



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

DEPARTEMENT Hydraulique Urbaine

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique

OPTION : conception des réseaux d'assainissement

THEME :

**ETUDE DES PERFORMANCES EPURATOIRES DE LA
STATION D'EPURATION DE SIDI MEROUANE
(W.MILA)**

Présenté par :

M^{lle} : ARIS Khouloud

DEVANT LES MEMBRES DU JURY

| Nom et Prénom | Grade | Qualité |
|--------------------------------------|-----------|--------------|
| M ^r AMMARI Abdelhadi | M.C.B | Président |
| M ^{me} BELABES Salima | M.A.A | Examinatrice |
| M ^r MERABTI Abdelaziz | Doctorant | Examineur |
| M ^r BOUFEKANE Abdelmadjid | M.A.A | Examineur |
| M ^{me} HOULI Samia | M.C.B | Promotrice |

Septembre 2015

Remerciement

Il m'est impératif d'ouvrir ce mémoire en remerciant toutes les Personnes qui m'ont apporté leurs soutiens pendant mes études et pour l'élaboration de mon Mémoire :

- ✚ mes parents en premier lieu qui m'ont aidés et m'encouragé pour accomplir mes études.
- ✚ tous les membres de ma famille qui m'ont aidés et encouragés quel que soit les conditions
- ✚ Un vif remerciement à madame HOULI Samia pour son attention ainsi que son soutien précieux cette femme n'était pas seulement ma promotrice pour ce travail mais elle ma donné des conseils d'une mère à sa fille.

J'affirme que j'ai appris énormément de choses avec elle.

- ✚ A tout le personnel de l'office national d'assainissement unité de MILA et de la STEP de SIDI MEROUANE, je leur adresse mes remerciements, mes salutations et ma reconnaissance, d'avoir me facilité l'accès aux données nécessaires pour accomplir ce travail.
- ✚ Je tiens à remercier aussi les membres de jury pour avoir accepté d'évaluer mon travail ;
- ✚ Tous les enseignants qui ma appris ce que je savais tout au long de ma formation;
- ✚ Mes amis pour leur présence et leur soutien .
- ✚ Tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration et l'aboutissement de ce mémoire.

Dédicace

- ✚ Je dédie ce modeste travail à tous ceux que j'aime
- A mes parents qui ont toujours été les étoiles de mon ciel et ont éclairé mon Chemin.*
- A ma grand-mère paternelle que Dieu la garde.*
- A mes frères : islam et wassim.*
- A mes amies : Mimi ; Imi ; Douidi ; Mily ; Hana ; Bicha ; Hadjer Tofa ; sabi et Lily.*
- A mon camarade Mohamed qui a comporté toujours comme un frère.*
- A Tous mes camarades surtout Zaki*
- A tous les membres de ma famille surtout ma tante Ghania.*
- A toute ma promotion.*
- A tout les enseignants de l'ENSH qui m'ont accompagné durant mes études .*

Khouloud

ملخص

Résumé

Abstract

Résumé

ملخص

الهدف الأساسي لعملنا هو تقييم أداء محطة معالجة المياه المستعملة (الحمئة النشطة) لسيدي مروان ولاية ميلة من خلال مراقبة التدفق الوارد إلى المحطة و تحليل العينات لرصد تركيز المعاملات الفيزيوكيميائية المتمثلة في الحاجة الكيميائية للأكسجين ، الحاجة البيوكيميائية للأكسجين، المواد العالقة، درجة الحرارة، درجة الحموضة، الازوت و الفسفور. أظهرت النتائج أن حمولات التلوث الواردة إلى المحطة اقل من قدرة استيعابها و بالرغم من ذلك لاحظنا وجود خلل في معالجة الازوت و الفسفور و بذلك فنوعية المياه الناتجة لا تلبى معايير الصرف الصحي . من اجل الحفاظ على المحيط و توسيع إمكانية إعادة استعمال المياه المعالجة نقترح انجاز حوضين مزروعين بغرض الرفع من مردود إزالة الازوت و الفسفور.

Résumé

L'objectif principal de notre travail est l'évaluation des performances épuratoires de la station d'épuration par boues activées de SISI MEROUANE (W.MILA) à travers le suivi du débit entrant, l'analyse des paramètres physicochimiques issus de l'autosurveillance de la STEP à savoir les (MES, DBO ; DCO, pH, N-NH₄⁺, N-NO₃, température, les orthophosphates et la conductivité électrique) et les ratios indicateurs de performances durant une période qui s'étale de Janvier 2014 à avril 2015.

Les résultats ont montré que les charges hydrauliques et polluantes exprimées en DBO et DCO sont inférieures à la capacité nominale de la STEP. Aussi, les rendements d'élimination de la pollution organique, des matières en suspension (MES) répond aux objectifs de constructeur par contre ceux des sels nutritifs (azote et phosphore) ne sont pas satisfaisants. La qualité des eaux rejetées ne répond donc pas aux normes de rejets.

Pour la préservation de l'environnement, ou bien pour une éventuelle réutilisation des eaux épurées, nous proposons l'ajout de deux lagunes de finition à macrophytes pour un abattement supplémentaire de la pollution azotée et phosphorée.

Abstract

The main objective of our work was to estimate the performance of the wastewater treatment plant of SIDI MEROUANE(MILA) through the data analysis stemming from the surveillance of this plant and the monitoring of the hydraulic load. The physico-chemical parameters of pollution (temperature, pH, conductivity, suspended solids, biological oxygen demand BOD, chemical oxygen demand COD, ammonia-N, Nitrate, total nitrogen, orthophosphates) were analyzed for a period which runs from January 2014 to April 2015.

The obtained results revealed that hydraulic and pollution loads BOD and COD Was less then the rated capacity of the wastewater treatment plant. Additionally, the removals of the polluting loads in term of BOD, COD and suspended solids were in compliance with the discharge standards but the elimination of nitrogen and phosphorus was not enough .

For the preservation of the environment, or for possible reuse of treated water, we suggest the addition of two plants lagoons for a further reduction in nitrogen pollution and phosphorus.

Résumé

Table des matières

Table des matières

Introduction générale

CHAPITRE I : Procédés d'épuration par boues activées

| | |
|---|----|
| Introduction..... | 2 |
| I.1.Prétraitement..... | 3 |
| I.1.1.Dégrillage..... | 3 |
| I.1.1.1. Différents types de grilles | 4 |
| I.1.1.2 Conditions pour l'efficacité de dégrillage..... | 6 |
| I.1.2 le Tamisage | 6 |
| I.1.3 le dessablage | 7 |
| I.1.3.1 Différents types de dessableurs..... | 7 |
| I.1.4.Dégraissage et déshuilage | 8 |
| I.1.4.1.Types de déshuileurs-dégraisseurs..... | 8 |
| I.1.4.2. Objectifs de déshuilage- dégraissage | 8 |
| I.2.Traitement primaire (décantation) | 9 |
| I.2.1 Traitement physico-chimique | 9 |
| I.2.2. Principaux types de décanteurs..... | 10 |
| I.2.3. Rendement de la décantation primaire | 11 |
| I.3.Traitement biologique par boues activées | 12 |
| I.3.1.Généralités sur l'épuration par boues activées (cultures libres)..... | 12 |
| I.3.2. Régime hydraulique d'un procédé à boue activée | 13 |
| Comparaison entre les deux systèmes | 13 |
| I.3.3 Paramètres de fonctionnement en boues activées..... | 13 |
| I.3.4. Besoins en oxygène | 18 |
| I.3.5. Besoins en nutriments..... | 19 |
| I.3.6. Production de boues | 20 |
| I.4. Décantation secondaire (la clarification) | 21 |
| I.5. Le traitement tertiaire (la désinfection) | 22 |
| Conclusion..... | 23 |

CHAPITRE II : Mécanismes d'élimination d'azote et du phosphore

| | |
|--|----|
| Introduction | 24 |
| II.1. Les effets d'azote et du phosphore | 24 |
| II.2. Origines d'azote et du phosphore | 25 |
| II.2.1. Origines d'azote..... | 25 |
| II.2.2. Origines du phosphore..... | 25 |
| II.3. Formes chimique de l'azote et du phosphore | 25 |
| II.3.1. Formes chimique d'azote..... | 25 |
| II.3.2. Formes chimiques du phosphore | 26 |
| II.4. Mécanismes d'élimination d'azote et du phosphore | 27 |
| II.4.1. Traitement de l'azote | 27 |
| II.4.1.1. Elimination par Décantation | 27 |
| II.4.1.2. Élimination biologique | 27 |
| II.4.2. Traitement du phosphore | 32 |
| II.4.2.1. Déphosphatation biologique | 32 |
| II.4.2.2. Déphosphatation chimique | 33 |
| Conclusion..... | 35 |

CHAPITRE III : Traitement des boues

| | |
|--|----|
| Introduction | 36 |
| III.1. Définition des boues..... | 36 |
| III.2. Origine des boues résiduares..... | 36 |
| III.2.1. Boues primaires..... | 36 |
| III.2.2. Boues physico-chimique | 36 |
| III.2.3. boues secondaires | 37 |
| III.2.4. Boues mixtes..... | 37 |
| III.3. Caractéristiques des boues..... | 37 |
| III.3.1. Siccité d'une boue..... | 37 |
| III.3.2. Taux de Matières Volatiles Sèches | 37 |
| III.3.3. Consistance de la boue | 38 |
| III.4. Objectif de traitement des boues | 38 |
| III.5. Etapes de traitement des boues..... | 38 |
| III.5.1. Epaissement | 38 |

| | |
|--|----|
| III.5.1.1.Epaississement par gravitation | 39 |
| III.5.1.2. Epaississement dynamique..... | 40 |
| III.5.2. Stabilisation..... | 41 |
| III.5.2.1. Stabilisation biologique..... | 41 |
| III.5.2.2. Stabilisation chimique..... | 41 |
| III.5.2.3. Stabilisation thermique..... | 41 |
| III.5.2.4. Stabilisation par compostage..... | 42 |
| III.5.3. Conditionnement..... | 42 |
| III.5.4.Déshydratation mécanique des boues | 42 |
| III.5.4.1. Filtration sous vide..... | 42 |
| III.5.4.2. Filtres presses..... | 42 |
| III.5.4.3. Filtres à bande..... | 43 |
| III.5.4.4.Centrifugation des boues..... | 43 |
| III.5.5.Séchage des boues..... | 43 |
| III.6. Traitements d'hygiénisation..... | 45 |
| III.7. Stockage des boues..... | 46 |
| III.8. Valorisation agricole des boues..... | 46 |
| Conclusion..... | 48 |

CHAPITRE IV : Présentation de la STEP de SIDI MEROUANE

| | |
|---|----|
| Introduction..... | 49 |
| IV.1.Présentation générale de la STEP | 49 |
| IV.1.1.Aperçu sur la STEP de SIDI MEROUANE..... | 49 |
| IV.1.2.Localisation géographique..... | 50 |
| IV.2.Données de base de la STEP..... | 50 |
| IV.3.Description des ouvrages..... | 51 |
| IV.3.1 Filière eau..... | 51 |
| IV.3.2.Filière boue..... | 51 |
| IV.4.Principe de fonctionnement de la STEP..... | 51 |
| IV.4.1 Arrivée des effluents..... | 51 |
| IV.4.2 Prétraitement..... | 52 |
| IV.4.3 Traitement biologique..... | 52 |
| IV.4.4 Dégazage..... | 54 |

| | |
|--|----|
| IV.4.5 Clarification et recirculation des boues..... | 54 |
| IV.4.6. Traitement des boues | 55 |
| IV.4.7 comptage des eaux | 57 |
| Conclusion..... | 57 |

CHAPITRE V : Etude des performances épuratoires de la STEP de SIDIMEROUANE

| | |
|--|----|
| Introduction | 58 |
| V.1. Matériels et méthodes..... | 58 |
| V.1.1. Mesure du débit | 58 |
| V.1.2. Echantillonnage | 58 |
| V.1.3. Les principaux paramètres analysés | 58 |
| V.1.4. Fréquence des analyses | 59 |
| V.2. Résultats et discussions | 59 |
| V.2.1. Evolution de la charge hydraulique..... | 59 |
| V.2.2. Evolution des paramètres physico-chimiques..... | 60 |
| V.2.3. Autres paramètres..... | 68 |
| V.2.4. Interprétation des indicateurs de performances (ratios) | 71 |
| V.2.5. Valorisation agricole des boues de la STEP..... | 78 |
| Conclusion..... | 78 |

CHAPITRE VI : Solutions proposées pour l'amélioration du fonctionnement de la STEP

| | |
|---|----|
| Introduction | 79 |
| VI.1. L'auto-surveillance au niveau de la STEP | 79 |
| VI.2. Dysfonctionnements observés et recommandations exigés | 79 |
| VI.2.1. Apparition algale à la surface du clarificateur | 79 |
| VI.2.2 Arrêt des deux dégrilleurs automatiques (grossier et moyen)..... | 80 |
| VI.3. Solution pour un abattement supplémentaire de la pollution azotée et phosphorée | 81 |
| VI.3.1 Aperçu sur le lagunage de finition à macrophytes | 82 |
| VI.3.2 Dimensionnement..... | 82 |
| VI.3.3 Exécution des travaux des lagunes | 85 |
| Conclusion | 86 |

Conclusion générale

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Chapitre I : procédés d'épuration par boues activées

| | |
|--|----|
| Tableau 1.1 : Types de grilles en fonction de l'espacement entre les barreaux..... | 4 |
| Tableau I.2 : Classement des procédés par boues activées..... | 15 |
| Tableau I.3 : Avantages et inconvénients des différents procédés. | 16 |

Chapitre III : traitement des boues

| | |
|--|----|
| Tableau III.1 : le pourcentage de siccité pour chaque état physique des boues..... | 38 |
| Tableau III.2 : seuils de référence pour la teneur en micro organismes pathogènes..... | 46 |
| Tableau III.3 : Différentes étapes de traitement des boues | 47 |

Chapitre IV : présentation de la STEP de SIDI MEROUANE.

| | |
|---|----|
| Tableau IV.1: Données de base du constructeur, horizon 2015..... | 49 |
| Tableau IV.2 : Charges polluantes de dimensionnement, horizon 2015..... | 50 |

Chapitre V : étude des performances épuratoires de la STEP de SIDI MEROUANE.

