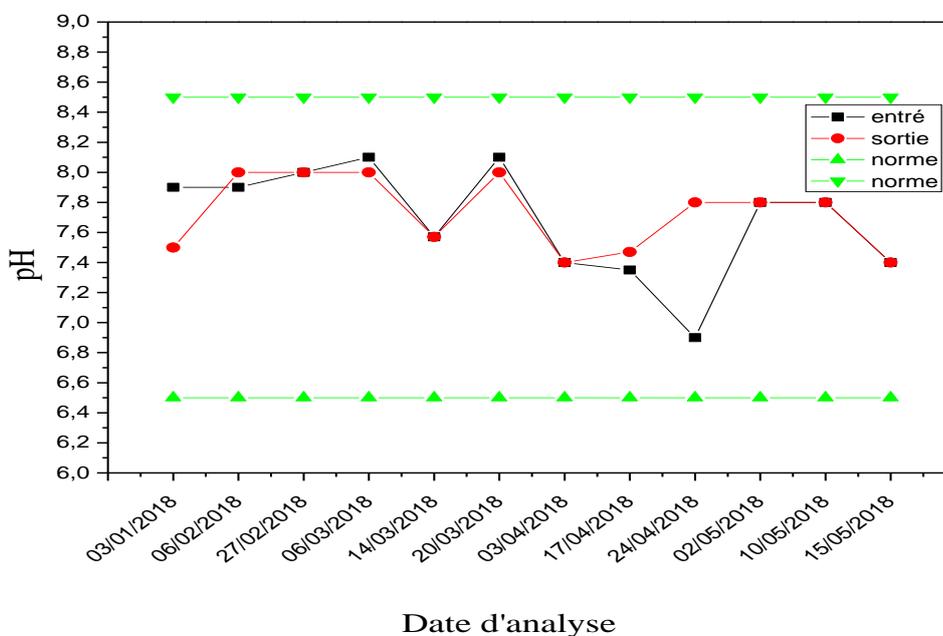


Figure (4.2) : Variation journalière de pH à l'entrée et à la sortie de la STEP.

Une eau usée urbaine possède un pouvoir tampon élevé. Les valeurs de pH des eaux usées avant traitement sont comprises entre 6,9 et 8,1 avec une moyenne de 7,68 qui est une caractéristique des eaux résiduaires, dont le pH est souvent de l'ordre de 7,5 à 8 ; le plus favorable à l'action bactérienne, pour les processus d'épuration aérobie et anaérobie [40].

Les valeurs gravitent autour de la neutralité avec une tendance vers l'alcalinité respectant la norme de rejet délimitée entre 6,5 et 8,5.

Le pH alcalin et la température modérée constituent des conditions de milieu idéales pour la prolifération des microorganismes qui établissent un parfait équilibre biologique, permettant la dégradation de la matière organique ce qui conduit à la décontamination de l'eau[83].

3. La conductivité :

La figure (4.3) représente la variation journalière de la conductivité de l'eau à l'entrée et à la sortie de la STEP.

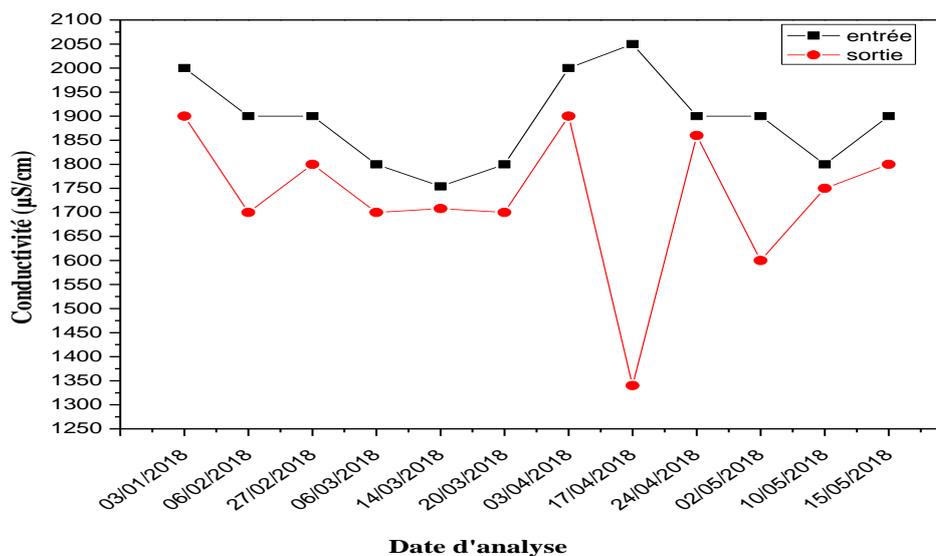


Figure (4.3) : Variation journalière de la conductivité à l'entrée et à la sortie de la STEP.

La conductivité est probablement l'une des plus simples et des plus importantes mesures pour le contrôle de la qualité des eaux usées. Elle traduit le degré de minéralisation globale de l'eau et renseigne sur le taux de salinité des eaux brutes entrant à la STEP. D'après les résultats obtenus la valeur de la conductivité électrique, se situent dans un intervalle de 1754 à 2050 $\mu\text{s}/\text{cm}$ à l'entrée avec une moyenne de 1892 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et 1340 à 1900 $\mu\text{s}/\text{cm}$, enregistrées à la sortie, avec une moyenne de 1729,83 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Donc ces valeurs sont pratiquement au-dessus de la norme de l'OMS (2000 $\mu\text{s}/\text{cm}$). Une conductivité électrique supérieure à 2000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ fait considérer une eau comme difficilement utilisable dans les zones irriguées.

4. La turbidité :

La figure (4.4) représente la variation de la turbidité de l'eau à l'entrée et à la sortie de la STEP fonction du temps.

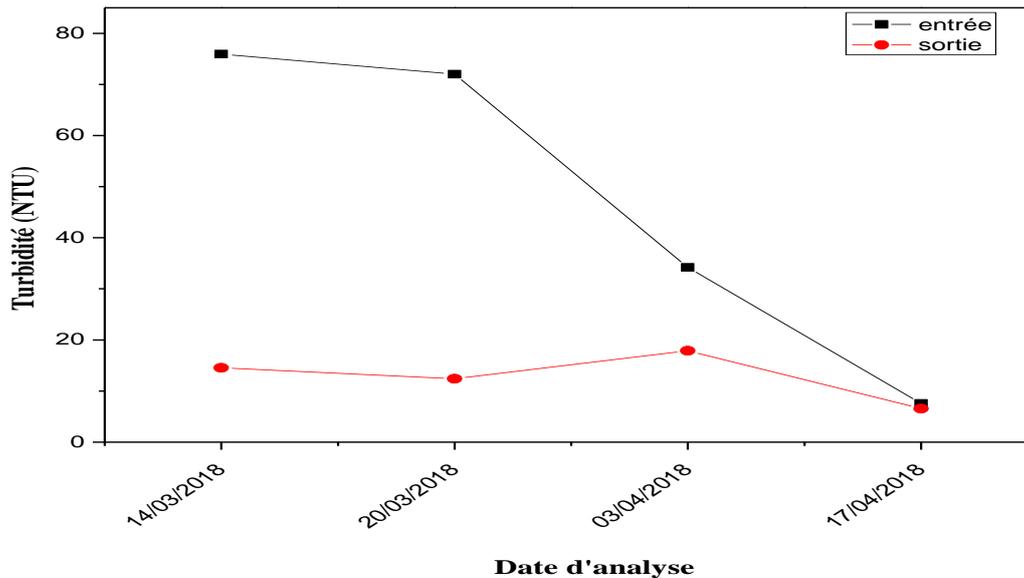


Figure (4.4) : Variation journalière de la turbidité à l'entrée et à la sortie de la STEP.

La turbidité est due à la présence de matières en suspension et colloïdales entraînées dans les eaux.

D'après les résultats obtenus, on constate que les valeurs de la turbidité de l'eau usée sont en fonction des conditions météorologique. Elle est plus significative dans les périodes pluvieuses que les périodes d'ensoleillement. Les valeurs varient entre 7,59 NTU à 75,93 NTU de l'eau brute avec une moyenne de 31,23 NTU et 6,55 NTU à 17,87 NTU de l'eau épurée ; avec une moyenne 12,84 NTU, donc les résultats dépassent les normes OMS (5NTU).

La turbidité de l'eau brute diminue après traitement cela est dû au passage de l'eau brute par un décanteur qui a pour but d'éliminer les matières en suspension.

5.Matières en suspension (MES) :

La figure (4.5) montre la variation journalière de MES à l'entrée et à la sortie de la STEP.

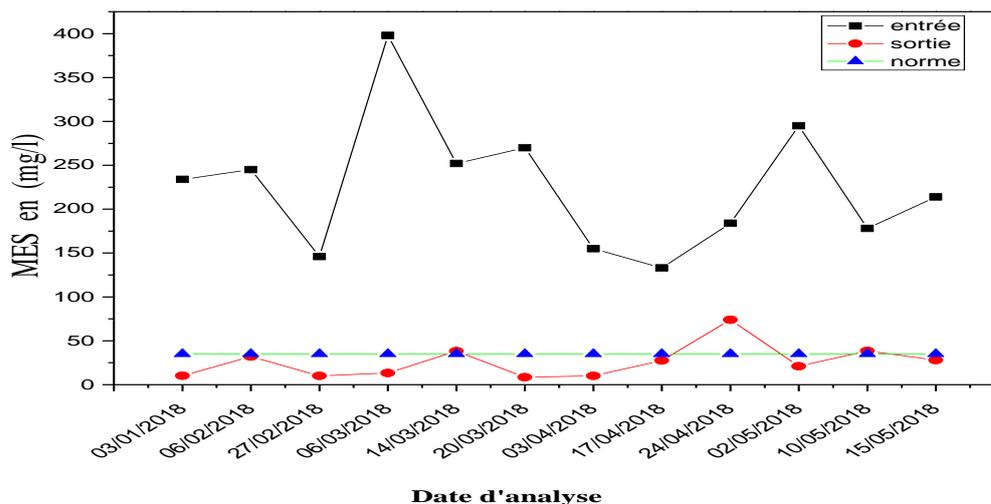


Figure (4.5) : Variation journalière de MES à l'entrée et à la sortie de la STEP.

Les matières en suspension (MES) sont, en majeure partie, de nature biodégradable.

Les valeurs enregistrées au cours de notre étude révèlent une réduction importante de MES entre les eaux brutes et traitées. Elles se situent entre 133 mg/l et 398 mg/l avec une moyenne de 225,33 mg/l pour les eaux brutes, ces valeurs sont en fonction de la nature du rejet. La remontée brusque de la concentration en MES observée de 400 mg/L mois de mars est probablement liée à un arrivage d'eau chargée en matière minérale à savoir le sable, limon, argile, etc. En ce qui concerne les eaux épurées, le taux de MES varie entre 8,5 mg/l à 38,5 mg/l avec une moyenne de 25,95 mg/l. Les faibles valeurs sont dues à la décantation de MES. Ces valeurs sont inférieures à la norme de rejet en Algérie (35 mg/l). Le pic obtenu figure (4.5) peut être s'expliquer par la présence du phénomène de la prolifération massive des algues dans les différents étapes de traitement biologique.

Selon **RODIER (2005)**, les argiles et les particules organiques ont une large surface d'adsorption qui constituent un support idéal pour les ions, les molécules diverses et les agents biologiques.

Le rendement d'élimination de MES avoisine les 87% avec un maximum de 96,85 % et un minimum de 59,78 % ; Ces résultats confirment l'efficacité du clarificateur.

6. L'oxygène dissous :

La figure (4.6), montre la variation journalière de l'oxygène dissous à l'entrée et à la sortie de la STEP.