| | |
|--|----|
| Tableau V.1 : fréquences d'analyses des différents paramètres..... | 59 |
| Tableau V.2 : concentrations limites en ETM des boues en France..... | 78 |
| Tableau V.3 : les concentrations en ETM au niveau de la STEP de SIDI MEROUANE (2014,2015)..... | 78 |

Chapitre VI : solutions proposées pour l'amélioration du fonctionnement de la STEP

| | |
|--|----|
| Tableau VI.1 : récapitulation des dimensions de chaque lagune de finition..... | 84 |
| Tableau VI.2 : Coefficient de foisonnement..... | 85 |
| Tableau VI.3 : Devis estimatif. | 85 |

Liste des figures

Liste des figures

Chapitre I : procédés d'épuration par boues activées

| | |
|---|----|
| Figure I.1 : Différentes étapes de traitement des eaux usées | 2 |
| Figure I.2 : Vis d'Archimède | 2 |
| Figure I.3 : Dégrilleur à nettoyage automatique. | 4 |
| Figure I.4 : grille courbée..... | 5 |
| Figure I.5: grille droite. | 6 |
| Figure I.6: déssableur-déshuileur combiné. | 8 |
| Figure I.7 : schématisation du processus de décantation physico-chimique..... | 10 |
| Figure I.8 : procédé de traitement par boues activées..... | 12 |
| Figure I.9 : Clarificateur..... | 21 |

Chapitre II : mécanismes d'élimination d'azote et du phosphore

| | |
|--|----|
| Figure II.1: un cours d'eau eutrophisé | 24 |
| Figure II.2 : mécanisme d'élimination biologique de l'azote | 27 |
| Figure II.3 : élimination biologique dans un seul bassin..... | 31 |
| Figure II.4 : Schématisation d'un bassin d'anoxie à l'amont du bassin d'aération | 31 |
| Figure II.5: Schématisation d'un bassin d'anoxie à l'aval du bassin d'aération | 31 |
| Figure II.6: élimination biologique du phosphore..... | 33 |
| Figure II.6: étapes de déphosphatation chimique..... | 34 |

Chapitre III : traitement des boues

| | |
|---|----|
| Figure III.1 : chaine de traitement des boues. | 38 |
| Figure III.2 : Schéma du principe d'un épaissement gravitaire. | 39 |
| Figure III.3. : Epaisseur à flottation | 40 |
| Figure III.4 : déshydratation par centrifugation | 43 |
| Figure III.6 : coupe d'un lit planté de macrophytes | 44 |
| Figure III.7 : principe de séchage solaire. | 44 |
| Figure III.7 : Valorisation agricole des boues..... | 46 |

Chapitre IV : présentation de la STEP de SIDI MEROUANE.

| | |
|---|----|
| Figure IV .1: Photo satellitaire de la station d'épuration de SIDI MEROUANE. | 49 |
| Figure IV.2: Localisation de la STEP de SIDI MEROUANE | 50 |

Chapitre V : étude des performances épuratoires de la STEP de SIDI MEROUANE.

| | |
|---|----|
| Figure V.1 : évolution moyenne mensuelle des débits des eaux brutes de la STEP..... | 59 |
| Figure V.2: Évolution moyenne mensuelle du pH à l'entrée et à la sortie de la STEP..... | 60 |

| | |
|---|----|
| Figure V.3: Évolution moyenne mensuelle de la CE à l'entrée et à la sortie de la STEP..... | 61 |
| Figure V.4: Évolution moyenne mensuelle de la température à l'entrée et à la sortie de la STEP..... | 62 |
| Figure V.5: Évolution moyenne mensuelle des MES à l'entrée et à la sortie de la STEP..... | 63 |
| Figure V.6: Évolution moyenne mensuelle de la DBO5 à l'entrée et à la sortie de la STEP ... | 64 |
| Figure V.7: Évolution moyenne mensuelle de la DCO à l'entrée et à la sortie de la STEP | 65 |
| Figure V.8: Évolution moyenne mensuelle du phosphore total à l'entrée et à la sortie de la STEP..... | 65 |
| Figure V.9: Évolution moyenne mensuelle de l'azote total à l'entrée et à la sortie de la STEP | 66 |
| Figure V.10: Évolution moyenne mensuelle d'azote ammoniacal à l'entrée et à la sortie de la STEP..... | 67 |
| Figure V.11: Évolution moyenne mensuelle des nitrates à l'entrée et à la sortie de la STEP .. | 68 |
| Figure VI.12: Évaluation moyenne mensuelle de l'indice de boue. | 69 |
| Figure VI.13: Évaluation moyenne mensuelle de la quantité du sable récupéré dans la STEP..... | 69 |
| Figure VI.14: Évaluation moyenne mensuelle de la quantité des déchets récupérés dans la STEP..... | 70 |
| Figure VI.15: Évaluation moyenne mensuelle de siccité des boues déshydratées..... | 71 |
| Figure V.16: Variation du rapport DCO/DBO5 à l'entrée de la STEP | 71 |
| Figure V.17 : Évolution moyenne mensuelle du rapport DBO5/ NT/ PT à l'entrée de la STEP | 72 |
| Figure V.18: Variation du rapport MES/DBO5 à l'entrée de la STEP | 73 |
| Figure V.19 Variation du rapport DCO/PT à l'entrée de la STEP | 73 |
| Figure V.20 : Variation du rapport DCO/NT à l'entrée de la STEP | 74 |
| Figure V.21.: Variation du rapport NH4+/NT à l'entrée de la STEP | 75 |
| Figure V.22 : Évolution moyenne mensuelle du rapport NT /DBO5 à l'entrée de la STEP | 75 |
| Figure V.23: Variation du rapport quantité polymère consommée/ quantité boue de matière sèche extraite..... | 76 |
| Figure V.24 : Variation consommation d'énergie électrique/ volume d'eau traité dans la STEP..... | 77 |

Chapitre VI : solutions proposées pour l'amélioration du fonctionnement de la STEP

| | |
|--|----|
| Figure VI.1 : apparition algale à la surface du clarificateur..... | 80 |
| Figure VI.2 : dégrilleur grossier automatique en arrêt. | 81 |
| Figure VI.3 : dégrilleur moyen automatique en arrêt..... | 81 |
| Figure VI.4 : lagune à macrophyte..... | 82 |

Liste des planches

Liste des planches

Planche N°1 : plan de situation de la STEP de SIDI MEROUANE.

Planche N°2 : plan de masse de la STEP de SIDI MEROUANE.

Planche N°3 : Coupe longitudinale de la lagune de finition.

Liste des abréviations

Liste des abréviations

STEP : Station d'épuration
CE : Conductivité Electrique
MVS : matières volatiles en suspension
MES : Matières en Suspensions
MMS : Matières Minérales en suspension
pH : Potentiel d'Hydrogène
Eh : Potentiel Redox
DBO₅ demande biologique en oxygène durant 5 jours
DCO demande chimique en oxygène
EH : Equivalent Habitant
C_v : Charge Volumique
C_m : Charge Massique
µS/cm : Micro siemens par centimetre
NTK azote Kjeldahl Total
NGL: Azote Global
NH₄⁺: Azote Ammoniacal
NO₂ : Azote Nitreux
NO₃⁻ : Azote Nitrique
ETM : Elément Trace Métallique
CTO : Composé Trace Organique
ONA : Office National d'Assainissement

Introduction générale

Introduction générale

La croissance démographique ainsi que le développement industriel exerce une grande charge sur l'environnement surtout à travers les volumes importants des eaux usées générées

La production des eaux usées en Algérie par l'ensemble du milieu urbain a été estimée à 800 millions m³ par an, il atteindra un volume très appréciable de 2 milliards m³ à l'horizon 2020. (Source : ministère des ressources en eau)

Cependant, le développement durable implique pour l'homme une maîtrise de ses rejets urbains et industriels. En effet, l'épuration des eaux usées est destinée à réduire les pollutions de ces eaux et ceci dans le but d'éviter qu'elles ne représentent une menace pour les écosystèmes aquatiques (eutrophisation, contamination microbiologique ou par les métaux lourds). Les phénomènes de pollution font l'objet de programmes de surveillance, d'études et de recherches, compte tenu des risques qu'ils présentent pour la santé et l'environnement.

En Algérie depuis l'année 2000, les pouvoirs publics ont décidé de régler le problème d'assainissement d'eau usée en priorité de premier ordre, Les actions de développement mise en œuvre dans le domaine de l'assainissement ont porté surtout sur l'épuration des eaux usées, ce qui a permis de disposer de 110 stations d'épuration dont 56 lagunes, et avec les STEP et les lagunes en réalisation le nombre atteindra 205 stations en 2015. (Source : ministère des ressources en eau)

Malgré cela, le vrai problème qu'on rencontre aujourd'hui ce n'est pas seulement le nombre insuffisant des STEP mais aussi les dysfonctionnements et les problèmes dû à la mauvaise gestion de ces stations une fois mises en service. Ce qui influe directement sur les rendements épuratoires et sur la qualité des rejets à l'aval de la station.

Notre étude consiste à suivre des indicateurs de performance dans la station d'épuration de SIDI MEROUANE, identifier les problèmes. Ceci en traitant les données disponibles des années antérieures (2014 et 2015). Ces indicateurs en question, permettront de mettre en évidence les optimisations nécessaires pour chaque poste et serviront, une fois mis en place, à piloter l'exploitation des installations composant la STEP Et pour bien cadrer cette étude, nous avons suivi un plan de travail axé sur trois parties :

- La première partie : Une synthèse bibliographique.
- La deuxième partie : suivi de fonctionnement de la STEP, Le matériel et les méthodes utilisées, les résultats du projet, l'analyse et l'interprétation des résultats.
- La troisième partie : proposer des solutions pour l'optimisation du fonctionnement de la station d'épuration de SIDI MEROUANE.

Chapitre I

Procédés d'épuration par boues activées

Introduction

Les eaux usées sont un milieu très chargé en matières polluantes nuisibles pour les êtres vivants et le milieu récepteur. Pour éviter toute pollution, l'eau usée doit être épurée avant son rejet ou sa réutilisation.

Les étapes de traitement des eaux usées dans une station d'épuration à boues activées sont :

- Prétraitement
- Traitement primaire (décantation)
- Traitement secondaire (traitement biologique ou physico-chimique)
- Traitement tertiaire (désinfection, traitement de l'azote et le phosphore....)

Les différentes étapes observées dans une station d'épuration biologique sont résumés sur la figure suivante :

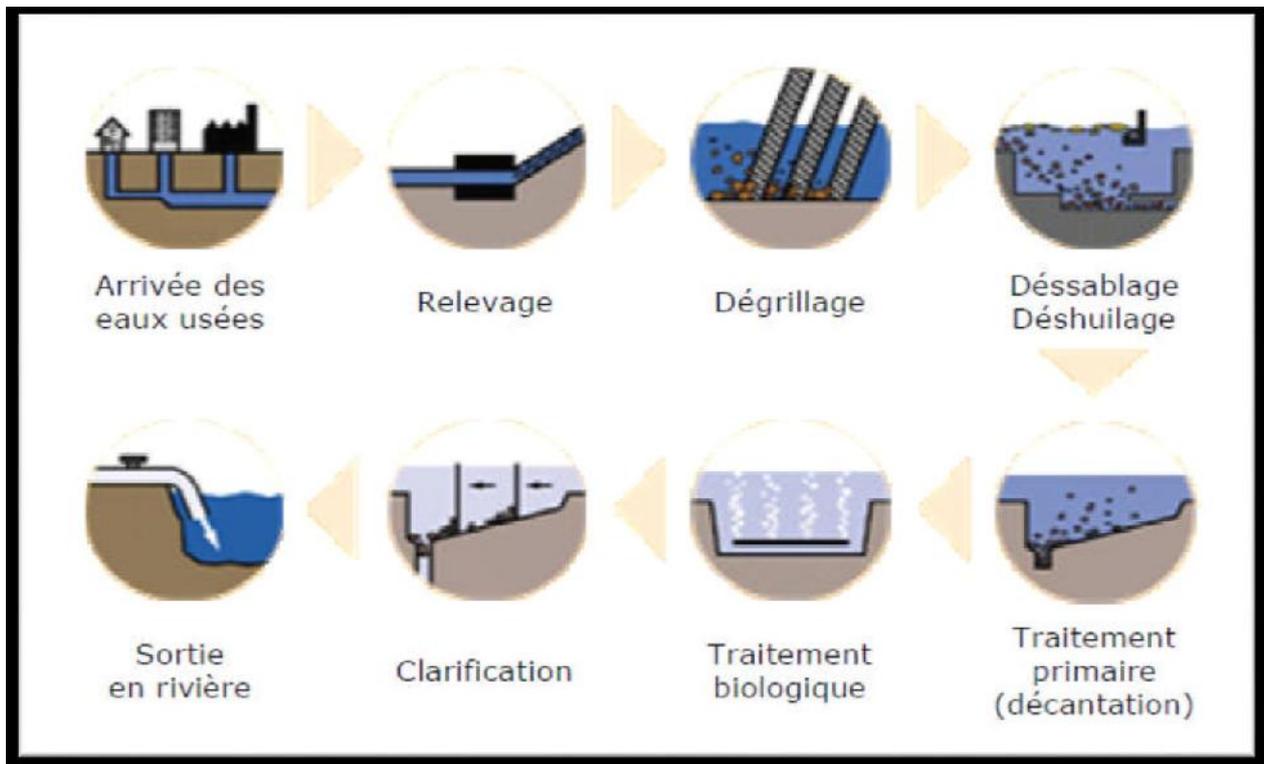


Figure I.1 : Différentes étapes de traitement des eaux usées

Remarque

Généralement, le transport des eaux usées vers la station d'épuration est de façon gravitaire mais si la station d'épuration se situe à un point plus élevé que le point de rejet des eaux usées, un relevage est utilisé.

Le relevage se fait soit avec une vis d'Archimède soit par un poste de relevage (des pompes).

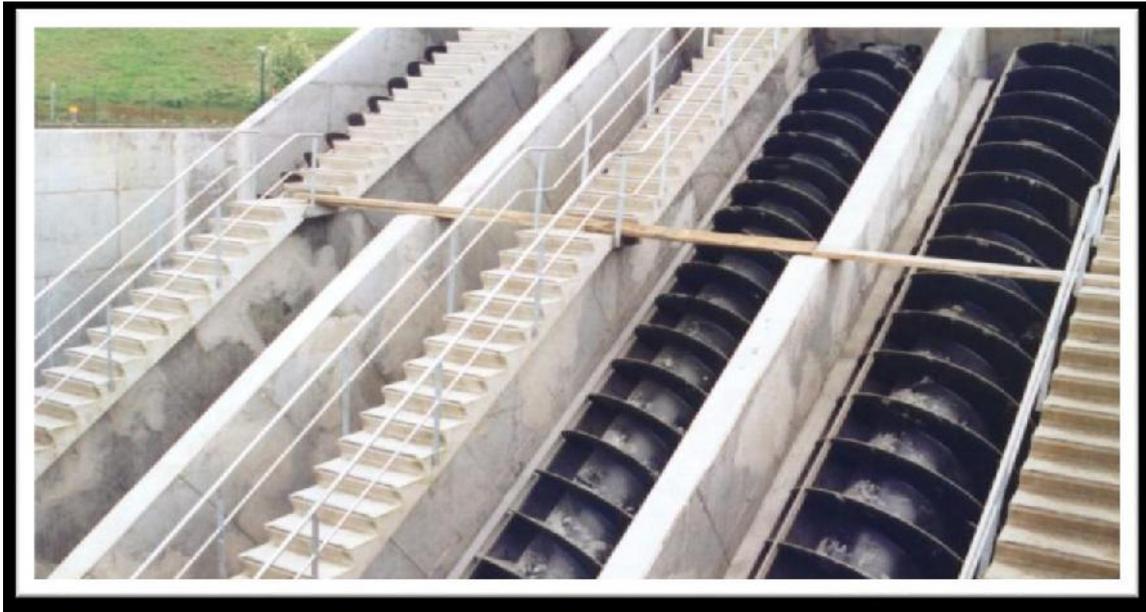


Figure I.2 : Vis d'Archimède

I.1. Prétraitement

Les dispositifs de prétraitement sont présents dans toutes les stations d'épuration, quels que soient les procédés mis en œuvre à l'aval. L'étape de prétraitement permet d'extraire les matières flottantes ou en suspension au moyen de procédés physiques. Les prétraitements ont donc pour objectif d'éliminer les éléments les plus grossiers, qui sont susceptibles de gêner les traitements ultérieurs et d'endommager les équipements.

Il s'agit de :

- Dégrillage.
- Tamisage.
- Dessablage
- Dégraissage – déshuilage.

I.1.1. Dégrillage

Les dégrilleurs assurent la protection des équipements électromécaniques et réduisent les risques de colmatage des conduites mises en place dans la station d'épuration. Le plus souvent, il s'agit de grilles qui récupèrent les déchets plus ou moins volumineux entraînés par les eaux s'écoulant dans les canalisations d'assainissement. Une grande diversité de grilles est disponible sur le marché.

Les performances d'un dégrilleur se caractérisent par son espacement entre barreaux.

L'écartement des barreaux de la grille est défini par le choix de la taille et de la nature des objets acceptés par la station. On cherche aussi un compromis entre espacement des barreaux et quantité des déchets à évacuer (nettoyage fréquent de la grille).

Le tableau suivant donne les types des grilles selon l'écartement entre les barreaux.

Tableau 1.1 : Types de grilles en fonction de l'espacement entre les barreaux

| Types de grilles | Espacement entre les barreaux (cm) |
|---------------------|------------------------------------|
| Dégrillage grossier | 3 à 10 |
| Dégrillage moyen | 1 à 2,5 |
| Dégrillage fin | 0,3 à 1 |

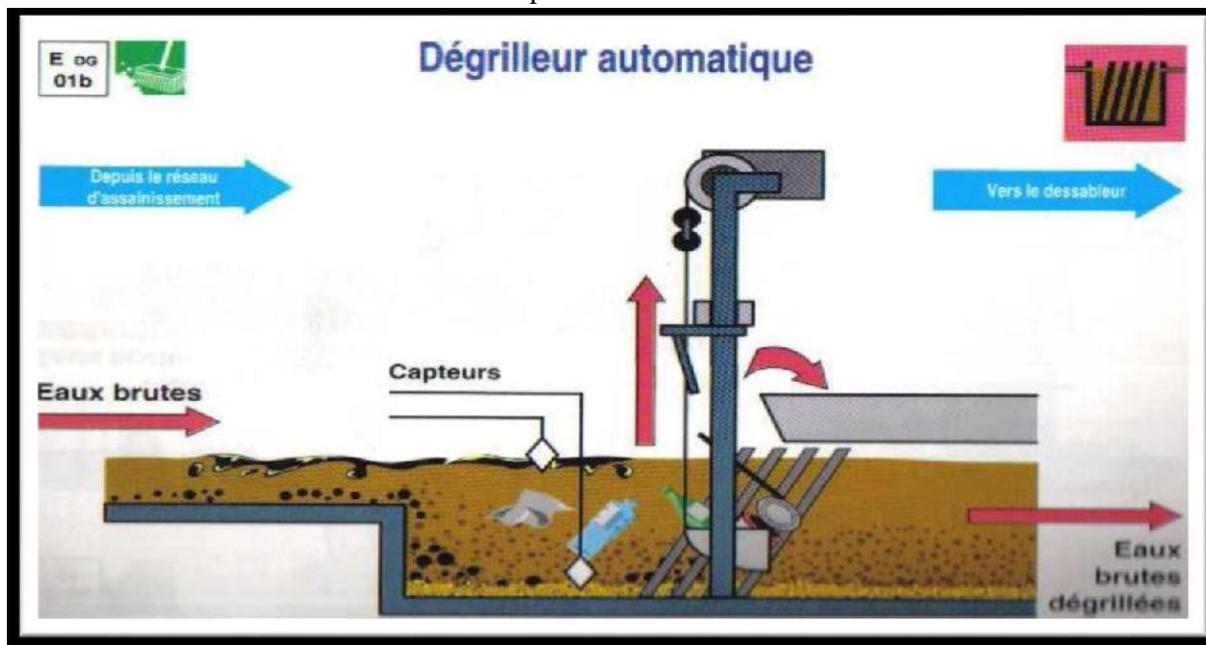
I.1.1.1. Différents types de grilles

a) grilles manuelles

Les grilles à nettoyage manuel, composées de barreaux droits, ronds ou rectangulaires, sont généralement inclinées de 60° à 80° par rapport à l'horizontale pour faciliter le raclage. Elles sont parfois mobiles (sur glissières), ou pivotantes pour autoriser le nettoyage du canal aval si ce dernier est couvert. Dans les postes de relevage d'eau résiduaires, elles sont souvent remplacées par des paniers perforés relevables, évitant la nécessité d'accès, mais de manutention et nettoyage malcommodes.

b) grilles mécaniques

Les grilles à nettoyage automatique sont destinées pour les grandes agglomérations donc le nombre d'équivalent habitant ≥ 2000 .

**Figure I.3** : Dégrilleur à nettoyage automatique.

On distingue les grilles courbes et les grilles droites :

 **grilles courbes**

Ce type de grille est recommandé pour les petites et moyennes installations (de 7000 à 10000 m³/h), lorsque les eaux ne sont pas trop chargées et que la hauteur de relevage des débris est réduite (profondeur du canal d'amenée variant de 0,5 à 1,8m). Il a pour avantage de présenter une grande section de passage utile et d'être d'une conception mécanique simple. Le nettoyage est assuré par un ou deux pièges montés à l'extrémité du bras tournant autour d'un axe horizontal.



Figure I.4 : grille courbée.

 **grille droite à nettoyage alternatif**

Le champ de grille est généralement incliné à environ 80° par rapport à l'horizontale.

Un dispositif alternatif (râteau, racleur, grappin ou poche pivotante) remonte les débris le long du champ de la grille, puis du tablier, et redescend en position écartée. Les débris sont repris en position haute par un extracteur éventuellement motorisé.

 **grille droite à nettoyage continu**

Elles sont bien adaptées à un dégrillage fin. La grille droite est inclinée à 80° environ par rapport à l'horizontale, est nettoyée par des racleurs, des peignes ou des balais-brosses entraînés par un mécanisme à chaînes sans fin. L'éjection des déchets est généralement motorisée.

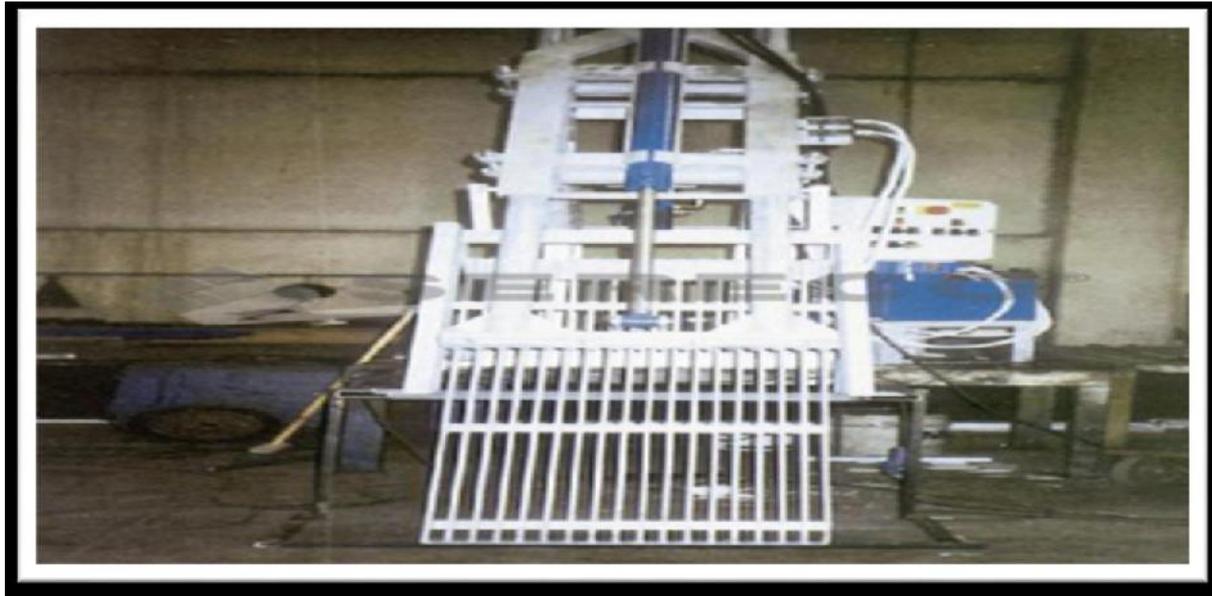


Figure I.5: grille droite.

I.1.1.2 Conditions pour l'efficacité de dégrillage

Afin de réaliser un bon dégrillage, il conviendrait de respecter les conditions suivantes :

- ✓ la vitesse de passage de l'eau dans l'ouvrage doit être supérieure à 0,5 m/s sans dépasser 1,4 m/s pour éviter le dépôt de matériaux lourds
- ✓ la fréquence d'entretien : Il faut prévoir une capacité de stockage de 48 heures minimum à l'abri des rats, insectes (ponte).

I.1.2 le Tamisage

Le tamisage est un dégrillage poussé qui consiste en une filtration sur toile ou tôle perforée mettant en œuvre des mailles de différentes dimensions. Selon les dimensions des mailles, on distingue :

a) Macro-tamisage

Le macro-tamisage est destiné à retenir les particules supérieures à 200 μm (les matières en suspension flottantes, les débris végétaux, les herbes, insectes...). La charge de la pollution est ainsi réduite et le traitement biologique est allégé.

b) Micro-tamisage (mailles de 30 à 100 μm)

Le micro tamisage consiste à retenir les particules de très petites dimensions. Toutefois, son application aux prétraitements des eaux résiduaires est très limitée en raison d'un colmatage trop rapide des tamis.

Les différents tamis employés sont :

- Tamis rotatifs
- Tamis vibrants

On distingue principalement trois fonctions du tamisage :

- 🗑️ La récupération des déchets utilisables.
- 🚰 La protection des canalisations ou des pompes (en évitant l'obstruction).
- 🚰 La limitation des risques de dépôts et de fermentation. [3]

I.1.3 le dessablage

Les eaux résiduelles contiennent des particules minérales de densité supérieure à celle de l'eau et des matières organiques, ce sont des débris de verre ou de métaux mais surtout des graviers et des sables.

La concentration de sable peut atteindre 200mg/l en réseau séparatif, voire 500mg/l en unitaire.

La séparation des sables met à profit la différence de densité. La vitesse d'écoulement est réduite à l'ordre de 0.2m/s pour permettre la sédimentation des particules de sable.

Les sables résultants de la décantation sont récupérés par pompage (une pompe ou un émulseur à air) au fond du bassin et stockés puis transférés.

En effet, l'opération de dessablage est indispensable pour :

-  Eviter les dépôts dans les canalisations induisant leur bouchage
-  Protéger les pompes et autres organes mécaniques contre l'abrasion

Eviter de perturber les autres stades de traitement en particulier les réacteurs biologiques. [3]

I.1.3.1 Différents types de dessableurs

a) Dessableurs rectangulaires à couloirs

Il s'agit de dessableur à couloirs simples qui sont des canaux à section élargies et rectangulaires dont la vitesse $< 0,3$ m/s permet d'éviter le réentraînement des particules par le courant. Le temps de séjour "ts" est généralement de 1 à 2min

b) Dessableurs circulaires

Généralement à alimentation tangentielle, à brassage mécanique ou à insufflation d'air (pour éviter le dépôt de matières organiques, en heures creuses, avec faible débit). Le sable se dépose sur un radier plus au moins incliné et se déplace par effet hydraulique, pour chuter dans une trémie centrale de stockage et de reprise. La vitesse de balayage du radier est maintenue sensiblement constante à une valeur supérieure à 0,3 m/s par deux moyens caractérisant le type d'ouvrage :

- une rotation de la masse liquide par un effet de spirale obtenu grâce à l'introduction tangentielle de l'eau.
- Une giration dans un plan vertical de la masse liquide, par une insufflation d'air dans un déflecteur (pour modifier la direction du courant) cylindrique centrale noyé, au moyen de diffuseurs adaptés.

c) Dessableurs rectangulaires à insufflation d'air

Dans ce type de dessableur, l'insufflation d'air impose aux eaux un mouvement de rotation qui entraîne :

- Décantation des grains de sables seulement, par contre la matière organique reste en suspension.
- Détachement de la matière organique fixée sur le sable par effet de vortex.
- Un rafraîchissement des eaux par l'apport de l'oxygène.