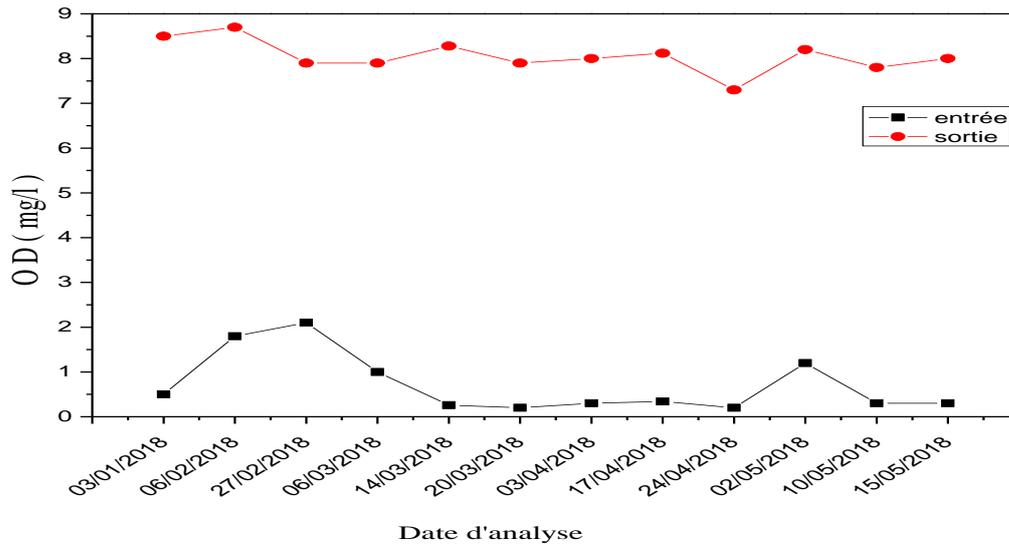


Figure (4.6) : Variation de l'oxygène dissoute à l'entrée et à la sortie de la STEP en fonction du temps.

En se référant aux résultats présentés dans la figure (4.6), on remarque que les teneurs en oxygène dissout à l'entrée de la STEP, oscillent entre 0,2 mg/l et 2,26 mg/l, soit une moyenne de 0,87 mg/l. Pour les eaux traitées, l'oxygène dissout varie entre 7,3 mg/l et 8,5 mg/l, avec une valeur moyenne de 8 mg/l.

Nous notons en effet, une augmentation des valeurs moyennes mensuelle des concentrations en oxygène des eaux traitées par rapport aux eaux brutes, Ceci est dû à une bonne aération des eaux au niveau du bassin nécessaire pour le développement des microorganismes aérobies assurant l'oxydation des matières organiques. Donc ces valeurs sont pratiquement au-dessous de la norme de l'OMS (< 9,1 mg/L).

7. La salinité :

La figure (4.7) représente la variation de salinité de l'eau à l'entrée et à la sortie de la STEP fonction du temps.

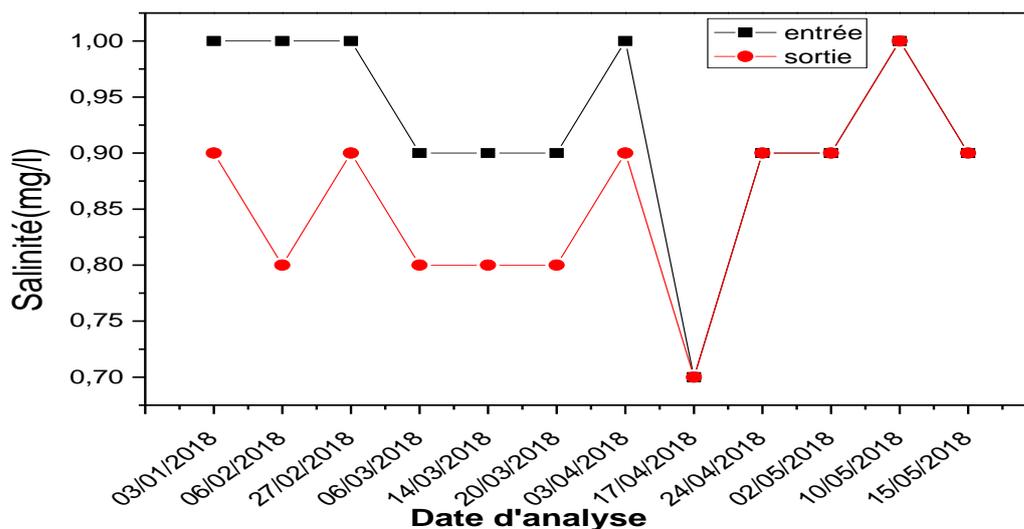


Figure (4.7) : Variation journalière de salinité à l'entrée et à la sortie de la STEP.

La salinité traduit le caractère saline de l'eau, elle varie considérablement d'une saison à une autre, D'après les résultats obtenus la valeur de salinité varie entre 0,7mg/l et 1mg/l à l'eau brute, avec une moyenne de 0,92mg/l ; même l'eau traitée, les valeurs varient entre 0,7mg/l et 1mg/l avec une moyenne de 0,85mg/l.

8. Résidu Sec (RS) :

La figure (4.8) représente la variation journalière de résidu sec de l'eau à l'entrée et à la sortie de la STEP.

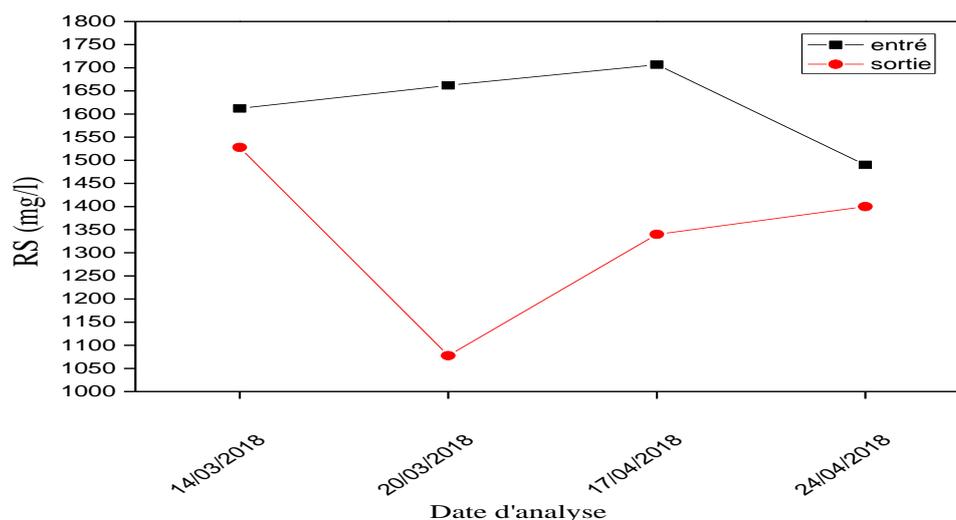


Figure (4.8) : Variation journalière de résidu sec à l'entrée et à la sortie de la STEP.

La détermination du résidu sec dans l'eau non traitée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension, non volatiles, obtenues après une évaporation d'eau. D'après les résultats obtenus, la valeur de résidu sec varie entre 1490 mg/l et 1706,7 mg/l pour l'eau brute, avec une moyenne de 1617,67 mg/l ; Concernant les eaux à la sortie de la STEP ; les valeurs enregistrées varient entre 1077,5 mg/l et 1528 mg/l avec une moyenne de 1336,37mg/l, donc les résultats dépassent les normes OMS (1000 mg/l). Ces résultats reflètent que ces eaux sont très riches en minéraux.

4.2.2. Analyse des paramètres de pollution :

1. La demande chimique en oxygène (DCO):

La figure (4.9) représente la variation journalière de la DCO de l'eau à l'entrée et à la sortie de la STEP.

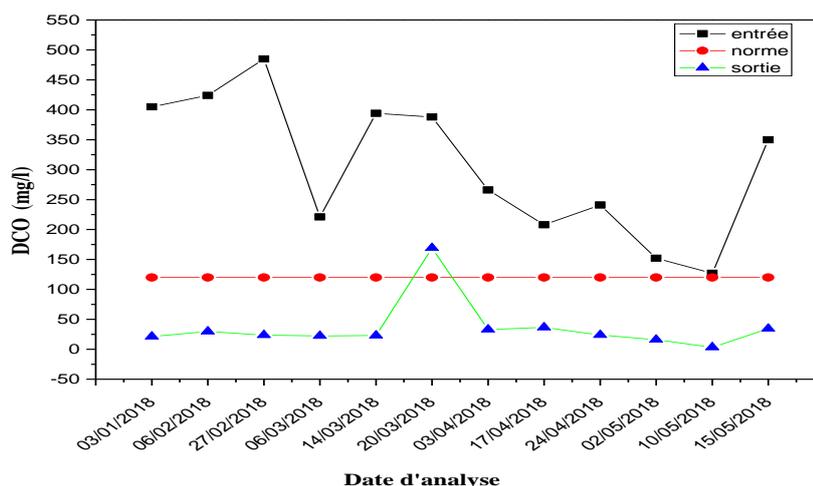


Figure (4.9) : Variation journalière de la DCO à l'entrée et à la sortie de la STEP.

La DCO est la quantité d'oxygène consommée par les matières existant dans l'eau et oxydables dans les conditions opératoires définies. En fait la mesure correspond à une estimation des matières oxydables, On remarque que les valeurs de la DCO de l'eau brute oscillent entre 127 mg/l et 485 mg/l avec une moyenne de 305,08 mg/l. Concernant l'effluent traité, les valeurs enregistrées de la DCO sont largement inférieure à celle de l'eau brute pour une moyenne de 36,31 mg/l, elles varient entre 3,4mg/l et 169 mg/l Par ailleurs, une DCO moyenne de 36.31 mg O₂/l, obtenue à la sortie, obéit aux normes Algériennes de rejet (120 mg O₂/l)

Le rendement avoisine les 89 %, avec un maximum de 97,32 % et un minimum de 56,44 %, donc une grande concentration a été éliminée par ce procédé car il y'a une dégradation importante de la charge polluante.

2. La demande biochimique en oxygène (DBO₅) :

La figure (4.10) représente la variation journalière de DBO₅ à l'entrée et à la sortie de.

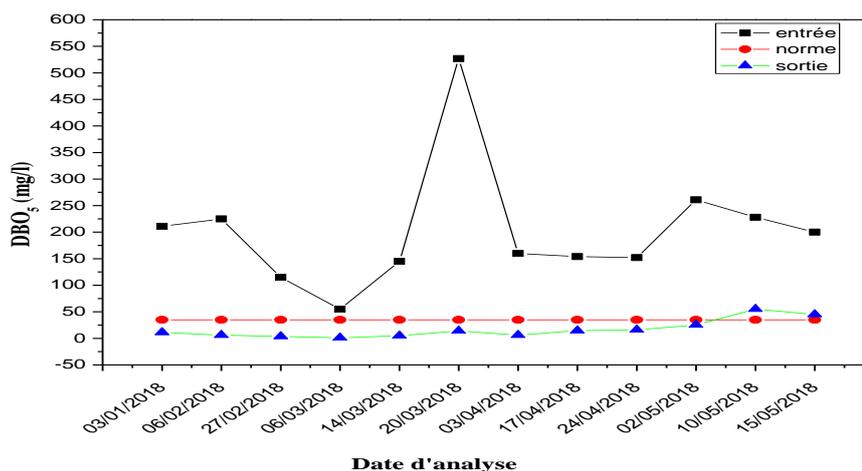
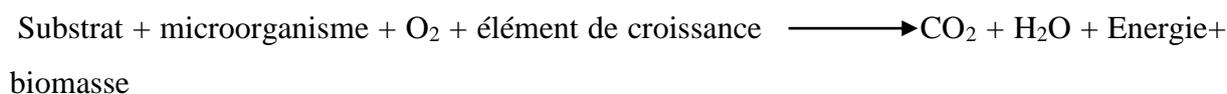


Figure (4.10) : Variation journalière de la DBO₅ à l'entrée et à la sortie de la STEP.