I.1.4. Dégraissage et déshuilage

Les opérations de dégraissage et de déshuilage consistent en une séparation de produit de densité légèrement inférieure à celle de l'eau, par flottement. Le produit se présente sous forme de particules libres ou agglomérées avec des matières en suspension.

L'injection des microbulles d'air permet d'accélérer la flottation des graisses. Le dégraissage est une opération de séparation liquide-solide, par contre le déshuilage est une opération de séparation liquide-liquide.

Pour qu'un dégraissage soit efficace, il faut que la température de l'eau soit inférieure à 30°C. [11]

I.1.4.1. Types de déshuileurs-dégraisseurs

On distingue les différents types de déshuileurs-dégraisseurs conçus suivant la qualité de l'eau et selon la concentration des huiles et graisses :

-  Séparateur statique
-  Dégraisseur-déshuileur àère
-  Déshuileur longitudinal

I.1.4.2. Objectifs de déshuilage- dégraissage

L'opération est indispensable pour éviter :

- ✓ La Mauvaise diffusion de l'oxygène nécessaire au développement des bactéries épuratrices.
- ✓ La Mauvaise sédimentation des boues dans le clarificateur
- ✓ Les Risques de colmatage : Bouchage des pompes et des canalisations par solidification des graisses.
- ✓ Formation de flottants .
- ✓ Les départs avec l'eau traitée
- ✓ Le Risque de moussage et de développement de bactéries filamenteuses (en constituant un substrat privilégié pour ces micro-organismes)

Remarque

En générale, les opérations de dessablage et dégraissage-déshuilage sont concentrées dans un même ouvrage, les sables sont récupérés au fond de l'ouvrage par un raclage de fond (sédimentation) par contre les huiles et graisses sont raclées à l'aide d'un racléur sur la surface d'eau puisque leurs densité est inférieure à celle de l'eau (elles flottent soit naturellement soit accélérées à l'aide d'aérateurs).

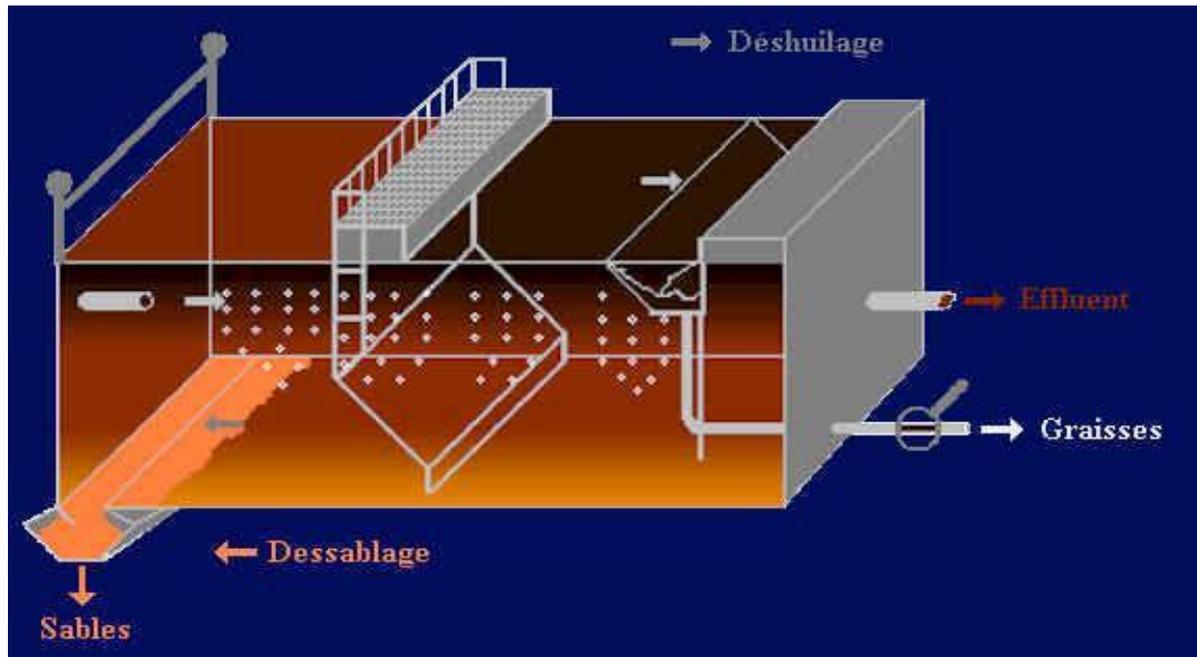


Figure I.6: déssableur-déshuileur combiné.

I.2. Traitement primaire (décantation)

La décantation est un procédé physique qui consiste à la séparation solide-liquide.

Lors de la décantation, les particules, dont la densité est supérieure à celle de l'eau, vont avoir tendance à s'accumuler au fond du décanteur sous l'effet de la pesanteur. Les particules seront éliminées du fond du bassin périodiquement et l'eau se situant à la surface sera évacuée vers l'ouvrage de traitement biologique.

Le décanteur primaire a un rôle de protection du traitement aval (évite le colmatage des ouvrages) mais il joue également un rôle d'épurateur, essentiellement sur les matières en suspension : MES. Il est conçu pour permettre un abattement moyen de :

MES : 60 %.

DBO5 : 30 à 35 %.

DCO : 30 %.

Il traite très peu de pollution sur l'Azote et le Phosphore.

I.2.1 Traitement physico-chimique

Lorsque la décantation naturelle des matières en suspension dans l'eau est trop lente, pour obtenir une décantation efficace, on utilise les processus de coagulation et de floculation.

Une partie importante de ces solides non décantables peut être colloïdale. La surface des particules est chargée négativement, ce qui leur permet de se repousser les unes les autres et les empêche de former des masses plus larges, appelées des floccs. Elles ne peuvent donc pas décanter. La coagulation est la déstabilisation de ces colloïdes par la neutralisation des forces qui les tiennent séparées par addition d'un réactif chimique, le coagulant. Elle s'accomplit en général par l'adjonction de coagulants chimiques et par un apport d'énergie nécessaire. La floculation est l'agglomération de ces particules " déchargées " en micro floccs, puis en floccs volumineux et décantables, le flocc. Cette floculation peut être améliorée par l'ajout d'un autre réactif : le flocculant ou adjuvant de floculation.

a) Coagulation

La coagulation se fait par un ajout de sels métalliques (généralement de fer ou d'aluminium), permet de supprimer les répulsions intercolloïdales : les cations métalliques (Al^{3+} et Fe^{3+}) se lient aux colloïdes et les neutralisent. Les particules colloïdales peuvent désormais se rencontrer.

b) Flocculation

La flocculation a pour objectif de favoriser à l'aide d'un mélange lent, les contacts entre les particules déstabilisées. Ces particules s'agglutinent pour former un floc qu'on peut facilement éliminer par précipitation sous l'effet de la pesanteur..

c) Sédimentation

Après la flocculation, les particules constituent des flocs de poids supérieur donc ils ont tendance à se précipiter.

Vers le fond du décanteur, c'est la sédimentation.

Les particules s'accumulent au fond du bassin de décantation d'où on les extrait périodiquement.[2]

La figure suivante schématise le phénomène.

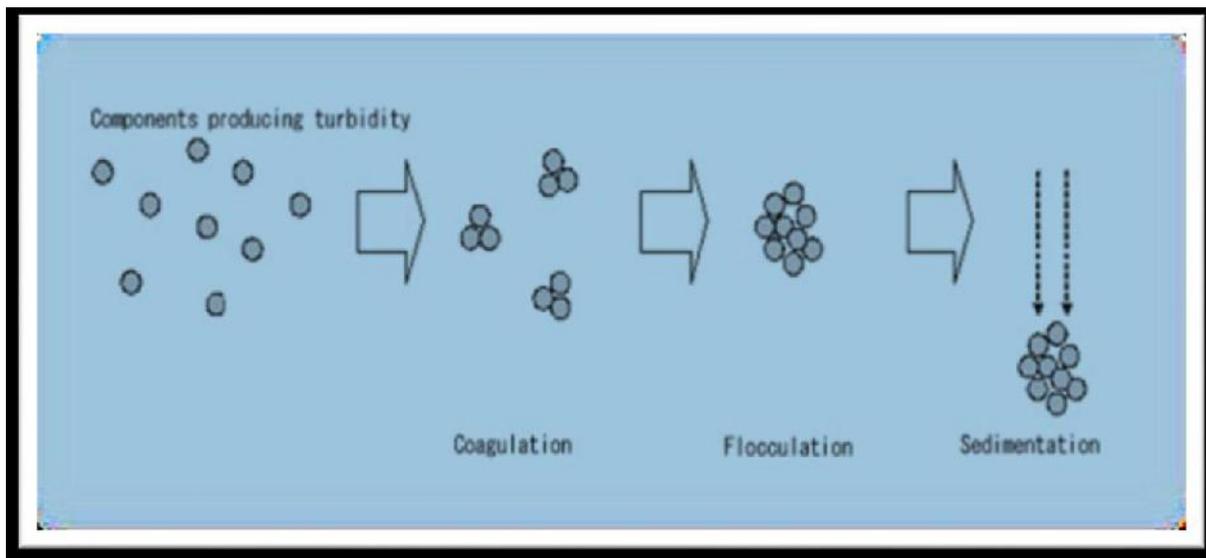


Figure I.7 : schématisation du processus de décantation physico-chimique.

I .2.2. Principaux types de décanteurs

a) Décanteurs statiques sans raclage

Ils sont généralement utilisés pour les petites stations (1000 à 2000 Eq Hab). Le temps de séjour est de l'ordre de 1h30 à 2h au débit diurne. L'extraction des boues exige une pente de fond au moins égale à 60° .

b) Décanteurs statique à raclage mécanique des boues

b-1 Décanteurs circulaires

Le racleur est fixé à une charpente tournant autour de l'axe du bassin. Il peut comporter une seule lame en forme de spirale ou une serre de raclettes. Il comprend un fut central creux où arrive l'eau brute d'où elle est répartie généralement par une cloison siphonée annulaire.

Les boues sont amenées vers une fosse centrale à l'aide d'un dispositif de raclage sur une pente de 5 à 10°. De plus un racleur de surface pousse les corps flottants vers une écumeoire d'où ils peuvent regagner la fosse des boues. De préférence ce type de décanteur doit fonctionner d'une manière régulière, car les variations de débit provoquent en effet des remous qui font remonter les boues en surface.

b-2 Décanteurs longitudinaux rectangulaires

Il existe deux types de décanteurs rectangulaires avec raclage :

- les décanteurs à pont racleur
- les décanteurs à chaînes.

Les ponts racleur se déplacent selon un système de va-et-vient et procèdent au raclage avec un mouvement à contre courant. Par contre les décanteurs à chaînes permettent un raclage continu des boues et des flottants par une série de raclettes montées en deux chaînes sans fin parallèle tournant le long des parois verticales du bassin. Dans les deux types de décanteurs, le puits des boues est situé à l'arrivée de l'effluent.

b-3. Décantation lamellaire

Ce type d'ouvrage comporte des lamelles parallèles inclinées, ce qui multiplie la surface de décantation et accélère donc le processus de dépôt des particules.

I .2.3. Rendement de la décantation primaire

Rappelons que la décantation primaire classique permet une élimination de 60% des matières en suspension et réduit d'environ 30 à 35 % la DBO.

Le décanteur lamellaire permet d'accroître le rendement.

La décantation est encore plus performante dans le cas d'une décantation physico-chimique, elle permet d'éliminer jusqu'à 90% de MES et 75% de DBO.

Remarque

Le décanteur primaire n'est pas nécessaire dans le cas d'un procédé de traitement à faible charge.

I.3. Traitement biologique par boues activées

I.3.1. Généralités sur l'épuration par boues activées (cultures libres)

Le terme « cultures libres » regroupe les procédés où l'on provoque le développement d'une culture bactérienne dispersée sous forme de floccs au sein du liquide à traiter.

Pour cela, on utilise un bassin brassé, pour conserver en suspension la culture, dans lequel est maintenue :

- soit une concentration d'oxygène, pour les procédés aérobies.
- soit une absence d'oxygène, pour les procédés anaérobies. [9]

Le procédé par « boues activées » est le plus commun des procédés par « cultures libres ».

Il consiste à mélanger et à agiter des eaux usées brutes avec des boues activées liquides bactériologiquement très actives. La dégradation aérobie de la pollution s'effectue par mélange intime des microorganismes épurateurs et de l'effluent à traiter.

Le réacteur biologique sera suivi d'un décanteur secondaire appelé également clarificateur qui assurera la séparation de l'effluent épuré des boues qui seront une partie recyclées dans le bassin d'aération pour son réensemencement et une partie extraites (boues en excès) vers le traitement des boues. Cette figure, nous montre le principe de fonctionnement d'une station d'épuration par boues activées

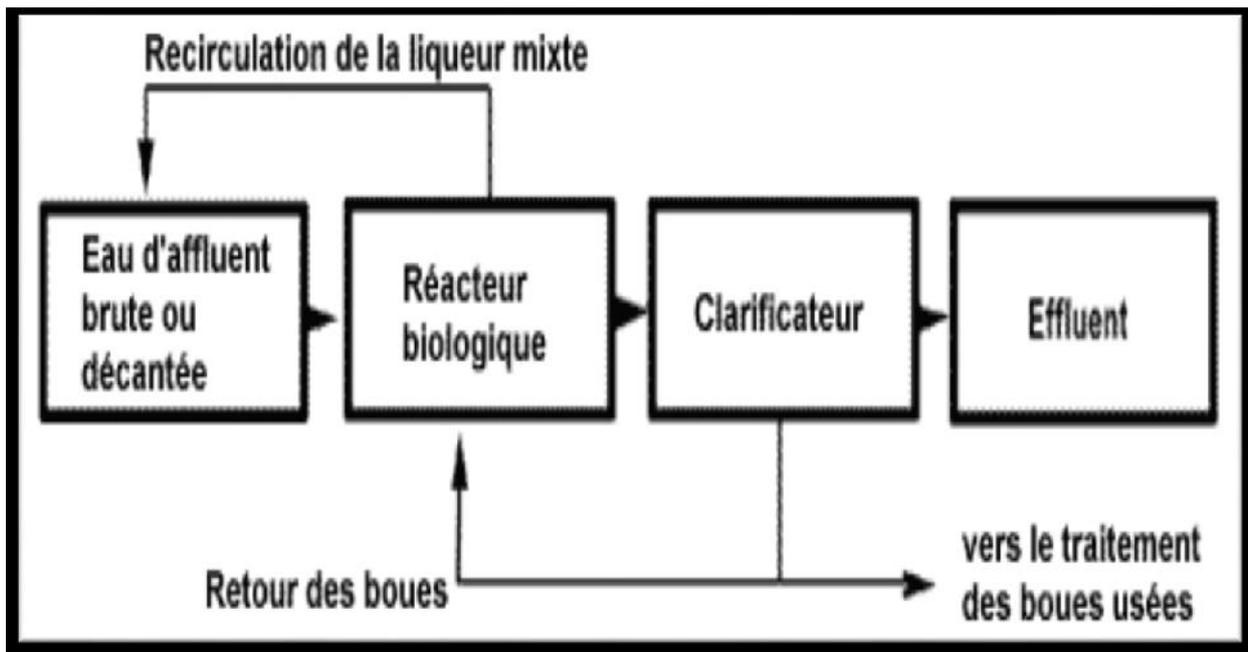


Figure I.8 : procédé de traitement par boues activées.

La technique des boues activées est assurée par la combinaison de 3 dispositifs :

- Un réacteur biologique où se développe une biomasse apte à la décantation,
- Un système d'aération fournissant l'oxygène nécessaire à la biologie,
- un système de brassage pour assurer le contact entre les micro-organismes et la pollution à traiter.

I.3.2. Régime hydraulique d'un procédé à boues activées

Le traitement des eaux usées par le procédé à boues activées peut être réalisé suivant deux procédés principaux : le mélange intégral et le mélange piston.

a) Mélange intégral

C'est un procédé permettant de mélanger instantanément les eaux décantées à travers la totalité du bassin d'aération. Ainsi, il existe dans le bassin une teneur constante des boues activées, une oxygénation homogène et une répartition uniforme de la pollution organique. De ce fait, la charge organique appliquée est uniforme étant assurée par la dispersion de l'effluent.

b) Mélange piston

Dans le traitement en piston, et contrairement au traitement intégral, l'effluent circule lentement dans le sens longitudinal. L'effluent injecté à un instant donné progresse donc en bloc (en piston). On considère souvent un aérateur de ce type comme la succession de plusieurs cellules fictives en mélange intégral.

❖ Comparaison entre les deux systèmes

Le réacteur à mélange piston conduit à des rendements d'élimination en DBO plus importants que le bassin à mélange intégral. Ceci pour des temps de séjour faibles.

Le système à mélange intégral est préféré pour sa stabilité et les faibles variations de la concentration de l'effluent traité. La dilution instantanée de l'effluent brut dans le bassin permet d'absorber plus facilement les changements soudains de charge.

I.3.3 Paramètres de fonctionnement en boues activées

En épuration d'eau usée, un réacteur biologique se caractérise par les paramètres essentiels suivants :

a) Charge massique C_m

La charge massique C_m est le rapport entre la quantité journalière de pollution à éliminer et la masse de bactéries épuratrices mises en œuvre. [8]

La pollution est mesurée en kg DBO_5 et la quantité de bactéries est estimée par certains auteurs à la quantité de matières volatiles sèches (MVS) présente dans le bassin d'aérations, par d'autres à la quantité de matière en suspension (MES).

Elle est déterminée par le rapport suivant :

$$C_m = \frac{\text{Pollution journalière (DBO}_5\text{)}}{\text{Biomasse présente (MES)}} \dots\dots\dots (I.1)$$

Ou :

$$C_m = \frac{\text{Débit (Q) x [DBO}_5\text{]}}{V_{BA} \times [MVS]_{BA}} \dots\dots\dots (I.2)$$

Avec :

Q : Débit journalier ($\text{m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$) entrant dans le bassin d'aération.

[DBO₅] : Concentration moyenne ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) en DBO₅ de l'influent à l'entrée du bassin d'aération.

V_{BA} : Volume (m^3) du bassin d'aération.

[MVS]_{BA} : Concentration en ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) en MVS des boues dans le bassin d'aération.

b) Charge volumique

La charge volumique C_v correspond à la quantité journalière de pollution à dégrader ($\text{kg DBO}_5/\text{j}$) dans le volume V (m^3) de l'ouvrage. Elle s'exprime en $\text{kg DBO}_5 / (\text{j} \cdot \text{m}^3)$. Elle est déterminée par :

$$C_v = \frac{\text{Pollution journalière (DBO}_5\text{)}}{V_{BA}} \dots\dots\dots (I.3)$$

Ou :

$$C_v = \frac{Q \times [DBO_5]}{V_{BA}} \dots\dots\dots (I.4)$$

Avec :

Q : Débit journalier ($\text{m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$) d'eau brute alimentant l'étage biologique.

[DBO₅] : Concentration ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) en DBO₅ dans l'influent du réacteur biologique.

V_{BA} : Volume (m^3) du bassin d'aération.

- Les caractéristiques des différents paramètres de dimensionnement des stations d'épuration par boues activées et les avantages et inconvénients suivant la charge sont reportées dans les deux tableaux qui suivent.

Tableau I.2 : Classement des procédés par boues activées. [11]

| Mode d'épuration Paramètres | Forte charge | Moyenne Charge | Faible Charge | Aération prolongée |
|--|---|-----------------------|----------------------|---------------------------|
| C_m (kg DBO ₅ /kg MVS) | ≥1 | 0.2 à 0.5 | 0.1 à 0.2 | ≤ 0.1 (=0.07) |
| C_v (kg DBO ₅ /m ³) | 1.5 | 0.55 à 1.5 | 0.3 | 0.25 |
| t_s (heure) | 1 à 3 | 3 à 6 | 6 à 18 | ≥18 |
| Concentration des boues dans le bassin d'aération C_b=C_v/C_m (kg/m ³) | 2 à 3 | 3 à 6 | 4 à 5 | ≥5 |
| Quantité de boue produite (kg de boue sèche/kg de DBO ₅ éliminé) | ≥0.5 | 0.3 à 0.5 | 0.1 à 0.2 | ≤ 0.1 |
| Consommation de O₂ (kg de O ₂ /kg de DBO ₅ éliminé) | 0.3 à 0.8 | 0.8 à 1.2 | 1.2 à 1.5 | 1.5 à 2 |
| Nitrification | Nulle | Début | Avancée | Très avancée |
| Rendement (%) | 70 à 80 | 80 | 90 | 95 |
| Boue produite | Très instable (traitement de boues obligatoire) | Instable | Plus ou moins stable | Stable |

Tableau I.3 : Avantages et inconvénients des différents procédés. [11]

| | Avantages | Inconvénients |
|-----------------------|---|--|
| Forte charge | <ul style="list-style-type: none"> - Un temps de contact relativement court entre l'eau à épurer et les boues activées ; - Très bonne élimination de l'ensemble des paramètres de pollution. | <ul style="list-style-type: none"> - Coût d'investissement assez important ; - Consommation énergétique importante ; - La nitrification est incomplète ou difficile ; - Le bassin d'aération est précédé d'un décanteur primaire. |
| Moyenne charge | <ul style="list-style-type: none"> - La consommation énergétique du poste d'aération est plus faible ; - Prend un espace moyen dans le terrain - Pour toute taille de collectivité. | <ul style="list-style-type: none"> - Nécessité du personnel qualifié et une surveillance régulière ; - Décantabilité des boues pas toujours aisées à maîtriser. |
| Faible charge | <ul style="list-style-type: none"> - Assure une bonne élimination de DBO₅ - Résistement aux fluctuations de charge polluante. - L'exploitation de telles stations est très simplifiée ; | <ul style="list-style-type: none"> - Le temps de séjour dans le bassin ; - Investissement coûteux ; - Le bassin d'aération, plus largement dimensionné ; - Les boues sont plus concentrées d'où la décantation dans le clarificateur est lente, il faut prévoir une surface très importante. |

c) Age des boues

L'âge des boues A_b est le rapport entre la masse de boues présentes dans le réacteur et la masse journalière de boues extraites.

En plus de la charge massique appliquée, l'âge des boues constitue le paramètre fondamental à prendre en compte lors de dimensionnement des stations d'épuration. [2]

Il est calculé par :

$$A_b = \frac{X_t}{\Delta X} = \frac{X_a \times V_{BA}}{\Delta X \times C_v} \dots\dots\dots(I.5)$$

Avec : $X_a = \frac{\Delta X}{C_m}$ (kg / m³) $\dots\dots\dots(I.6)$

ΔX : la masse de boues extraites quotidiennement.

V_{BA} : le volume de l'aérateur.

X_a : concentration en biomasse.

d) Indice de Mohlman

L'indice de Mohlman est le rapport entre le volume des boues décantées en 1/2 heure, et la masse de matières en suspension contenue dans ce volume ; il est donné par la formule suivante :

$$I_M = V/M \dots\dots\dots (I.7)$$

Cet indice est utilisé pour apprécier l'aptitude d'une boue à la décantation. Selon sa valeur, on distingue :

- Si I_M inférieur à 50 ml/g : mauvaise décantation.
- Si I_M compris entre 80 ml/g et 150 ml/g : bonne décantation.
- Si I_M supérieur à 150 ml/g : très mauvaise décantation. [2]

e) Effet de la température

L'influence de la température est importante dans les phénomènes biologiques, dans la mesure où elle intervient sur la vitesse de croissance des bactéries. Ceci s'explique par l'effet de la diffusion de l'oxygène dans le floc microbien, à des températures différentes. Par exemple, en boues activées, aux faibles charges la valeur optimale pour l'activité des micro-organismes intervenant au cours de l'épuration est comprise entre 25 et 30 °C. Au-delà, la vitesse de réaction décroît très vite et le floc bactérien se trouve rapidement épuisé en oxygène.

Cependant, aux fortes charges, le floc a tendance à se disperser, ce qui conduit à une mauvaise décantabilité dans le clarificateur.

f) Effet du pH

Les systèmes biologiques tolèrent une gamme de pH allant de 5 à 9 avec une zone optimale de 6 à 8.

g) Temps de passage

Le temps de passage, noté t_s , représente le temps nécessaire pour qu'une goutte de liquide traverse le réacteur, c'est une caractéristique hydraulique du réacteur. Il intègre donc l'ensemble des débits transitant dans le réacteur. Le temps de passage est égal au temps de séjour moyen pour un réacteur ne comprenant pas de court-circuit ou de zone morte. Il est défini par :

$$t_s = V/Q \quad (j) \dots\dots\dots (I.8)$$

Où :

V : le volume du réacteur (m³)

Q : la somme des débits traversant le réacteur (débit de l'effluent, de recyclage, d'ajout des nutriments,...). (m³/j)

h) Effet de quelques toxiques

La nature des toxiques est souvent d'origine métallique. La présence dans l'effluent à traiter de ces substances toxiques se traduira par une inhibition partielle ou totale de l'activité des micro-organismes.

I.3.4. Besoins en oxygène

Dans le système aérobie que constitue le traitement par boues activées, la teneur en oxygène ne doit pas être un facteur limitant; la teneur en oxygène dissous dans le bassin d'aération doit être de 1 à 2 mg/l au moins.

L'aération des eaux résiduaires a lieu dans les bassins contenant les boues activées, qui ont une forme appropriée en fonction du système d'aération. L'aération peut être assurée en surface par des turbines, ou dans le fond par des procédés de rampe de distribution de bulles d'air alimentées par un surpresseur ou par un compresseur d'air. Les rampes de distribution sont complétées par des diffuseurs d'air dites grosses bulles ou fines bulles, suivant l'efficacité recherchée. [14]

Consommation d'oxygène

Dans les stations d'épuration biologique, l'effluent chargé en matières organiques inertes est mis en présence d'une suspension bactérienne dense en milieu aéré. Les matières organiques contenues dans l'effluent peuvent être :

- assimilées et transformées en composants cellulaires (anabolisme).
- dégradées par oxydation pour fournir de l'énergie nécessaire à ces synthèses cellulaires
- absorbées et stockées par les cellules, en cas d'une alimentation surabondante. L'utilisation de ces matériaux stockés est alors différée. La pollution éliminée que nous supposons exprimée directement en poids de matières organiques, est répartie donc en trois fractions :
 - Une fraction est anabolisée.
 - Une fraction est catabolisée
 - Le reliquat se trouve stocké par les bactéries et est joint aux réserves préexistantes.

Besoins théoriques en oxygène

Les deux phénomènes suivants sont à l'origine des besoins théoriques en oxygène :

1. Oxydation des Matières Organiques
2. Destruction des matériaux cellulaires lors de la phase de respiration endogène.

Elle est donnée par la relation suivante :

$$qO_2 = a'Le + b'X_t \dots\dots\dots (I.9)$$

Avec :

qO_2 : débit d'oxygène exprimé en kg O₂/j.

L_e : DBO₅ éliminée exprimée en kg/j.

X_t : masse totale de boue présente dans l'aérateur exprimé en kg

a' : la fraction de pollution transformée en énergie de synthèse au cours de l'épuration.

C'est aussi la quantité d'oxygène à fournir aux bactéries pour qu'elles synthétisent la matière vivante à partir de 20g de pollution. Sa valeur est comprise entre 0,5 et 0,6 kg O₂/kg DBO₅.j.

b' : coefficient lié à la respiration endogène. ($b'=0,01-0,07$ kg O₂/kg MVS.j).

Les coefficients a' et b' sont déterminés expérimentalement au laboratoire, à partir de l'équation relative à l'oxydation de la matière vivante qui s'écrit :



On constate que 113g de matière vivante exige 160 g d'O₂ pour être minéralisées.

Si on appelle (b) le coefficient représentant la quantité de matière vivante détruite par endogène pour fournir l'énergie d'entretien.

On a : $b=160/113b'$ soit : $b'=1,42b$

2,85 : Taux de conversion de l'azote nitrique en azote gazeux

c' : Fraction de l'oxygène des nitrates récupéré par dénitrification. En moyenne 70 %

Remarque

La quantité d'azote à nitrifier peut se calculer à partir de l'azote NK (Kjeldahl) entrant dans l'étage biologique, duquel on soustrait :

- l'azote assimilé par les bactéries
- l'azote Kjeldahl rejeté

$$N_{\text{à nitrifier}} = N_{K\text{entrée}} - N_{K\text{ass}} - N_{K\text{rejeté}}$$

I.3.5. Besoins en nutriments

Pour la dégradation de pollution ; Les micro-organismes exigent comme tous les êtres vivants une alimentation équilibrée. Les eaux usées domestiques contiennent une alimentation équilibrée, mais il n'en est pas de même des eaux industrielles qui sont souvent pauvres en azote et en phosphore.