La demande biochimique en oxygène (DBO₅) exprime la consommation potentielle d'oxygène des principaux polluants (MES, microorganismes aérobies) d'un milieu récepteur conformément au schéma réactionnel suivant :



On remarque que l'eau brute à l'entrée de la STEP présente une DBO₅ qui varie entre 55mg/l et 527 mg/l avec une moyenne de 203 mg/l. Ces variations s'expliquent par la nature des eaux résiduaires entrant à la STEP.

Cependant, à la sortie de la STEP, on constate que le maximum de la pollution organique biodégradable est éliminée, les effluents traités s'appauvrissent, ils montrent des teneurs en DBO₅ qui varient entre 1 mg/l et 55,1 mg/l avec une moyenne de 16,93 mg/l et un rendement d'abattement de 91,83 % avec un maximum de 97,32 % et un minimum de 75,82 %. Ces valeurs restent très au-dessous de la norme de rejet des effluents liquides (< 35 mg/l). Ainsi, l'augmentation de la concentration de la DBO₅ de l'eau traitée à 55,1 mg/l est en

relation avec la charge en matières organiques biodégradable, d'après **BLIEFERT et PERRAUD (2001)**, elle est associée au maximum du développement de l'abondance bactérienne et une diminution de la teneur en oxygène suite à la consommation de ce dernier par les microorganismes.

Le rapport entre la DCO et la DBO₅ C'est la biodégradabilité à l'entrée de la STEP, il est en moyenne de $1.5 < 3$, ce qui confirme que les eaux usées traitées au niveau de la STEP de Ain Defla sont d'origine domestique (**RODIER, 2005**). Selon (**BLIEFERT et PERRAUD, 2001**) les valeurs de la DCO et la DBO₅ de l'eau traitée sont typique des eaux communales après épuration biologique.

3. Les nitrates NO₃⁻ :

La figure (4.11) représente la variation journalière de NO₃⁻ de l'eau à l'entrée et à la sortie de la STEP.

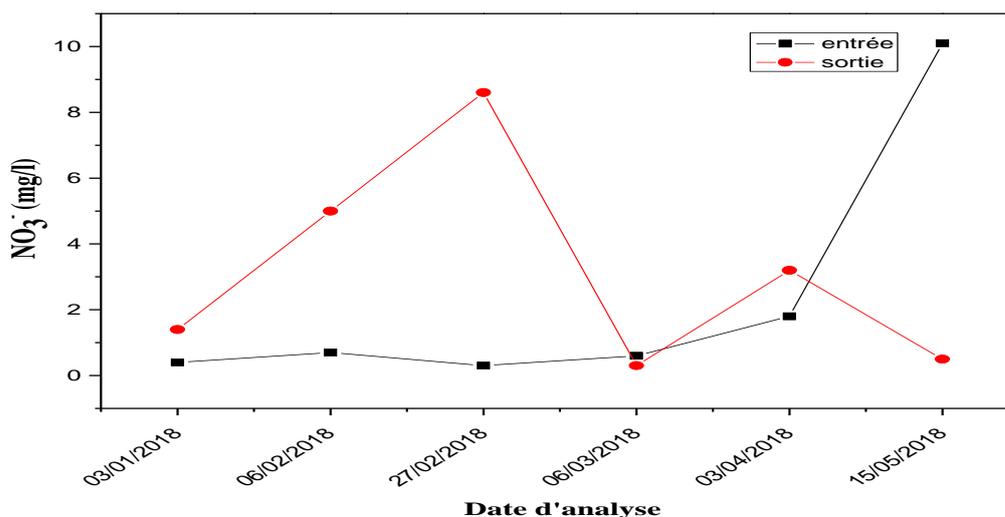


Figure (4.11) : Variation journalière de NO₃⁻ à l'entrée et à la sortie de la STEP.

Les valeurs des nitrates obtenues après analyses, varient entre 0,3 mg/l et 10,1 mg/l à l'entrée et de 0,3 mg/l et 8,6 mg/l à la sortie, on constate que les taux de nitrates ont augmenté considérablement au niveau des eaux traitées par rapport aux eaux brutes (figure 4.11).

Les faibles teneurs en nitrates au niveau des eaux brutes sont probablement dues au fait que l'azote contenu dans les eaux résiduaires domestiques a essentiellement une origine humaine. On estime environ 13g/jour d'azote rejeté par un être humain adulte, sous forme essentiellement organique, présent dans l'urine [11]. C'est donc sous les formes organiques et ammoniacales que l'azote est présent dans les eaux usées que

devront traiter les stations d'épuration. Ainsi, le transfert dans l'égout, véritable réacteur biologique,

entraîne la réduction de ces nitrates, essentiellement en azote gazeux.

La présence des microorganismes autotrophes vis-à-vis de l'azote, dégradent les protéines en azote ammoniacal. Les bactéries autotrophes telles que *Nitrosomonas* et *Nitrobacter*, transforment l'azote ammoniacal (NH_4^+) en présence d'oxygène pour produire des nitrites (NO_2^-) puis des nitrates (NO_3^-) ; ces deux étapes mettent en œuvre l'oxydation de ces différents substrats par des bactéries aérobies qui en tirent l'énergie nécessaire à leur chimiosynthèse (figure 4.12)

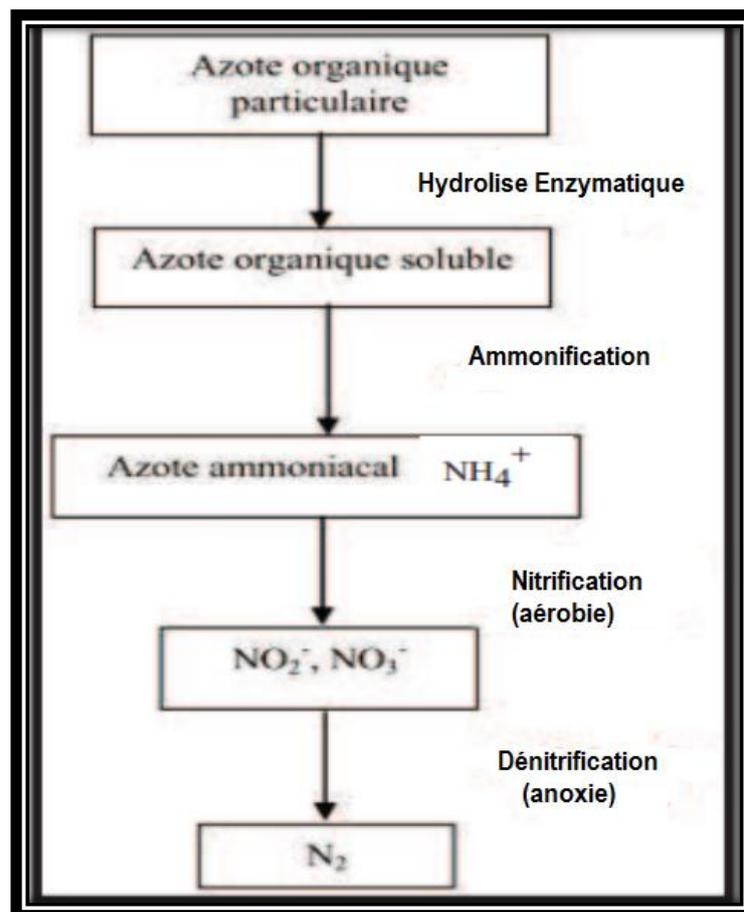


Figure (4.12): Mécanisme de dégradation des matières azotées dans les procédés biologiques [85].

La capacité d'aération est en effet souvent suffisante pour assurer une nitrification poussée, ce qui explique le taux élevé des nitrates dans l'effluent traité.

Les eaux épurées sont très chargées en nitrate mais en moyenne restent inférieures aux normes de l'OMS (< 50 mg/l).

4. Les nitrites NO_2^- :

La figure (4.13) représente la variation journalière de NO_2^- de l'eau à l'entrée et à la sortie de la STEP.

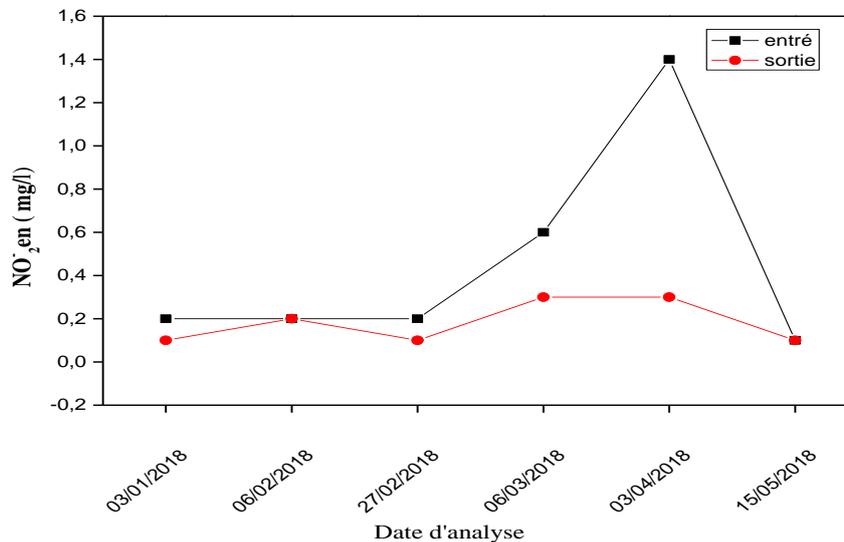


Figure (4.13) : Variation journalière de NO_2^- à l'entrée et à la sortie de la STEP.

Les valeurs des nitrites obtenues après analyses, varient entre 0,1 mg/l et 1,4 mg/l à l'entrée et de 0,1 mg/l et 0,3 mg/l à la sortie. Ces valeurs restent supérieures aux normes OMS (0,1 mg/l). Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque où la nitrification n'était pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiant à des températures élevées, cette dernière joue un rôle important pour le fonctionnement du système de traitement (**CHOUBERT, 2002**).

6. Azote ammoniacal (NH_4^+) :

La figure (4.14) représente la variation journalière de NH_4^+ à l'entrée et à la sortie de la STEP.

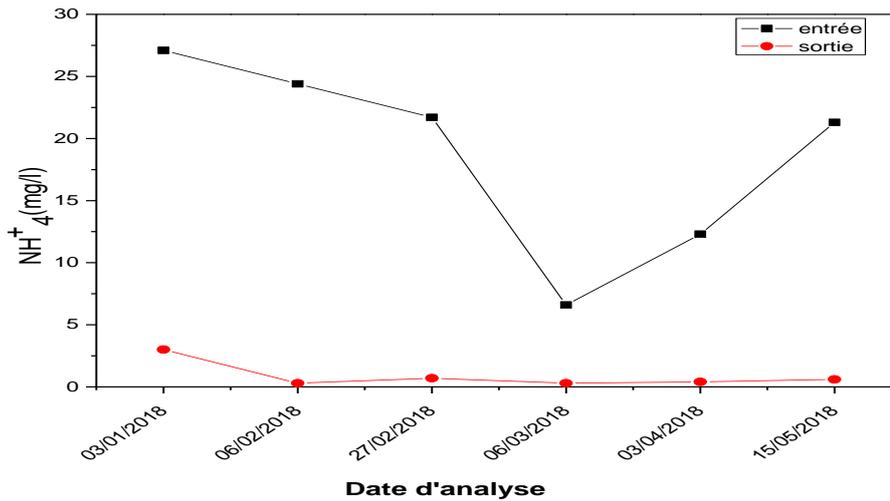


Figure (4.14) : Variation journalière de NH_4^+ à l'entrée et à la sortie de la STEP.