En l'absence de l'azote, les bactéries ne peuvent pas synthétiser de nouvelles cellules. L'activité des boues ramenée au poids de MVS s'en trouvera réduite et le rendement de l'épuration diminuera progressivement. D'autre part, les boues carencées en azote montrent souvent de mauvaises caractéristiques de décantation.

Lorsque l'effluent à traiter est dépourvu d'éléments nutritifs (N et P), il convient alors de lui ajouter sous forme d'engrais agricoles, soit par addition d'effluent urbain dans les proportions convenables, ou encore sous forme de produits comme le phosphate d'ammonium.

Dans une station d'épuration à boues activées urbaine, les rapports suivant doivent être respectés :

$$\text{DBO}_5/\text{N}/\text{p}=100 \text{ à } 150/5/1. \text{ [8]}$$

I.3.6. Production de boues

L'élimination des matières organiques conduit à une synthèse cellulaire qui augmente la proportion de boues dans le bassin. Il est alors important de connaître la masse de boues formées afin de prévoir l'importance des évacuations et les procédés de traitement pour les boues extraites

L'évaluation du bilan de boues excédentaires peut être estimée par la différence entre les boues formées et celles éliminées.

La production de boue biologique (ΔB) est la somme de plusieurs facteurs :

- les matières minérales en suspension dans l'eau à traiter B_{min} .
- les matières organiques en suspension difficilement dégradables appelées matières organiques dures ou inertes (fB_0).

- L'accroissement net du poids de matières cellulaires qui est la différence entre la quantité de matière vivante synthétisée à partir de la DBO_5 éliminée ($Le=Lo-Lf$) et la quantité de matière vivante brûlée par la respiration endogène ($b.X_a$)

$$\Delta X = a_m \cdot Le - b \cdot X_a \dots\dots\dots (I.10)$$

Avec :

a_m et b sont des coefficients mesurables par des essais au laboratoire (mesure de l'activité respiratoire)

- les pertes de matières dans l'eau épurée, B_{eff} dépend des normes de rejet : on adopte généralement 30 mg/l.

La quantité de boues en excès est déterminée par la formule d'ECKENFELDER

$$\Delta B = B_{\text{min}} + f \cdot B_0 + a_m \cdot Le - b \cdot X_a - B_{\text{eff}} \dots\dots\dots (I.11)$$

En pratique $a_m=0,55$ et $a_m \cdot Le - b \cdot X_a \geq 0,20 a_m \cdot Le$.

Remarque

Pour des stations de faibles charges ($< 0,1 \text{ Kg de } \text{DBO}_5/\text{Kg MVS.j}$), on observe que $a_m \cdot Le - b \cdot X_a \approx 0,25 a_m \cdot Le$, on est alors en aération prolongée appelée aussi oxydation totale. L'application de cette formule conduit à évaluer 40 à 50 g/j la quantité de boues produites par le traitement en aération prolongée, d'un effluent urbain, en supposant un rejet de 60 g de DBO_5 par habitant et par jour et environ 70 gde MES/j.

Les calculs théoriques établis lors d'un bilan de boues ne correspondent pas souvent aux valeurs obtenues expérimentalement. Des déficits de 40 à 60 % sont ainsi relevés.

L'importance des pertes varie d'une station à une autre suivant les conditions dans lesquelles la station fonctionne.

I.4. Décantation secondaire (la clarification)

Le clarificateur est un ouvrage, placé en sortie du bassin d'aération, qui présente trois fonctions :

- ❖ Séparation de la boue et de l'eau épurée,
- ❖ Epaissement en permettant une recirculation de boues concentrées vers la zone anoxie
- ❖ Stockage temporaire des boues.

De façon générale, le système fonctionnera tel que le flux ascendant d'eau clarifiée ne perturbe pas le flux descendant de boue. [14]

Un des paramètres important pour le dimensionnement réside, en premier lieu, dans le choix du temps de séjour. Ce dernier doit être suffisant grand de façon à permettre une bonne efficacité de l'ouvrage mais surtout pas trop important pour éviter notamment toute réaction de dénitrification.

Un autre paramètre primordial constitue le choix d'une vitesse ascensionnelle, ou encore appelée charge hydraulique superficielle, qui représente la vitesse permettant de fixer une surface telle que la décantation soit efficace. Cette vitesse doit, en théorie, être appliquée en fonction des propriétés de la boue c'est-à-dire son indice et sa concentration. L'indice de boue permet ainsi de définir les caractéristiques de décantation des boues étudiées. [1]

Il existe deux formes possibles pour le clarificateur, circulaire ou rectangulaire. Les rectangulaires présentent l'avantage d'une implantation au sol plus compacte mais possèdent un coût de fonctionnement plus élevé que dans le cas des clarificateurs circulaires. Ces derniers peuvent être cylindrique ou cylindro-conique c'est-à-dire avec une pente de fond, appelée radier, plus ou moins importante (10 à 15 % minimum). Aujourd'hui, les clarificateurs sont généralement à fond plat de façon à améliorer le fonctionnement de l'installation. [14]



Figure I.9 : Clarificateur.

I.5. Le traitement tertiaire (la désinfection)

Il a pour but de compléter plus ou moins l'épuration selon les normes de rejet applicables aux eaux épurées ou selon l'utilisation de ces eaux après traitement.

Ce traitement est absent ou peu nombreux dans le cas de rejet en rivière.

L'évaluation du risque de contamination et l'efficacité de la désinfection sont généralement appréhendées via le dénombrement de germes pathogènes (coliformes totaux, coliformes fécaux, streptocoques fécaux. [5]

Il existe de nombreuses techniques de désinfection :

a) Le Lagunage de finition

Ce procédé rustique consiste à faire séjourner l'effluent pendant un temps plus au moins long dans un ou plusieurs bassins.

Ce procédé est adapté au traitement de faibles volumes. L'eau produite peut être utilisée pour des besoins agricoles.

Ce procédé procède l'avantage d'être exempté d'effets toxiques. [21]

b) Le chlore

Pour agir efficacement, le chlore impose une bonne qualité d'eau quant à teneur en matières organiques et en ammoniacale, ainsi qu'un temps de contact de trente minutes environs.

Il faut éviter les rejets trop chargés en chloramines et en chlore résiduel pour préserver l'environnement récepteur.

De plus bien qu'efficace contre les bactéries, la chloration est abandonnée car elle se montre inefficace vis-à-vis les virus, elle est utilisée dans le cas de la réutilisation des eaux épurées.

c) La chloration-déchloration

Pour contrer les effets nocifs du chlore sur la vie aquatique, la déchloration c'est plus en plus répandue partout. la déchloration se fait généralement par addition de bioxyde de soufre (SO₂). il réagit rapidement au contact du chlore résiduel ce qui permet d'éliminer sa toxicité, par contre la concentration d'oxygène dissous dans l'eau traitée se trouve réduite.

Malgré son efficacité cette technique augmente les coûts d'exploitation.

d) L'ozone

L'ozone est plus efficace que la chloration car son spectre germes est très large : bactéries, virus et kystes de protozoaires, la mise en œuvre est identique au chlore avec un temps de contact de 10 à 15 minutes.

L'efficacité reste liée à la qualité de l'épuration en amont. les matières organiques oxydables, le nitrite et les matières en suspension sont des perturbateurs qui peuvent diminuer le rendement.

Cependant, l'utilisation de l'ozone présente des inconvénients majeurs : un investissement important et l'absence d'effet rémanent permettant une reviviscence des micro-organismes à l'aval.

e) Le rayonnement UV

Le principe repose sur le rayonnement ultraviolet fourni par des lampes à mercure autour desquelles l'eau circule.

L'efficacité de la désinfection dépend :

- Des paramètres physico-chimiques de l'eau traitée : présence ou pas de molécules pouvant absorber le rayonnement UV (acides humiques par exemple) à la place des micro-organismes cible, des matières en suspension constituant un écran.
- Des paramètres de fonctionnement
Malgré l'absence d'effet rémanent, Cette technique présente plusieurs avantages :
- Ne nécessite pas de produits chimiques.
- Ne produit aucun rejet toxique.
- Efficace contre tous les micro-organismes pathogènes. [18]

f) La filtration par membrane

Les membranes n'ont aucun pouvoir destructeur mais assurent la rétention des micro-organismes sur le filtre en créant une barrière physique.

L'efficacité est liée aux concentrations en colloïdes et en matières organiques et à la fréquence rétro de lavage.

Conclusion

Les procédés d'épuration à boues activées sont les plus répandus dans le monde et notamment en Algérie pour le traitement des affluents domestiques voire industriels. Ils permettent d'atteindre de bons niveaux de dépollution sur la pollution carbonée et sur les sels nutritifs (azote et phosphore). Pour ce faire, une conception adaptée est nécessaire ainsi qu'une stratégie de contrôle permettant de tenir compte des différents aléas rencontrés lors de leur fonctionnement en termes de variabilité de la charge hydraulique et de sa composition.

Chapitre II

Mécanismes d'élimination d'azote et
du phosphore

Introduction

L'azote et le phosphore sont deux éléments nutritifs nécessaires pour le développement des organismes vivants mais avec concentrations bien précises, une augmentation excessive de la concentration de ces deux éléments entraîne des risques sur le milieu récepteur et sur les organismes vivants, c'est pour cela il faut qu'on fait appelle à des procédés d'élimination.

II.1. Les effets d'azote et du phosphore

- Variation de pH, qui est élevé le jour, et proche de la neutralité la nuit.
- Variation de la concentration de l'oxygène dissous, qui sera élevé le jour, et très faible la nuit.
- L'azote réduit le taux d'oxygène dans le milieu car il consomme l'O₂ pour se transformer en azote oxydé.
- une mortalité importante de la vie piscicole due au manque d'oxygène et la toxicité de l'ammoniac en milieu basique.
- Des risques sur la vie humaine dans le cas ou les eaux épurés sont réutilisés dans l'irrigation.
- Développement intense d'algues et de plantes aquatiques ainsi que les modifications d'habitats (l'eutrophisation des milieux aquatiques). [20]



Figure II.1: un cours d'eau eutrophisé

II.2. Origines d'azote et du phosphore

II.2.1. Origines d'azote

L'azote présent dans les eaux résiduaires provient principalement des

- Les déjections humaines. Les urines contribuent largement à cet apport essentiellement sous forme d'urée, d'acide urique et d'ammoniaque. Par ailleurs,
- les eaux de cuisine véhiculent des protéines comportant des acides aminés, et certains agents de surface (assouplissant,...) qui incluent dans leurs molécules des radicaux azotés.
- L'agriculture intensive avec utilisation massive d'engrais azoté.
- rejets d'effluents d'élevage. entraîne directement une augmentation de la concentration en nitrate dans les superficielles. Il peut également être entraîné par ruissellement de surface ou de sub-surface vers les réseaux d'égout.
- Industrielle : rejet des industries minérales, en particulier de fabrication des engrais azotés. [15]

II.2.2. Origines du phosphore

- du métabolisme humain : un homme excrète entre 1 et 2 grammes de P par jour.
- des produits lessiviels et de nettoyage : 1 à 2 grammes de P par jour et par habitation
- des rejets industriels : les effluents d'industries agro-alimentaires, d'abattoirs, de laveries industrielles, d'industries de traitement de surface et d'industries chimiques spécialisées. Ils véhiculent une quantité de composés phosphorés à peu près équivalente à celle des eaux usées domestiques, pour des régions relativement urbanisées.
- Les rejets agricoles ou d'origine naturelle sont retenus dans les sols et ne se retrouvent pas dans les eaux usées qu'avec des quantités minimales

II.3. Formes chimique de l'azote et du phosphore

II.3.1. Formes chimique d'azote

L'azote des eaux usées est essentiellement constitué d'azote organique ammonifiable ou réfractaire (sous forme soluble et particulaire) et d'azote ammoniacal

L'azote KJELDAHL (NK) représente la somme de l'azote organique et de l'azote ammoniacal

L'azote peut être classifié chimiquement en deux classes :

- **Formes réduites**

Forme organique N-Organique

Forme ammoniacale N-NH₄

- **Formes oxydées**

Forme azote nitreux N-NO₂⁻ (nitrite)

Forme azote nitrique N-NO₃⁻ (nitrate)

La quantité d'azote à nitrifier peut se calculer à partir de l'azote NK (Kjeldahl) entrant dans l'étage biologique, duquel on soustrait l'azote assimilé par les bactéries et l'azote Kjeldahl rejeté

$$\mathbf{N \text{ à nitrifier} = \mathbf{NK}_{\text{entrée}} - \mathbf{NK}_{\text{ass}} - \mathbf{NK}_{\text{rejeté}}}$$

Remarque

L'azote pouvant subir différentes transformations au cours d'un traitement biologique (passage de la forme ammoniacale à la forme nitreuse NO₂⁻ puis nitrique NO₃⁻ et retour à la forme gazeuse N₂) et chacun des composés formés au cours de ces différentes étapes ayant un poids moléculaire différent, le suivi de son évolution au cours du traitement ne peut être effectué qu'à partir d'une base commune : le nombre de moles d'azote ou les masses d'azote mises en jeu. C'est la raison pour laquelle les charges et les concentrations de NH₄⁺, NO₂⁻ et NO₃⁻ sont exprimées en unités de N (d'où la formulation N-N...).

1,29 mg NH₄⁺ sont équivalents à 1 mg d'azote ammoniacal N-NH₄⁺

3,29 mg NO₂⁻ sont équivalents à 1 mg d'azote nitreux N-NO₂⁻

4,43 mg NO₃⁻ sont équivalents à 1 mg d'azote nitrique N-NO₃⁻

II.3.2. Formes chimiques du phosphore

Plusieurs formes du phosphore sont présentes dans les eaux résiduelles et subissent diverses transformations de natures biologique et chimique. Le phosphore peut être particulaire ou soluble, est essentiellement constitué de :

- phosphore inorganique (essentiellement des polyphosphates) et des orthophosphates dont une part provient de l'hydrolyse des premiers.
- phosphore organique : phospho-lipides, esters.

Le phosphore total est la somme du phosphore inorganique et organique

La teneur en phosphates peut être exprimée en mg/L de PO_4 ou de P_2O_5

$$1\text{mg/L PO}_4 = 0,747\text{ mg/L P}_2\text{O}_5 = 0,326\text{ mg/L P. [7]}$$

II.4. Mécanismes d'élimination d'azote et du phosphore

II.4.1. Traitement de l'azote

Elle peut être réalisée par deux voies.

II.4.1.1. Elimination par Décantation

De nombreuses filières d'épuration comportent une décantation primaire.

L'extraction des boues qui s'y accumulent permet naturellement de séparer la fraction de l'azote liée aux matières en suspension des eaux brutes retenues par l'ouvrage.

En fonction de la longueur et de la pente du réseau, l'élimination d'azote par décantation primaire est comprise entre 5 et 10 % de l'azote total reçu par temps sec, et plus en temps de pluie, en réseau unitaire, lorsque s'effectue un auto-curage du réseau.

Lorsque les boues primaires séjournent longtemps au contact de l'eau, la libération progressive d'azote ammoniacal produit par la mort des bactéries réduit le rendement de la décantation des influents bruts. [6]

II.4.1.2. Élimination biologique

L'élimination par voie biologique c'est celle qui élimine la fraction majoritaire de la pollution azotée .elle se fait suivant plusieurs étapes illustrés sur la figure ci-dessous :

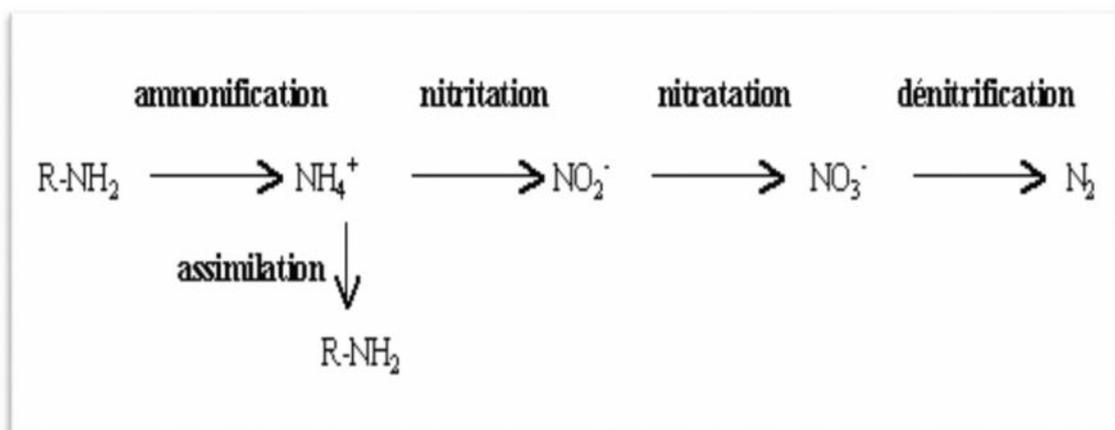
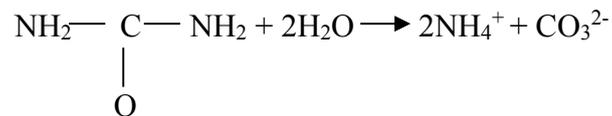


Figure II.2 : mécanisme d'élimination biologique de l'azote

a) L'ammonification

C'est la transformation de l'azote organique en azote ammoniacal. La vitesse d'ammonification dépend essentiellement de la concentration en azote ammoniacal.

Dans la grande majorité des cas, compte tenu de la nature de l'azote organique et des paramètres de fonctionnement des stations et plus particulièrement du temps de séjour de l'eau dans les ouvrages, la plus grande partie de l'azote organique sera ammonifiée sans problème.



b) L'assimilation

C'est l'utilisation d'une partie de l'azote ammoniacal et éventuellement organique pour la synthèse bactérienne. L'assimilation peut jouer un rôle important pour l'élimination de l'azote dans certains effluents industriels. Mais dans bien des cas, l'assimilation ne suffit pas à elle seule à éliminer l'azote, car les quantités présentes dans les effluents à traiter sont bien supérieures à ce qui peut être assimilé pour la synthèse.



c) La nitrification

C'est l'oxydation de l'azote ammoniacal en nitrite puis en nitrate. Elle s'effectue en deux stades par des micro-organismes autotrophes :

- oxydation de NH_4^+ en NO_2^- : c'est l'œuvre essentiellement des germes Nitrosomonas.
- oxydation de NO_2^- en NO_3^- : les bactéries responsables de cette deuxième réaction, appartiennent principalement au genre Nitrobacter. Ces bactéries de la nitrification sont aérobies, utilisent le gaz carbonique comme source de carbone. Elles ont un taux de croissance très faible.

La réaction globale simplifiée de la nitrification peut s'écrire :



Il ressort de ce bilan que la nitrification biologique d'un kg d'azote ammoniacal :

- ✓ nécessite théoriquement 4,19 kg d'oxygène dont 80 % est inclus dans les nitrates formés
- ✓ s'accompagne d'une diminution de l'alcalinité (essentiellement due aux bicarbonates)
- ✓ produit 170 g de bactéries nitrifiantes, ce qui est très faible vis-à-vis des masses bactériennes générées lors de la dégradation de la charge organique carbonée.

Conditions de la nitrification

➤ Taux de croissance des bactéries nitrifiantes

Le taux de croissance maximum des bactéries nitrifiantes est nettement inférieur à celui des bactéries hétérotrophes qui se développent aux dépens du substrat carboné. Les taux de croissance sont influencés par les concentrations en substrats. Le taux de croissance global des bactéries nitrifiantes est régi par les concentrations d'azote ammoniacal et d'oxygène

➤ Température et substrats

La nitrification est, comme tout processus biochimique, sous la dépendance de la température et des substrats, et notamment, ici, limitée par NH_4^+ et O_2 pour la nitrification, et par NO_2^- et O_2 pour la nitrification.

➤ PH

La vitesse de nitrification n'est pas influencée par le pH dans une gamme comprise entre 7,2 et 8,5. Un pH un peu plus acide (supérieur à 6,5) ou un peu plus basique peut la ralentir, bien que les bactéries puissent s'adapter à ces conditions. En deçà de 6, la nitrification est complètement inhibée ce qui est également le cas pour les pH très basiques.

Une alcalinité très faible de l'eau potable couplée à une introduction importante d'eaux claires parasites est susceptible de conduire à une acidification de la culture bactérienne. Dans ce cas, de la chaux doit être ajoutée en tête de traitement.

➤ Inhibition

Des concentrations élevées en azote ammoniacal sont inhibitrices de la nitrification et plus particulièrement de la nitrification, les bactéries assurant l'étape de nitrification étant les plus sensibles aux variations des conditions du milieu. Ces concentrations élevées en azote ammoniacal n'ont aucune probabilité d'occurrence dans le traitement des effluents domestiques visant aussi l'élimination d'azote. Par contre des à-coups de charge importants peuvent survenir après un incident sur le réseau d'égouts au cours d'un épisode pluvieux où la population raccordée varie brutalement (zones touristiques). Si cet à-coup entraîne une concentration faible d'oxygène, on pourra observer une chute du rendement de nitrification accompagnée du rejet temporaire de concentrations élevées de nitrites.

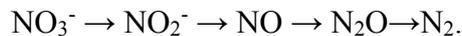
Les toxiques inhibant l'activité des bactéries nitrifiantes, comme d'ailleurs celle de l'ensemble de la microflore épuratrice, seront d'autant plus gênants que d'autres conditions seront défavorables (température basse, pH acide, ...). Parmi les métaux, les ions Ni, Cu, Pb et Ag apparaissent comme les plus susceptibles de bloquer la nitrification à très faible concentration sans avoir d'effet notable sur le reste des micro-organismes. Parmi les composés organiques, de très nombreuses molécules contenant du soufre sont des inhibiteurs spécifiques de la nitrification.

d) La dénitrification

C'est le processus par lequel certaines bactéries réduisent l'azote nitrique à un état plus faible d'oxydation. Ces bactéries peuvent être autotrophes, mais l'activité de celles-ci est faible. C'est la raison pour laquelle on met généralement en œuvre des bactéries hétérotrophes.

La dénitrification est le mécanisme qui permet à un grand nombre de bactéries hétérotrophes vis-à-vis du carbone – aérobies facultatifs de couvrir leurs besoins énergétiques à partir des nitrates lorsque l'oxygène dissous fait défaut. Ces bactéries qui ont besoin de nutrition. [10]

Cette réduction se produit à travers différentes réactions que l'on peut schématiser comme suit:



Conditions de la dénitrification

➤ Oxygène dissous

La dénitrification ne se produit de manière significative que si la concentration d'oxygène dissous dans le milieu est nulle.

➤ Charge

La dénitrification est d'autant plus rapide que la quantité de carbone disponible est importante et que ce carbone est rapidement biodégradable. Le carbone rapidement biodégradable Pour une eau usée donnée, la vitesse de dénitrification est une fonction croissante de la pression de carbone exercée sur la biomasse,

➤ Température

La température influe peu sur la vitesse de dénitrification lorsque ses variations sont progressives et que le substrat carboné interstitiel rapidement assimilable est peu abondant

En revanche, une variation brutale de température (exposition du soleil, par exemple : voile de boues des décanteurs secondaires, éprouvettes) active de manière très nette la dénitrification et l'on constate alors des remontées de boues. De même, lorsque le substrat rapidement assimilable est abondant (en tête du bassin d'anoxie), la vitesse de dénitrification peut être exprimée en fonction de la température et de la charge en substrat par l'équation la température l'optimale se situe dans la gamme 25 à 30°C, mais le processus peut avoir lieu entre 5 et 50 °C.

Remarque

L'élimination biologique de l'azote et plus précisément la nitrification et dénitrification peuvent se faire soit dans un seul bassin avec un temps d'arrêt d'aération pour assurer la dénitrification comme le montre la figure suivante :

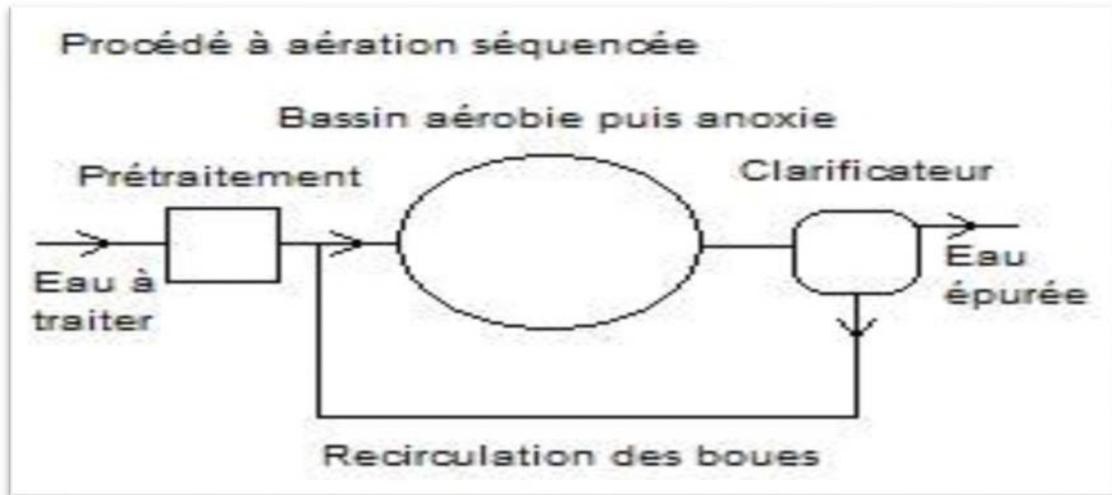


Figure II.3 : élimination biologique dans un seul bassin

Soit dans deux bassins séparés (bassin aérobie et bassin d'anoxie), dans ce cas le bassin d'anoxie peut se situer soit à l'amont du bassin d'aération ou bien à l'aval de ce dernier.

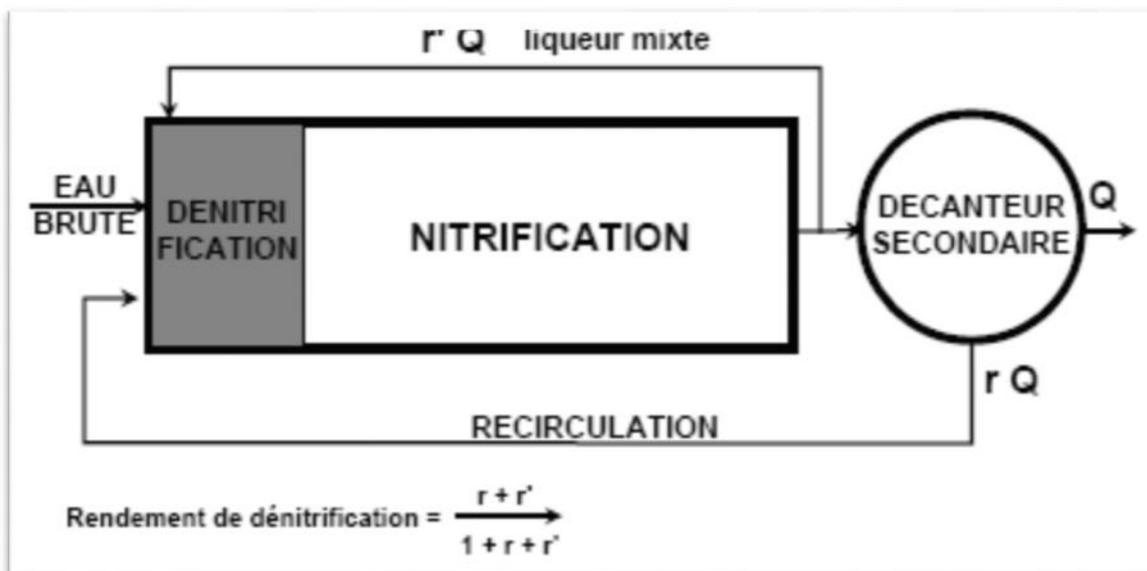


Figure II.4 : Schématisation d'un bassin d'anoxie à l'amont du bassin d'aération

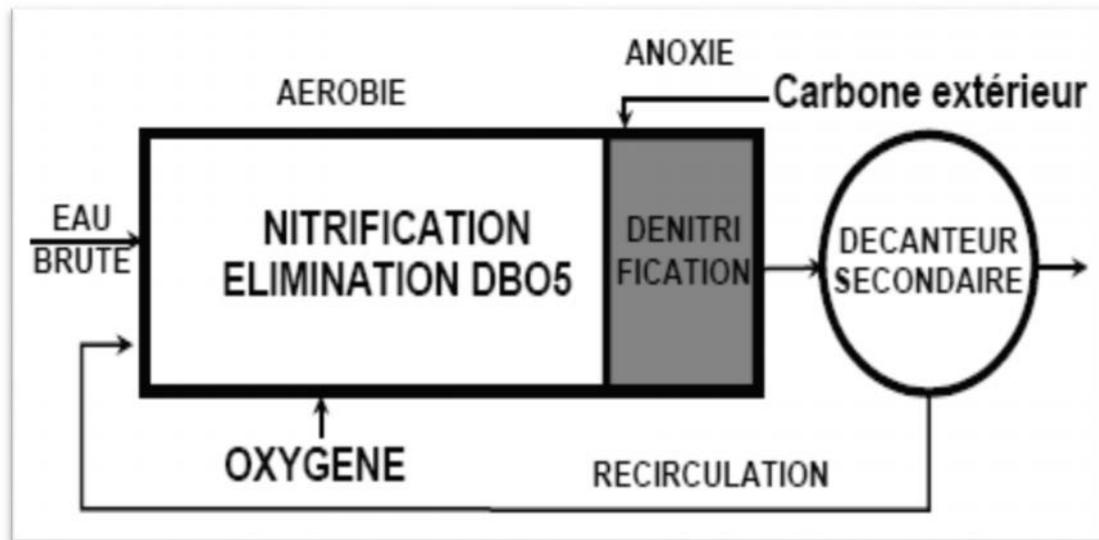


Figure II.5: Schématisation d'un bassin d'anoxie à l'aval du bassin d'aération

II.4.2. Traitement du phosphore

Pour le phosphore, le principe suivi est de le précipiter,

- soit sous forme chimique
- soit par voie biologique

II.4.2.1. Déphosphatation biologique

Dans le procédé d'élimination biologique du phosphore par boue activée la biomasse est exposée à une alternance de conditions anaérobies et aérobies