Selon les résultats présentés sur la figure (4.14), on remarque que les valeurs des concentrations de l'azote ammoniacal à l'entrée de la STEP sont instables, elles varient entre 6,66 mg/l et 27,1 mg/l avec une moyenne de 37,82 mg/l, cela est dû à la variation du rejet entrant à la station, alors qu'à la sortie, ces valeurs oscillent entre 0,3 mg/l et 3 mg/l, avec une moyenne de 0,88 mg/l. La diminution de la concentration de l'azote ammoniacal à la sortie traduit par la dégradation de ce dernier en nitrite et nitrate. L'azote ammoniacal a été éliminé avec un abattement de 95,66 %.

7. L'azote total (NT) :

La figure (4.15) représente la variation journalière de NT à l'entrée et à la sortie de la STEP.

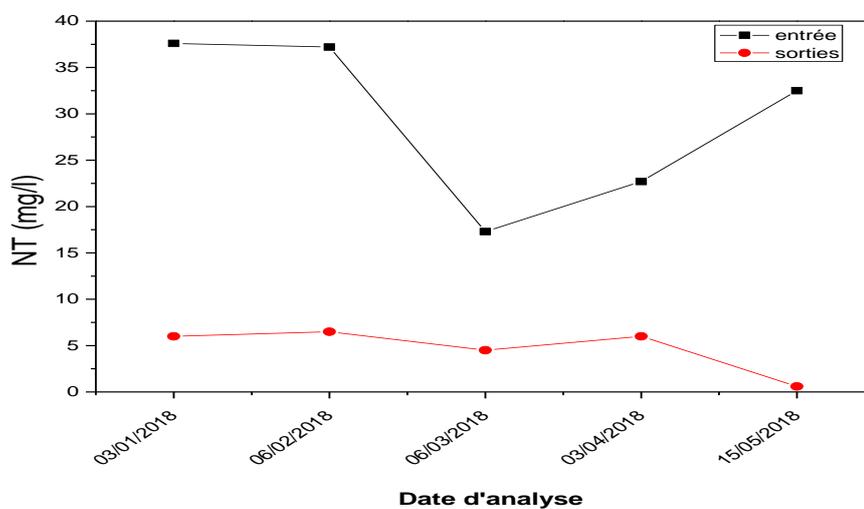


Figure (4.15) : Variation journalière de NT à l'entrée et à la sortie de la STEP.

D'après les résultats obtenus, la valeur de l'azote total, se situent dans un intervalle de 17,3 mg/l à 37,6 mg/l à l'entrée avec une moyenne de 24,55 mg/l et 0,6 mg/l à 6,5mg/l, enregistrées à la sortie, avec une moyenne de 3,93 mg/l.

Donc la teneur en azote total enregistrées à la sortie, sont nettement inférieure à celles de l'entrée ce qui reflète l'efficacité de traitement.

Le rendement maximal de l'élimination de l'azote total est de 84%.

8. Les phosphates PO_4^{3-} :

La figure (4.16) représente la variation journalière de PO_4^{3-} à l'entrée et à la sortie de la STEP.

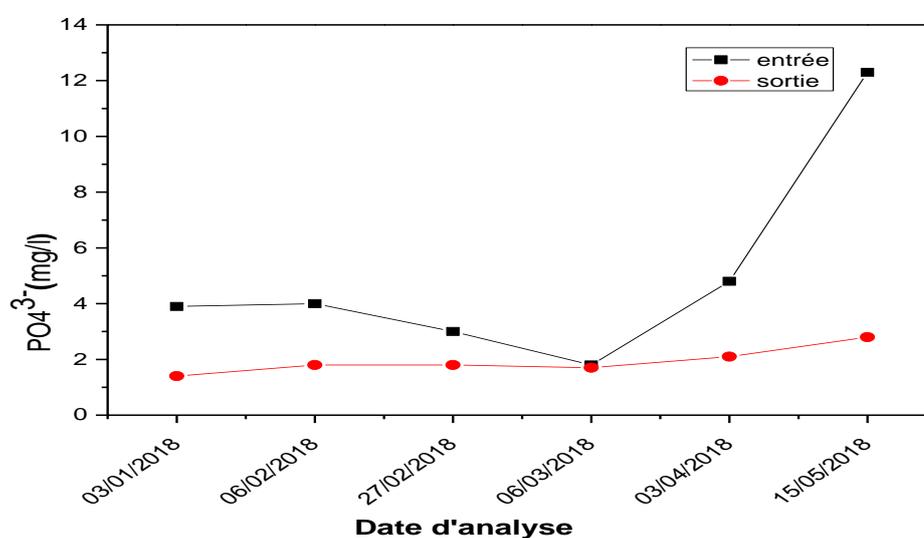


Figure (4.16) : Variation de PO_4^{3-} à l'entrée et à la sortie de la STEP.

L'origine du phosphore dans les eaux usées domestiques est déduite de la connaissance des sources de phosphore naturel et de son utilisation [86].

Il provient du métabolisme humain ; un homme excrète entre 1 et 2 grammes de phosphore par jour ce qui représente 30 à 50% du phosphore total [87]; et les rejets de détergents qui sont à l'origine de 50 à 70% du phosphore. Ces détergents et en particulier, les lessives, utilisent des polyphosphates pour lutter contre la dureté de l'eau, faciliter l'émulsion des graisses et maintenir la salissure en suspension. Les polyphosphates sont ensuite rejetés au cours du rinçage et ont tendance à s'hydrolyser en phosphates dans les eaux usées, c'est pour cela on trouve des quantités des phosphates dans le rejet domestique.

D'après les résultats obtenus (figure 4.16) les valeurs des (PO_4^{3-}) varient d'un minimum de 1,8mg/l à un maximum de 12,3 mg/l niveau des eaux brutes, avec une moyenne de 4,96 mg/l

Concernant les eaux épurées, ces valeurs varient entre 1,4 mg/l et 2,8 mg/l avec une moyenne de 1,93 mg/l; Le rendement d'élimination de PO_4^{-3} est 49,59 %.

7. Le phosphore total (PT) :

La figure (4.17) présente la variation journalière de phosphore total à l'entrée et à la sortie de la STEP.

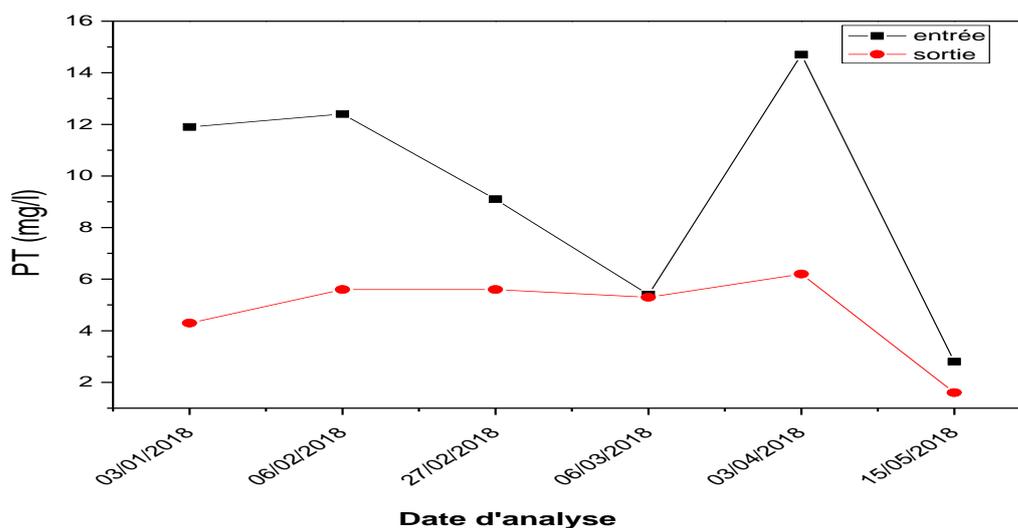


Figure (4.17) : Variation journalière de P_T à l'entrée et à la sortie de la STEP.

D'après les résultats obtenus, on remarque qu'à l'entrée de la STEP, les valeurs de phosphore total sont comprises entre 2,8 mg/l et 14,7 mg/l avec une moyenne de 9,38 mg/l. Les eaux entant à la STEP riches en composés phosphorés, Concernant la sortie de la STEP, ces valeurs varient entre 1,6 mg/l et 6,2 mg/l, avec une moyenne de 4,76 mg/l. La concentration du phosphore total dans l'eau de rejet est supérieure à celle de l'eau traitée, Cela est dû à l'activité des microorganismes qui participent à la dégradation de phosphate organique, Donc ces valeurs sont pratiquement au-dessous de la norme de rejet (< 10 mg/L). Le phosphore a été éliminé avec un rendement de 47,80 %.

4.2.3. Paramètres de minéralisation globale :

La minéralisation est indiquée par les paramètres tel que :

1. Titre Hydrométrique (Dureté Totale) :

La figure (4.18) présente la variation journalière de titre Hydrométrique à l'entrée et à la sortie de la STEP.

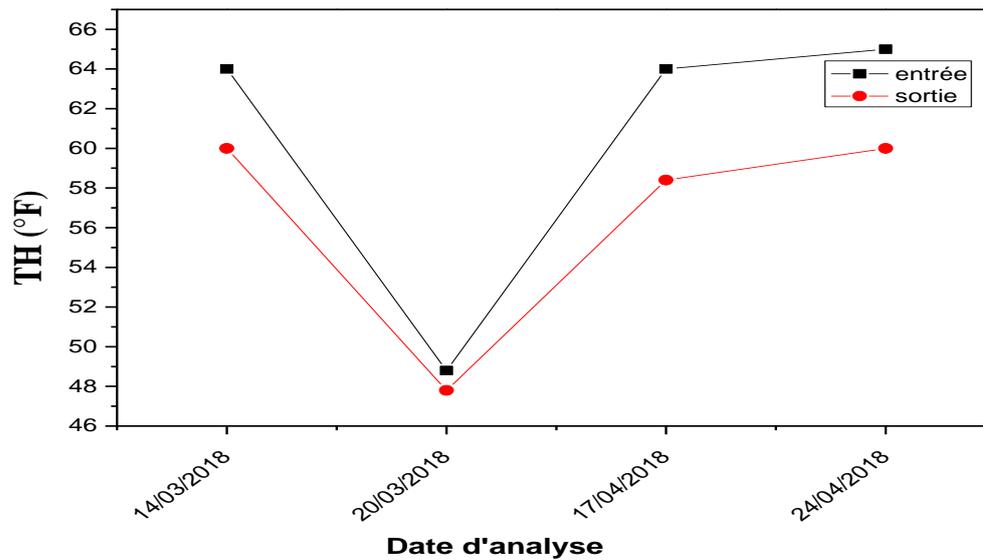


Figure (4.18) : Variation journalière de TH à l'entrée et à la sortie de la STEP.

La dureté d'une eau correspond essentiellement à la somme des concentrations en cations alcalino-terreux.

Les résultats obtenus montrent que la dureté varie entre 48,8 mg/l et 64 mg/l à l'eau brute, avec une moyenne de 59,2°F et 47,8 °F à 65 °F ; enregistrées à la sortie, avec une moyenne de 57,8 °F.

On considère que [88]:

- de 0 à 5 °f une eau est très douce.
- de 5 à 15 °f une eau est douce.
- de 15 à 25 °f une eau est moyennement dure.
- de 25 à 35 °f une eau est dure

Donc on constate que l'eau traitée est très dure, cette dureté peut avoir sur l'eau des effets d'ordre esthétiques ou organoleptique. Les eaux dures peuvent gêner le développement de la couverture biologique des eaux [19].

2. Titre Alcalimétrique complet (TAC) :

La figure (4.19) représente la variation journalière de Titre Alcalimétrique complet à l'entrée et à la sortie de la STEP.

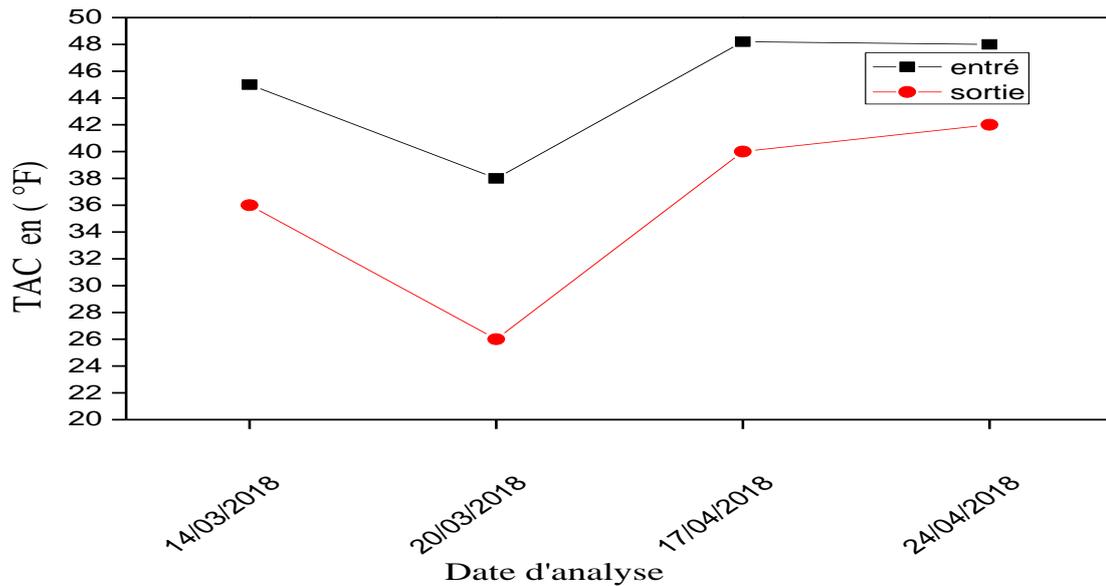


Figure (4.19) : Variation de TAC à l'entrée et à la sortie de la STEP.

Le titre TA étant nul, la concentration en ion hydroxydes (OH^-) est donc négligeable, l'alcalinité est donc constituée par les hydrogencarbonates, ces derniers associés au calcium et magnésium ne peuvent rester stables dans l'eau que s'ils sont en présence de gaz carbonique dissous CO_2 . On remarque que les valeurs de l'alcalinité mesurées durant notre période d'étude varient entre 38°F et $48,2^\circ\text{F}$ à l'eau brute avec une moyenne de $44,8^\circ\text{F}$ et 26°F à 42°F enregistrées à la sortie, avec une moyenne de 36°F ; La variation de la concentration de l'hydrogencarbonate dans les eaux usées est due à la nature des terrains traversés.

3. Le calcium Ca^{2+} :

La figure (4.20) représente la variation journalière des ions de calcium à l'entrée et à la sortie de la STEP.

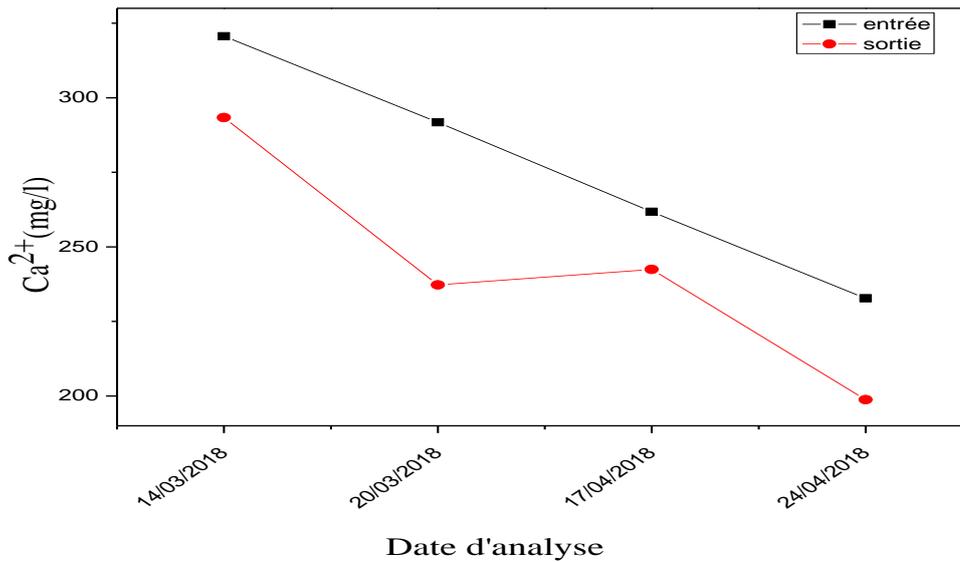


Figure (4.20): Variation journalière de Ca^{2+} à l'entrée et à la sortie de la STEP.

D'après les résultats obtenus la valeur de calcium, se situent dans un intervalle de 232,45 mg/l à 320,62 mg/l à l'entrée avec une moyenne de 276,53 mg/l et 198,78 mg/l à 293,37 mg/l ; enregistrées à la sortie, avec une moyenne de 242,87 mg/l.

4. Le magnésium Mg^{2+} :

La figure (4.21) montre la variation journalière des ions de magnésium à l'entrée et à la sortie de la STEP.

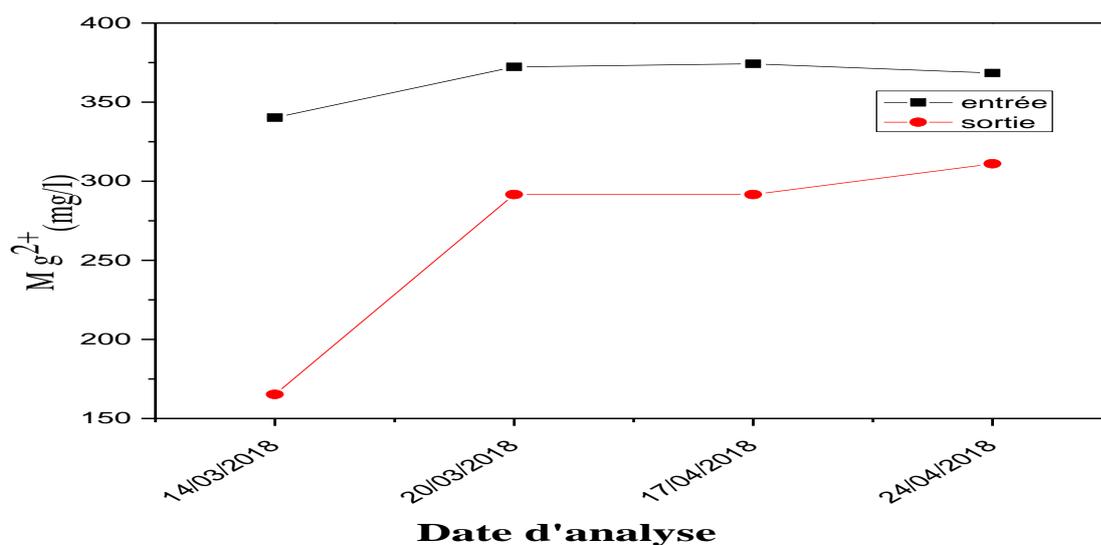


Figure (4.21) : Variation journalière de Mg^{2+} à l'entrée et à la sortie de la STEP.

D'après les résultats obtenus, la valeur de magnésium à l'eau brute, se situent dans un intervalle qui va d'un minimum de 340,2 mg/l à un maximum de 372,22 mg/l, une moyenne de 363,76 mg/l, et à l'eau traite entre 165,24 mg/l et 311,04 mg/l avec une moyenne de 264,87mg/l, Malgré qu'on à fait le traitement mais les valeurs restent supérieures à normes OMS (50 mg/l).

5. Chlorure (Cl⁻) :

La figure (4.22) représente la variation des ions de chlorure à l'entrée et à la sortie de la STEP en fonction du temps.

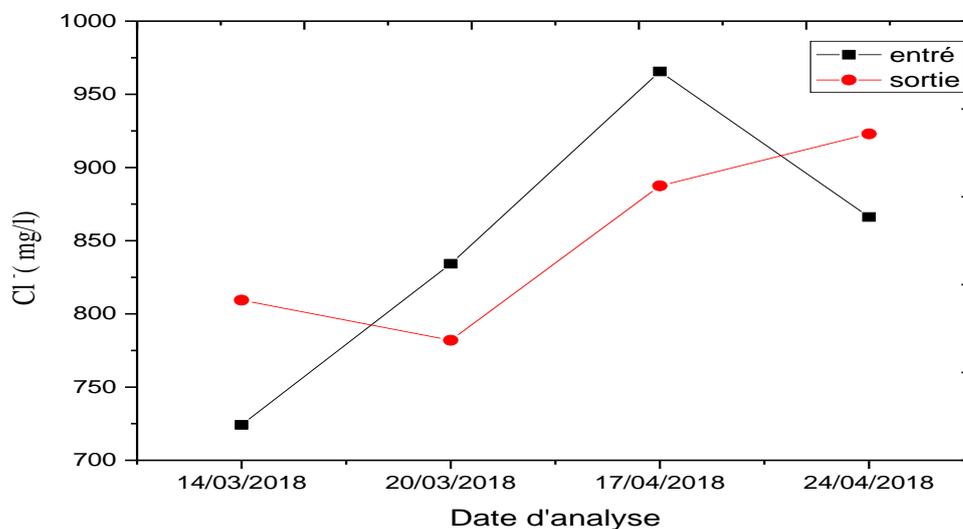


Figure (4.22) : variation de Cl⁻ à l'entrée et à la sortie de la STEP en fonction du temps.

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés.

D'après les résultats obtenus la valeur du chlorure, se situe dans un intervalle de 724,2mg/l à 965,6 mg/l à l'entrée avec une moyenne de 847,56 mg/l et 782 mg/l à 923 mg/l, enregistrées à la sortie, avec une moyenne de 850,475 mg/l. Ces valeurs dépassent largement les normes recommandées par l'OMS qui est de 250 mg/l.

4.2.4. Analyses microbiologique :

Les analyses bactériologiques ont été effectuées au niveau du laboratoire de microbiologie de Laiterie Arib, et consiste à la recherches des germes totaux, Coliformes

totaux et fécaux, E.Coli, Streptocoques fécaux. Les résultats bactériologiques obtenus sont représentés sur le **tableau (4.1)**

Tableau (4.1) : Variations des Paramètres bactériologique.

Paramètres bactériologique	Résultats de l'eau brute	Résultats de l'eau traitée	Normes (OMS)
Coliforme totaux	12000	2000	5000 Germes / 100 ml
Coliforme fécaux	9000	1000	2000 Germes / 100 ml
Streptocoque fécaux	7000	2000	1000Germes / 100 ml
Germe aérobie à 37°C	944000	170000	3000 Germes / 01 ml
Germe aérobie à 22°C	760000	52000	- Germes / 01 ml

1. Les Germes totaux :

Ces germes n'ont pas d'effets directs sur la santé, mais sont des indicateurs qui révèlent la présence possible d'une contamination bactériologique. 760000 germes/01ml à 22°C, et 944000 germes/ 01ml à 37°C à l'eau brute, 52000 germes/01ml à 22°C, et 170000 germes/ 01ml à 37°C à l'eau traitée. Nous observons que les germes totaux sont présents en abondance dans l'eau brute et l'eau traitée.

2. Coliformes totaux :

Les Coliformes totaux sont utilisées depuis très longtemps comme indicateurs de la qualité microbienne de l'eau parce qu'ils peuvent être indirectement associés à une pollution d'origine fécale et sont cependant très utiles comme indicateurs de l'efficacité du traitement, D'après notre travail les résultats obtenus de coliforme totaux, 12000 germes/100 ml à l'entrée (eau brute), et 2000 germes/100ml enregistrées à la sortie (eau traitée), donc les valeur de l'eau traitée sont conformes aux normes OMS (5000 Germes /100 ml), le traitement biologique utilisé dans la STEP est efficace pour l'abattement des coliforme totaux.

3. Coliformes Fécaux :

Appelés aussi coliformes thermo-tolérants, Les CF constituent un sous-groupe des CT capables de se développer à 44 °C. Les CF sont les plus appropriés que les CT comme indicateurs de contamination fécale. Ce groupe est majoritairement constitué d'Escherichiacoli. Certains auteurs ont rapporté la présence de ces espèces dans des eaux sans qu'aucune contamination fécale ne soit suspectée [89].

D'après notre travail, les résultats obtenus de coliforme fécaux, 9000 germes/100ml à l'entrée (eau brute), et 1000 germes/100ml enregistrées à la sortie (eau traitée), Les résultats obtenus peuvent s'expliquer d'une croissance des coliformes à l'entrée elles sont largement supérieures à la sortie, Concernant *Escherichia coli*, est présente dans l'eau étudiée.

Les coliformes fécaux dans l'eau traitée sont conformes aux normes OMS (2000 Germes / 100 ml). Ce résultat prouve que la STEP améliorée la qualité bactériologique de l'eau brute ; De nombreuses études ont montré qu'*Escherichia coli* était généralement associé à une source fécale.

Aujourd'hui, *Escherichia coli* est considéré comme le meilleur indicateur d'une contamination récente du milieu aquatique par du matériel fécal humain ou d'animaux à sang chaud [70].

4. Streptocoques Fécaux :

Ils sont des bactéries pathogènes, c'est-à-dire dangereuses pour la santé. Reliés à la contamination fécale. Ce sont des pathogènes opportunistes causant des septicémies, infections urinaires. D'après notre travail, les résultats obtenus de streptocoque fécaux, 7000 germes/100ml à l'entrée (eau brute), et 2000 germes/100ml enregistrées à la sortie (eau traitée), Les coliformes streptocoques dans les stations sont dépassent les normes OMS (1000 Germes / 100 ml). La concentration de streptocoque fécaux dans l'eau traitée est inférieure à celle l'eau brute et cela prouve que l'intérêt d'épuration à l'eau usée fonctionne bien mais n'a pas atteint une bonne épuration.

Conclusion générale

Les dernières années ont été marquées en Algérie par un effort important et croissant consacré à la lutte contre la pollution, surtout dans le domaine de la protection et de la valorisation des ressources en eau. Cet effort s'est matérialisé par un large développement d'installation des stations d'épuration des eaux usées et par un suivi plus efficace de leurs performances.

La réglementation Algérienne en termes de rejet des STEP est devenue de plus en plus sévère, suite à une complexité des problèmes relatifs au dysfonctionnement biologique et la diversité des choix des options techniques qui peuvent être utilisées, dont les résultats sont très encourageants, etc.)

L'épuration des eaux usées par le procédé des boues activées repose sur l'activité d'une culture bactérienne aérobie, maintenue en suspension dans un ouvrage spécifique alimenté par l'effluent à traiter et appelé bassin d'aération. L'aération est un élément clé d'une station d'épuration pour fournir l'oxygène aux microorganismes pour dégrader la pollution carbonée.

Les problèmes biologiques et les problèmes de décantation, encore fréquents, limitent la fiabilité des stations d'épuration à boues activées. Complexes dans leur compréhension, leur maîtrise est parfois délicate pour les opérateurs chargés d'assurer le bon fonctionnement des installations.

Notre étude a été axée sur le suivi de l'élimination des paramètres de pollution qui sont : les matières en suspension (MES), la demande biochimique en oxygène (DBO_5), la demande chimique en oxygène (DCO), l'azote total (NT), et l'azote ammoniacal (NH_4^+), Phosphate total (PT), etc. afin d'évaluer les performances de fonctionnement de la station de Ain Defla.

Les résultats présentent des rendements épuratoires satisfaisants pour l'élimination des matières en suspension en accord avec les normes de rejet Algérienne avec un abattement pouvant atteindre 96,85 %.

Les valeurs de pH gravitent autour de la neutralité avec une tendance vers l'alcalinité respectant la norme de rejet délimitée entre 6,5 et 8,5.

Les concentrations de la DCO et la DBO_5 des eaux traitées sont respectivement satisfaisantes et qui sont inférieures aux normes Algériennes. 91,72 % et 88,37 % respectivement pour la DBO_5 et la DCO. L'abattement de l'azote ammoniacal NH_4^+ par ce procédé a atteint 91,89 %, 68,44 % de l'azote total et 43,27 % du phosphore total.

Le rapport entre la DCO et la DBO_5 permet de caractériser la nature de l'effluent en entrée de la STEP, il est en moyenne de $1.5 < 3$, ce qui confirme que les eaux usées traitées

au niveau de la STEP de Ain Defla sont d'origine domestique. Les valeurs de la biodégradabilité des effluents montrent que les eaux arrivant à la STEP sont favorables pour un traitement de type boue active.

L'alcalinité résulte le plus généralement à la présence d'hydrogénocarbonates, carbonates et hydroxydes. Elle varie entre 26 °F à 42 °F enregistrées à la sortie, avec une moyenne de 36°F.

La dureté de l'eau à la sortie de la STEP enregistre une moyenne de 57,8°F cela confirme que les eaux traitées sont très dures.

Quant aux bactéries, les résultats obtenus de coliforme totaux, 12000 germes/100ml à l'entrée (eau brute), et 2000 germes/100ml enregistrées à la sortie (eau traitée), donc sont conformes aux normes OMS (5000 Germes /100 ml), le traitement biologique utilisé dans la STEP est efficace pour l'abattement des coliforme totaux.

Les résultats obtenus de coliforme fécaux, 9000 germes/100ml à l'entrée (eau brute), et 1000 germes/100ml enregistrées à la sortie (eau traitée), Les résultats obtenus peuvent s'expliquer d'une croissance des coliformes à l'entrée elles sont largement supérieures à la sortie, Les coliformes fécaux dans les stations sont conformes aux normes OMS (2000 Germes / 100 ml). Cette résultat prouve que la STEP améliorée la qualité bactériologique de l'eau brute.

Les résultats obtenus de streptocoque fécaux, 7000germes/100ml à l'entrée (eau brute), et 2000 germes/100ml enregistrées à la sortie (eau traitée), Les coliformes streptocoques dans les stations sont dépassent les normes OMS (1000 Germes / 100 ml). La concentration de streptocoque fécaux dans l'eau traitée est inférieure à celle l'eau brute et cela prouve que l'intérêt d'épuration à l'eau usée fonctionne bien mais n'a pas atteint une bonne épuration.

D'après les paramètres analysés des eaux épurées de la STEP de Ain Defla, il convient de signaler qu'ils sont tous conformes aux normes de rejet et d'après les résultats obtenus nous confirmons le bon fonctionnement de cette station d'épuration, et sa fiabilité en matière de dépollution de l'eau, qui contribuera sans aucun doute à préserver le milieu récepteur (Oued Chlef). Mais on recommande d'ajouter une étape de désinfection pour détruire les microorganismes pathogènes.

Références bibliographique

Références bibliographiques

- [1] F.HRRLEKAS ; « Couplage des procédés membranaires aux technique physico-chimiques ou biologique pour le traitement des rejets liquides de l'industrie de textile », Thèse de doctorat, université cadi ayyad, de MARRAKECH, Maroc, 2008.
- [2] Ministère des ressources en eau, 3 RUE DU CAIRE GRAND SIMINAIRE Kkouba, Alger (16), Algérie, 2006.
- [3] KESBI Rafika; « Etude des performances épuratoires d'une STEP de l'ouest Algérien Cas de la nouvelle STEP d'Ain T'émouchent », mémoire de master en hydraulique, université Abou Bekrbelkaid Tlemcen, Algérie, 2014.
- [4] Rahou Kada Boubakeur. Evaluation des performances des aérateurs de surface de la STEP d'El-kerma ORAN, mémoire de master, département de génie chimie, université d'Oran, Algérie, (2014).
- [5] BENELMOUAZ ALI, « Performances épuratoires d'une station d'épuration de Maghnia », Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master En Hydraulique, université Abou bekr Belkaid, Algérie 2015.
- [6] AROUA A. L'homme et son milieu. Edition société national. Alger, (1994).
- [7] BAUMONT S, CAMARD J-P, LEFRANC A, FRANCONI A. Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Ile-de-France, France, (2005).
- [8] S.Bouafia; dégradation des colorants textiles par procédés d'oxydation avancée basée sur la réaction de fenton ; Thèse de doctorat; Université Saad Dahleb de Blida; Algérie, 2010.
- [9] A. MIZI. Traitement des eaux de rejets d'une raffinerie des corps gras région de BEJAIA et valorisation des déchets oléicoles. Thèse de doctorat. Université de Badji Mokhtar. ANNABA. Algérie, 2006.

Références bibliographiques

- [10] Bouziani M. l'eau de la pénurie aux maladies, édition Ibn khaldoun, Blifert, chimie de l'environnement air, eau, sol, déchets, Algérie, 2000.
- [11] CHOCAT. B. Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et assainissement. Edition Techniques et documentations, Paris, France, (1997).
- [12] FRANCK.R. Analyse des eaux, Aspects réglementaires et techniques. Edition Scérén CRDP AQUITAINE. Bordeaux, France, (2002).
- [13] KHADRAOUI A., TALEB S. Qualité des eaux de sud Algérie. Pollution et impact sur le milieu. Ed. Khyam. Algérie, 2008.
- [14] Taib Abderrahmane, Aptitude Physicochimique Des Eaux Epurées De Step De Boumerdes A L'irrigation, Mémoire De Master, Algérie, 2014.
- [15] Gérard Grosclaude, L'eau Usages et polluants, Edition Tome II, paris, 1999.
- [16] Desjardins R, Le traitement des eaux. 2^{ème} édition. Ed. Ecole polytechnique, 1997.
- [17] MEKHALIF Faiza, « Reutilization des eaux résiduaires industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement», université du 20 Aout 1955, Skikda, mémoire de magistère, Algérie, 2009.
- [18] REJSEK, analyse des eaux, aspect réglementaire et techniques, édition scrérén CPDP A quitaine, Bordeaux, France, (2002).
- [19] Rodier J, L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 8^{ème} Edition, Dunod, paris, France, (2005).
- [20] RODIER .J, (l'Analyse d'eau). 5^{ème} édition. France, (2005).
- [21] METAHRI Mohammed Saïd, Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes, Cas de STEP Est de ville de Tizi-Ouzou, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Thèse de doctorat, Algérie, 2012.

Références bibliographiques

- [22] M. Hadj sadok, A. Guessoum, H. Salhi, N. Tidjani, “Modélisation floue des actions de contrôle de la quantité de PAC dans un processus d’épuration des eaux”, département de chimie industrielle JSTRE 2009.
- [23] Ladjel F, Exploitation d'une station d'épuration à boue activée niveau 02. Centre de formation au métier de l'assainissement. CFMA, Boumerdes, 2006.
- [24] KHELILI .R, LAZALI .D: Etude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l’eau du barrage Harraza (Wilaya de Ain Defla), 2015.
- [25] RODIER ET AL., L’analyse de l’eau (eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer) 8eme édition, France, 1996.
- [26] GAUJOUS.D, Pollution des milieux aquatiques (aide-mémoire) 2ème édition, France, 1995.
- [27] RAKREK Zakaria, La station d’épuration de Chlef performances épuratoires et rendements, Université de Tlemcen, Master Hydraulique, Algérie, 2013.
- [28] RODIER, Analyse de l’eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 7^{ème} édition, France, 1984.
- [29] OULARBI Radhia, « Traitement des eaux usées urbaines de la ville de Ain defla par électrocoagulation », université djilali bounaama, Mémoire de Master en Chimie, Algérie, 2015.
- [30] Rodier J, « (L'analyse de l'eau » 9ème édition, Dunond, Paris, 2009.
- [31] BELALA ZOHRA, « Traitement de l’eau de barrage DJORF-ELTORBA rejets de la région de Bechar par filtration sur sables d’Adrar », université Hassiba Ben Bouali, mémoire de magister, Chlef, 2006.
- [32] Joly B., Reynaud A, Entérobactéries : systématiques et méthodes d'analyses. Edition Technique et documentation, Paris, 2003.
- [33] KESBI Rafika, « Etude des performances épuratoires d’une STEP de l’ouest Algérien Cas de la nouvelle STEP d’Ain Témouchent », UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID, Mémoire de projet de fin d’études pour l’obtention du Diplôme de Master En Hydraulique Tlemcen, 2016.
- [34] Cshapf, Recommandations sanitaires relatives à la désinfection des eaux usées urbaines, 1995.

Références bibliographiques

- [35] Asano T, Wastewater reclamation and reuse. Water quality management library, 1998.
- [36] Feray C, « Nitrification en sédiment d'eau douce : incidence de rejets de station d'épuration sur la dynamique de communautés nitrifiantes », Thèse de doctorat sciences naturelles, Écologie microbienne. Université Claude Bernard-Lyon, Lyon, France, 2000.
- [37] Ghazi M, « Cours de l'épuration des eaux usées », département hydraulique option traitement et épuration de l'eau, université Tlemcen, Algérie, 2015.
- [38] Pierre J, Lienard A, Heduit A, P Duchene, « Traitement de l'azote dans les stations d'épuration biologique des petites collectivités », Document technique, 1990.
- [39] Yahlatene soflaive et Tahirim El Tladj, « Réflexion sur la caractérisation physicochimique des effluents Liquides rejetés dans la grande sebkha d'Oran », université de science et de technologie d'Oran USTO, mémoire d'ingénieur, Algérie, 2010.
- [40] OMS, L'utilisation des eaux usées en agriculture et aquaculture recommandation avisées sanitaires. Organisation Mondiale de la Santé, Genève, 1989.
- [41] Journal Officiel de la République Algérienne N° 26; 24 Rabie El Aouel 1427; 23 avril 2006.
- [42] Saggai M M, Contribution à l'étude d'un System d'épuration à plantes macrophytes pour les eaux usées de la ville de Ouargla, université Ouargla, diplôme Magister, Algérie, 2004.
- [43] Bekkouche M, Zidane F, Conception d'une station d'épuration des eaux usées de la ville de Ouargla par lagunage, Hydraulique saharienne, université de Ouargla, diplôme d'Ingénieure, Algérie, 2004.
- [44] Banzaoui N Et Elbouz F, Epuration des eaux usées par les procédés des boues activées au niveau de la commune de Touggourt, diplôme d'Ingénieure en chimie, Université de Annaba, Algérie, 2009.

Références bibliographiques

- [45] Léonard, A, Etude du séchage convectif des boues de station d'épuration suivi de la texture par micro-tomographie à rayons x, , Faculté des sciences appliquées, université de Liège, thèse de doctorat, Belgique, 2002.
- [46]: Satin, M., Selmi, B, Guide technique de l'assainissement, 3ème édition le moniteur référence technique, Paris, 2006.
- [47]: D.H. W. A Direction de l'hydraulique wilaya d'Ain Defla, Etude du système d'épuration des eaux usées des villes de Khemis Miliana et Miliana, wilaya d'Ain Defla, 2010.
- [48]: Monode 3. Mémento technique de l'eau. Tomel. Ed : Deremont France, 1989.
- [49] Hadjou Belaid Z, « Contribution à l'étude des dysfonctionnements relevés dans une station d'épuration, étude du cas : STEP d'Ain El Houtz », Mémoire de master en hydraulique, Université Abou-Bakr Belkaid de Tlemcen, Algérie, 2013.
- [50] Gaid A, « Épuration biologique des eaux usées urbaines tome I », édition OPU, Alger, 1984.
- [51] Vilaginès, R, Eau, environnement et santé publique, 2ème édition, Parise, (2000).
- [52] Satin, M., Bourrier, R., Selmi, B. Guide technique de l'assainissement, 4^{ème} édition, le moniteur référence technique, Parise, 2010.
- [53] O N A Office national d'Assainissement de Khemis Miliana.
- [54] Brodart E, « Modélisation statistique d'une usine de traitement de l'eau potable. Rencontres Internationales Eau et Technologies Avancées », 1989.
- [55] Dégremont Memento Technique De L'eau. "Tome 1 et 2", Parise, 1998.
- [56] Eaux usées et assainissement. Les traitements adaptés. C.C.I TROYES -2002.
- [57] Mimeche Leila, Etude de faisabilité de l'installation de station d'épuration des rejets urbains par les filtres plantés de l'installation de station d'épuration des rejets urbaines par les

Références bibliographiques

filtres plantés en milieu aride, Application à la région de Biskra, université Mohamed khider Biskra, Thèse et mémoire, Algérie, 2014.

[58] Audic, J-M, Guide de traitement des eaux usées urbaines, édition Lyonnaise des eaux, (2002).

[59] Gomella, C, Guerre. H, Les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurales. Tomes I : La collecte, Edition : Eyrolles, Paris, 1982.

[60] Urios, L, Technique D'épuration des eaux usées. Technique et documentation, Paris, 2005.

[61] Hattabi Dalila, Etude d'un système d'épuration des eaux usées de la commune de sidi Abd Errahmane-Ténès W-Chlef, Algérie, 2016.

[62] Office international de l'eau-conception / dimensionnement : caractérisation des eaux usées disponible sur : DFE/ CNFME/ L : utilisât/ JP/F07/DOCPDA-1/Caractérisation des EU. Doc- 2005.

[63] Bongio vanni, J.-M, Traitement des boues résiduaires par l'association en série d'une déshydratation mécanique et d'un séchage thermique, université de Pau et des Pays de l'Adour, thèse de doctorat, France, 1998.

[64] Degremont, Méthodes techniques de l'eau : 8^{ème} édition .Edition technique et documentation LAVOISIER, France, 1978.

[65] Cooper P., Griffin P. A review of the design and performance of vertical-flow and hybrid reed bed treatment, 1999.

[66] Zerouali. D. Traitement des eaux résiduaires. Centre inter- entreprises de formation industrielle. Séminaire- 2000.

[67] OLIVIER A .CATHRINE B, Filières d'épuration adoptées aux petites collectivités.

Document technique FNADE N°22 Edition Cemagraf, Antony, Octobre ,1998.

[68] BENGATTANE ACHOUAKE, « Traitement des eaux usées de la ville d'El-oued à l'aide des matériaux à base d'argile », Université kasdi merbah ouargla, mémoire de master, Algérie, 2015.

Références bibliographiques

- [69] :Beachac J.P, Boutin P ,Mercier B ,Nuer P Traitement des eaux usées. Edition Eyrolles, 1987.
- [70] : Attab Sarah, amélioration de la qualité microbiologique des eaux épurées par boues activées la station d'épuration haoud berkaoui par l'utilisation d'un filtre à sable local), université Ouargla, Mémoire de magister en biologie, Algérie, 2011.
- [71] Martin G et Laffont P, Odeurs et désodorisation dans l'environnement, Edition Technique et Documentation Lavoisier,France, 1991.
- [72] Office International de l'Eau, développer les compétences pour mieux gérer l'eau la stabilisation des boues de station d'épuration : techniques de mesure du procédé, 2001.
- [73] ADEME, La valeur azotée des boues résiduaire des stations d'épuration urbaines, 1996.
- [74] El-Fadel, M, Khoury, R, Modeling Settlement in MSW Landfills: a Critical Review. Critical Reviews in Environ, Sci, Technol, 2000.
- [75] Looser, M.O, Parriaux, A., Bensimon, M, Landfill underground pollution detection and characterization using inorganic traces. Water Research, 1999.
- [76] Soumia AMIR, « CONTRIBUTION A LA VALORISATION DE BOUES DE STATIONS D'EPURATION PAR COMPOSTAGE : DEVENIR DES MICROPOLLUANTS METALLIQUES ET ORGANIQUES ET BILAN HUMIQUE DU COMPOST », Thèse de doctorat, France, 2005.
- [77] Werther J, Ogada T, Sewage sludge combustion. Progress in Energy and Combustion Science, 1999.
- [78]. Mininni, G, Sbrilli, A, Guerriero, E, Rotatori, M, Dioxins and furans formation in pilot incineration tests of sewage sludge spiked with organic chlorine. Chemosphere, 2004.
- [79]. Lambkin, D, Nortcliff, S, White, ., The importance of precision in sampling sludges, biowastes and treated soils in a regulatory framework Trends in Analytical Chemistry- 2004.

Références bibliographiques

[80] O N A Office national d'Assainissement de AIN DEFLA.

[81] TADBIRAT Sabiha, Etude PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX USEES DE LA STATION D'EPURATION DE LA WILAYA D'AIN DEFLA ET LEUR APYITUDE A L'IRRIGATION, Université de khemis miliana, mémoire de Master, Algérie, 2014.

[82] HADEF Djihad,H,M ; « Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de l'Oued de Boutane région de Khemis-MilianaW.AinDefla » Université de khemis Miliana, mémoire de fin d'étude, Algérie, 2016.

[83] SEVRIN-REYSSAC J., DE LA NOÛE J., PROULX D. Le recyclage du lisier de porc par lagunage. Edition Technique et Documentation Lavoisier, 1995.

[84] BLIEFERT C, PERRAUD R. Chimie de l'environnement : Air, Eau, Sols, Déchets. Edition de Boeck, 2001.

[85] BASSOMPIERRE Cindy, procédé à boues activées pour le traitement d'effluents papetiers : de la conception d'un pilote a la validation de modèles. Thèse Doctorat Institut National Polytechnique De Grenoble, France, 2007.

[86] VILLEBRUN J. F. La déphosphatation biologique appliquée à la station d'épuration de Craon, Rapport de la DDAF de la Mayenne. Volume 2 : Critères d'hygiène et documentation à l'appui, Genève, Suisse, 1989.

[87] DERNAT M, ELMERICH P, POUILLOT M. Vers une optimisation de la déphosphatation physicochimique, L'Eau, l'Industrie, les Nuisances n°182-1994.

[88] BERNE F. et CORDONNIER J. Traitement des eaux, Epuration des eaux résiduares de raffinage, conditionnement des eaux de réfrigération, 1991.

[89] BAUDISOVA D. Evaluation of *Escherichia coli* as the main indicator of faecal pollution. Water Science and Technology,1997.

Références bibliographiques

[90] EDBERG S.C, RICE E.W, KARLIN R.J, and ALLEN M.J. Escherichia coli: the best biological drinking water indicator for public health protection. *Journal of Applied Microbiology*, 2000.

[91] CHOUBERT J-M. Analyse et optimisation du traitement de l'azote par les boues activées a basse température. l'Université Louis Pasteur, Strasbourg, Thèse Doctorat, (2002)

Annexe

Annexe

Tableau 1 : Paramètres physico-chimiques :

Paramètre	Date et heures		03/01/2018 10:43		06/02/2018 10 :45		27/02/2018 10 :35		06/03/2018 10 :50		Normes Algériennes [41]	Norme OMS [28]
	Eau Brute	Eau traitée	Eau Brute	Eau traitée	Eau Brute	Eau traitée	Eau Brute	Eau traitée				
T (°C)	16,4	15,8	14	12,7	15,4	14,9	16,4	15,6	30	<30		
pH	07,9	07,5	07,9	08	08	08	8,1	08	6,5 - 8,5	6,5-8,5		
Cond (µs/cm)	2000	1900	1900	1700	1900	1800	1800	1700	-	2000		
MES (mg/l)	234	10,2	245	32	146	10	398	13,3	35	-		
OD (mg/l)	0,5	08,5	1,8	08,7	02,1	07,9	01	07,9	-	9,1		
Sal (mg/l)	01	0,9	01	0,8	01	0,9	0,9	0,8	-	1000		

Annexe

Paramètre	Date et heures		Normes Algériennes [41]	Norme OMS [28]						
	Eau Brute	Eau traitée								
T (°C)	17,20	17,30	16,40	15,60	17,80	17,80	18,20	17,70	30	<30
pH	07,57	07,57	08,10	08	07,40	07,40	07,35	07,47	6,5 à 8,5	6,5-8,5
Cond (µs/cm)	1754	1708	1800	1700	2000	1900	2050	1340	-	2000
Turbidité (NTU)	75,93	14,54	72	12,4	/	/	34,2	17,87	-	5
MES (mg/l)	252	38,2	270	08,5	155	10	133	27,6	35	-
OD (mg/l)	0,26	08,28	0,2	07,9	0,3	08	0,34	08,12	-	9,1
Sal (mg/l)	0,9	0,8	0,9	0,8	01	0,9	0,7	0,7	-	-
RS (mg/l)	1612	1528	1662	1077,5	/	/	1706,7	1340	-	1000

Annexe

Paramètre	Date et heures		24/04/2018 10 : 30		02/05/2018 10 :25		10/05/2018 10 :40		15/05/2018 10 :45		Normes Algériennes [41]	Norme OMS [28]
	Eau Brute	Eau traitée	Eau Brute	Eau traitée	Eau Brute	Eau traitée	Eau Brute	Eau traitée				
T (°C)	17,4	16,9	18	17,2	19,7	19,5	20,1	20,4	30	<30		
pH	06,9	07,8	07,8	07,8	07,8	07,8	07,4	07,4	6,5 à 8,5	6,5-8,5		
Cond (µs/cm)	1900	1860	1900	1600	1800	1750	1900	1800	-	2000		
Turb(NU)	7,59	6,55	/	/	/	/	/	/	-	5		
MES (mg/l)	184	74	295,0	21,1	178,0	38,5	214	28	35	-		
OD (mg/l)	0,2	07,3	01,2	08,2	0,3	07,8	0,3	08	-	9,1		
Sal (mg/l)	0,9	0,9	0,9	0,9	01	01	0,9	0,9	-	-		
RS (mg/l)	1490	1400	/	/	/	/	/	/	-	1000		

Annexe

Tableau 2: Paramètres de pollution

Date et heures	03/01/2018 10:43			06/02/2018 10 :45			27/02/2018 10 :35			06/03/2018 10 :50			Normes ALG [41]	Norme OMS [28]
	Paramètre	Eau Brute	Eau traitée	Rendement	Eau Brute	Eau traitée	Rendement	Eau Brute	Eau traitée	Rendement	Eau Brute	Eau traitée		
DCO (mg/l)	405	21,2	95%	424	29,7	93%	485	23,6	95,13%	221	22,2	89,95%	120	-
DBO ₅ (mg/l)	211	11,4	94,59 %	225	06	97,33%	115	03,6	96,86%	55	01	98,18%	35	-
NO ₃ ⁻ (mg/l)	0,4	1,4	/	0,7	05	/	0,3	8,6	/	0,6	0,3	/	-	50
NO ₂ ⁻ (mg/l)	0,2	0,1	/	0,2	0,2	0	0,1	0,2	/	0,6	0,3	/	-	0,1
NH ₄ ⁺ (mg/l)	27,1	03	88,92 %	24,4	0,3	98,77%	21,7	0,7	96,77%	06,6	0,3	95,45 %	-	0,5
N _T (mg/l)	37,6	06	84%	37,2	06,5	82,52 %	/	/	/	17,3	4,5	3,98%	-	-
PO ₄ ³⁻	03,9	01,4	64,10 %	04	01,8	55%	03	01,8	40%	01,8	01,7	05,55%	-	-
P _T (mg/l)	11,9	04,3	63,86 %	12,4	05,6	54,83 %	09,1	05,6	38 ,46%	5,4	05,3	01,85%	10	-

Annexe

Date et heures	14/03/2018 10 :15			20/03/2018 10 :20			03/04/2018 10 :00			17/04/2018 10 :55			Normes AIG [41]	Norme OMS [28]
	Paramètre	Eau Brute	Eau traitée	Rendement	Eau Brute	Eau traitée	Rendement	Eau Brute	Eau traitée	Rendement	Eau Brute	Eau traitée		
DCO (mg/l)	394	22,9	94,18 %	388	169	56,44 %	266	33	87,59%	208	36,6	82,40%	120	-
DBO ₅ (mg/l)	145	04,9	96,62%	527	14,1	97,32%	160	06	96,25%	154	14,7	90,45%	35	-
NO ₃ ⁻ (mg/l)	/	/	/	/	/	/	01,8	03,2	/	/	/	/	-	50
NO ₂ ⁻ (mg/l)	/	/	/	/	/	/	01,4	0,3	/	/	/	/	-	0,1
NH ₄ ⁺ (mg/l)	/	/	/	/	/	/	12,3	0,4	96,74 %	/	/	/	-	0,5
N _T (mg/l)	/	/	/	/	/	/	22,7	06	73,56%	/	/	/	-	-
PO ₄ ³⁻	/	/	/	/	/	/	04,8	02,1	56,25%	/	/	/	-	-
P _T (mg/l)	/	/	/	/	/	/	14,7	06,2	57,82 %	/	/	/	10	-

Annexe

Date et heures	24/04/2018 10 : 30			02/05/2018 10 :25			10/05/2018 10 :40			15/05/2018 10 :45			Normes AIG [41]	Norme OMS [28]
	Paramètre	Eau Brute	Eau traitée	Rendement	Eau Brute	Eau traitée	Rendement	Eau Brute	Eau traitée	Rendement	Eau Brute	Eau traitée		
DCO (mg/l)	241	23,9	90 %	152	16	89,47 %	127	03,4	97,32%	350	34,3	90 %	120	-
DBO ₅ (mg/l)	152	16	89,47 %	261	25,2	90,34%	228	55,1	75,83%	200	45,2	77,4%	35	-
NO ₃ ⁻ (mg/l)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	10,1	0,5	95 %	-	50
NO ₂ ⁻ (mg/l)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,1	0,1	-	-	0,1
NH ₄ ⁺ (mg/l)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	21,3	0,6	97,18%	-	0,5
N _T (mg/l)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	32,5	0,6	98,15%	-	-
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	12,3	2,8	77,23%	-	-
P _T (mg/l)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	2,8	01,6	42,85%	10	-

Annexe

Tableau 3 :Minéralisation globale

Date et heures	14/03/2018 10 :15		20/03/2018 10 :20		17/04/2018 10 :00		24/04/2018 10 :55		Normes AIG [41]	Norme OMS [28]
	Eau Brute	Eau traitée								
TH (°F)	64	60	48,8	47,8	64	58,4	65	60	-	-
TA (°F)	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-
TAC (°F)	45	36	38	26	48,2	40	48	42	-	-
Ca ²⁺ (mg/l)	320,62	293,37	291,76	237,26	261,3	242,07	232,45	198,78	-	-
Mg ²⁺ (mg/l)	340,2	165,24	372,27	291,6	374,22	291,6	368,38	311,04	-	50
Cl ⁻ (mg/l)	724,2	809,4	834,25	782	965,6	887,5	866,2	923	-	250

Annexe

- Analyses microbiologiques :**

Tableau 4: Nombre le plus probable (NPP)

1*50 ml	5*10 ml	5*1 ml	Nombre caractéristique	Limites de confiance	
				inferieure	Supérieure
0	0	0	<1		
0	0	1	1		4
0	0	2	2	<0.5	6
0	1	0	1	<0.5	4
0	1	1	2	<0.5	6
0	1	2	3	<0.5	8
0	2	0	2	<0.5	6
0	2	1	3	<0.5	8
0	2	2	4	<0.5	11
0	3	0	3	<0.5	8
0	3	1	5	<0.5	13
0	4	0	5	<0.5	13
0	0	0	1	<0.5	4
1	0	1	3	<0.5	8
1	0	2	4	<0.5	11
1	0	3	6	<0.5	15
1	1	0	3	<0.5	8
1	1	1	5	<0.5	13
1	1	2	7	<0.5	17
1	1	3	9	1	21
1	2	0	5	2	13
1	2	1	7	<0.5	17
1	2	2	10	1	23
1	2	3	12	3	28
1	3	0	8	3	19
1	3	1	11	2	26
1	3	2	14	3	34
1	3	3	18	4	53
1	3	4	21	5	66
1	4	0	13	6	31
1	4	1	17	4	47
1	4	2	22	5	59
1	4	3	28	7	85
1	4	4	35	9	10
1	4	5	43	12	120
1	5	0	24	15	75
1	5	1	35	8	1
1	5	2	54	12	140
1	5	3	92	18	220
1	5	4	160	27	450
1	5	5	>240	39	

Annexe

Tableau 5 : Utilisation de la Table de NPP pour dénombrement les coliformes (eau traitée)

Inoculum	Test Présomption	Nombre Caractéristique	Test Confirmation		Nombre Caractéristique
			Trouble	Indole	
Flacon 50 ml BCPL D/C	-	0	-	-	0
5 *10ml BCPL D/C	- - - -	0	- - - -	- - - -	0
5*1ml BCPL S/C	+ + - - -	2	+ - - - -	+ - - - -	1

Le nombre caractéristique relatif au dénombrement des coliformes totaux est donc 002 ce qui correspond sur la table NPP à 2000 coliformes totaux / 100ml. 001 correspond sur la table de NPP à 1000 coliformes fécaux/ 100ml.

Tableau 6 : Utilisation de la Table de NPP pour dénombrement les coliformes (eau brute).

Inoculum	Test Présomption	Nombre Caractéristique	Test Confirmation		Nombre Caractéristique
			Trouble	Indole	
Flacon 50 ml BCPL D/C	+	1	+	+	1
5 *10ml BCPL D/C	+ + - - -	2	+ - - - -	+ - - - -	1
5*1ml BCPL S/C	+ + + - -	3	+ + + - -	+ + + - -	3

Le nombre caractéristique relatif au dénombrement des coliformes totaux est donc 123 ce qui correspond sur la table NPP à 12000 coliformes totaux / 100ml. 113 correspond sur la table de NPP à 9000 coliformes fécaux/ 100ml.

Annexe

Tableau 7: Utilisation de la Table de NPP pour dénombrement les streptocoques fécaux (eau traitée).

Inoculum	Test Présomption	Nombre Caractéristique	Test Confirmation		Nombre Caractéristique
			Trouble	Pastille Violet	
Flacon 50 ml BCPL D/C	0	0	-	-	0
5 *10ml BCPL D/C	+ + + - -	3	+ - - - -	+ - - - -	1
5*1ml BCPL S/C	+ + - - -	2	+ - - - -	+ - - - -	1

Le nombre caractéristique relatif au dénombrement des Streptocoques fécaux 011 correspond sur la table de NPP à 2000germes / 100 ml de Streptocoques fécaux.

Annexe

Tableau 8 : Utilisation de la Table de NPP pour dénombrement les streptocoques fécaux (eau brute).

Inoculum	Test Présomption	Nombre Caractéristique	Test Confirmation		Nombre Caractéristique
			Trouble	Pastille violet	
Flacon 50 ml BCPL D/C	+	1	+	+	1
5 *10ml BCPL D/C	+ + + -	4	+ + - - -	+ + - - -	2
5*1ml BCPL S/C	+ + - - -	2	+ - - - -	+ - - - -	1

Le nombre caractéristique relatif au dénombrement des Streptocoques fécaux 121 correspond sur la table de NPP à 7000germes / 100ml de Streptocoques fécaux.