- Dans le bassin d'anaérobiose, les bactéries déphosphatantes, synthétisent un produit de réserve, les poly--alcanoates à partir du substrat facilement biodégradable des eaux usées et de l'énergie libérée par l'hydrolyse intracellulaire de polyphosphates. Il en résulte un relargage de phosphate dans le milieu externe.
- Dans le bassin d'aération, les poly—alcanoates et la matière organique contenus dans les eaux usées sont oxydés par les bactéries. La respiration (de l'oxygène) produit l'énergie nécessaire aux bactéries qui régénèrent leurs stocks de polyphosphates et croissent.

L'élimination biologique du phosphore est liée à une réabsorption de P plus importante que le relargage.

Réactions biochimiques au sein d'une bactérie déphosphatante en conditions anaérobie et aérobie.

Le procédé de déphosphatation biologique consiste à entretenir une telle biomasse sur laquelle on prélève l'excès de boues produites par la station. Le rendement d'élimination peut atteindre 60 à 70 %.

Ce rendement n'est cependant pas satisfaisant à lui seul si la teneur en phosphore est élevée et on complète le processus en ajoutant simultanément du réactif chimique. [10]

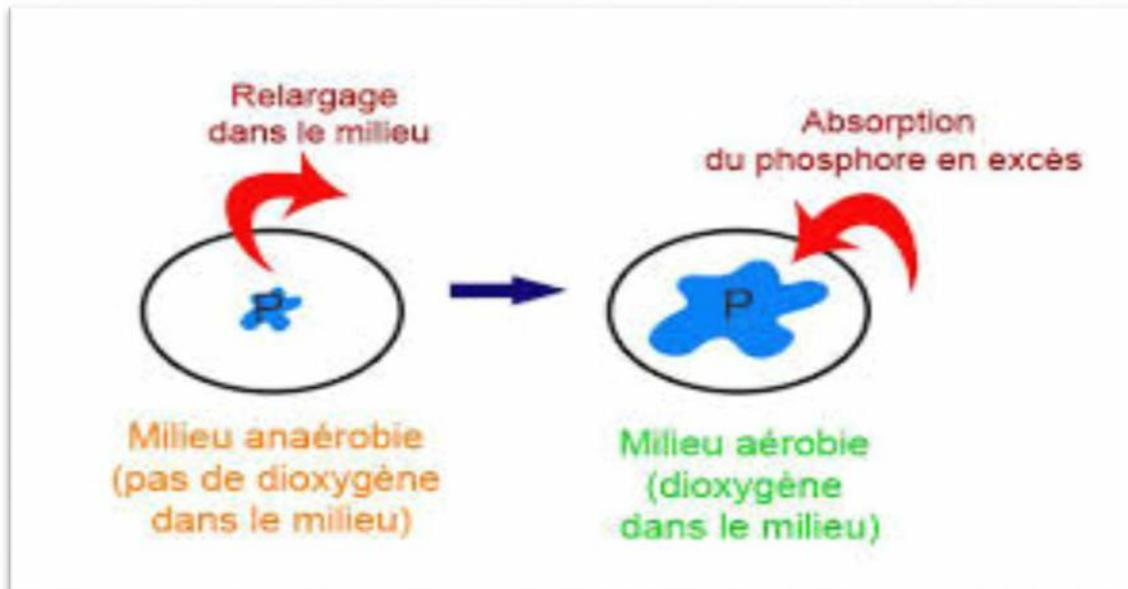


Figure II.6: élimination biologique du phosphore

L'efficacité de la déphosphatation biologique est principalement liée :

- à la concentration de substrats simples facilement biodégradables contenus dans les eaux usées ou pouvant être éventuellement générés en anaérobiose ;
- au rapport DBO/P (ou DCO/P) des eaux usées qui intervient au niveau du rendement d'assimilation ;
- à l'existence de conditions anaérobie et aérobie réelles dans les réacteurs concernés ;
- au respect de temps de séjour suffisants dans les réacteurs anaérobie et aérobie pour que les réactions de relargage puis de réabsorption soient complètes ;
- à l'âge des boues. Lorsque les boues sont jeunes, la vitesse de réaction est plus rapide. Un âge de boues d'environ 20 jours est compatible avec un bon rendement de déphosphatation biologique.

II.4.2.2. Déphosphatation chimique

Il s'agit d'une précipitation des phosphates par des sels de fer ou d'aluminium, ou encore par de la chaux ; on obtient alors des précipités insolubles de phosphates métalliques, comme le montrent les réactions chimiques suivantes :



En termes d'exploitation, la précipitation chimique possède l'avantage de ne pas dépendre d'un processus biologique particulier. A ce titre, elle constitue un procédé simple à mettre en œuvre, insensible à la température et ajustable en fonction des fluctuations occasionnelles de la charge en phosphore. Par contre, elle représente une surproduction en boues évaluée à 0,3 kg de matière sèche par kg de Fe^{3+} utilisé, dans le cas d'une précipitation avec du chlorure ferrique. Cette surproduction de boues n'est en général pas économiquement envisageable pour des stations d'épuration de grande capacité. [6]

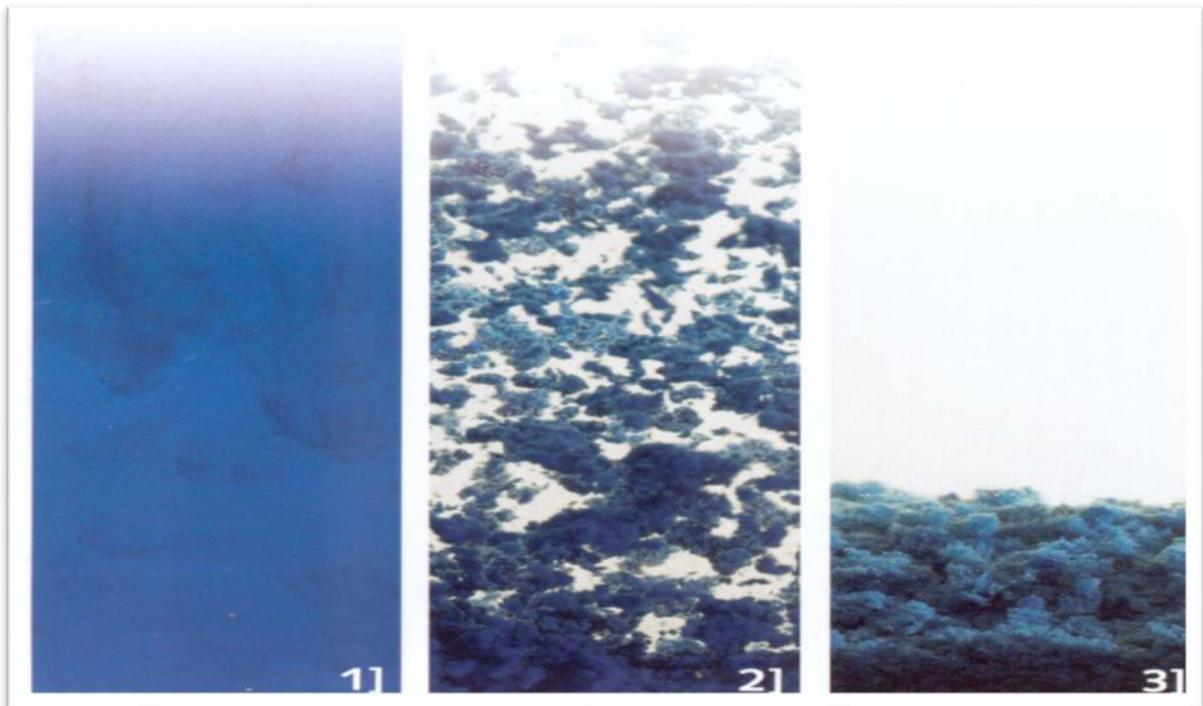


Figure II.6: étapes de déphosphatation chimique.

La précipitation chimique du phosphore peut se réaliser à plusieurs étapes dans la filière de traitement :

- Au niveau de la décantation primaire.
- à l'aval du clarificateur, sur l'effluent épuré : c'est la post-précipitation. Nécessité d'un décanteur supplémentaire.
- Directement sur le bassin d'aération : c'est la précipitation simultanée, qui est la plus utilisée (décantation au niveau de clarificateur).

Remarque

Rappelons les définitions d'anoxie et d'anaérobie propre au domaine du traitement des eaux usées :

- l'anoxie se caractérise par l'absence d'oxygène et la présence de nitrates.
- l'anaérobie se caractérise par l'absence d'oxygène et de nitrate. [9]

Conclusion

Chaque station d'épuration doit obligatoirement avoir des équipements pour le traitement d'azote et de phosphore et bien veillé que ses deux paramètres ne dépassent pas les normes de rejets pour éviter la dégradation du milieu récepteur.

Chapitre III

Traitement des boues

Introduction

Les boues d'épuration (urbaines ou industrielles) sont les principaux déchets produits par une station d'épuration à partir des effluents liquides. Ces sédiments résiduaux sont surtout constitués de bactéries mortes et de matière organique minéralisée. Ces derniers subissent plusieurs traitements afin de réduire leur volume, limiter les quantités à stocker, les stabiliser pour en améliorer les caractéristiques physiques et arrêter leur biodégradation pour pouvoir limiter les nuisances et les risques sanitaires.

III.1. Définition des boues

Les boues sont des effluents liquides fortement chargés en matières solides (avec des concentrations en solide de 1 à 10 %, soit 10 à 100 g/l). Constituées de matière organique fraîche, très fermentescible, et de matières minérales dissoutes ou insolubles.

III.2. Origine des boues résiduaux

L'appellation des différents types de boues résulte de la combinaison de plusieurs critères :

- nature de l'effluent (Urbain, laiterie, abattoir, papeterie,...etc.).
- caractéristique du traitement des eaux (primaire, physico-chimique, biologique),
- procédé de stabilisation (aérobie, anaérobie, chaulage, compostage),
- état physique des boues (liquide, pâteux, solide, pulvérulent, granulé),
- type de matériel de déshydratation (filtre-presse, centrifugeuse, table d'égouttage,...etc.).

L'ensemble des combinaisons possibles montre qu'il existe en théorie un grand nombre de types de boues. Toutefois, les principaux types de boues dans une station d'épuration sont les suivants :

III.2.1. Boues primaires

Elles résultent de la simple décantation physique des matières en suspension contenues dans les eaux usées brutes. Elles ne sont pas stabilisées.

Elles sont riches en matières minérales et contiennent des matières organiques susceptibles d'évolution. Elles présentent des concentrations élevées. Elles sont obtenues dans les décanteurs digesteurs ou dans les décanteurs primaires des stations d'épuration par boues activées. [24]

III.2.2. Boues physico-chimique

Variante des boues primaire, sont obtenues par l'adjonction de réactifs (sels de fer, d'aluminium ...) visant à coaguler la fraction colloïdale des matières contenues dans les eaux usées. Présentant des concentrations assez élevées, elles nécessitent une stabilisation et posent des problèmes spécifiques de destination finale du fait des ajouts de réactifs, et plus particulièrement de sels métalliques. [11]

III.2.3. boues secondaires

Elles proviennent d'une épuration biologique des eaux (boues activées, disques biologiques, lits bactériens...). Ces boues, de concentrations médiocres (10 g/l), sont très organiques car elles sont principalement constituées de corps bactériens.

III.2.4. Boues mixtes

C'est le mélange de boues secondaires avec les boues primaires. Les boues mixtes sont celles qui sont issues de la quasi-totalité des filières de traitement complètes.

III.3. Caractéristiques des boues

Les boues urbaines sont essentiellement composées des :

- **éléments fertilisants** : les boues sont riches en matières organiques (phosphore, azote).
- **éléments indésirables**
 - Des éléments traces minéraux : ils sont constitués en majorité des métaux tel que le cuivre, le zinc, le calcium ... etc. Certains de ces éléments occupent une place essentielle à faibles concentrations dans l'organisme (Oligo-éléments), mais deviennent généralement toxiques au-delà d'un certain seuil.
 - Des micro-organismes pathogènes : virus, bactéries, protozoaires, et les champignons.

Ils sont notamment présents dans les matières fécales rejetées dans les réseaux d'eaux usées et donc inévitablement présents dans les boues brutes.

- Des micropolluants organiques : les substances les plus fréquemment considérées sont HPA (Hydrocarbures Polycycliques Aromatiques) et les PCB (Polychlorobiphényles) car ils sont particulièrement persistants. Les composés suivants entrent aussi dans cette catégorie : pesticides, résidus de médicaments.

III.3.1. Siccité d'une boue

La boue est essentiellement constituée d'eau et de matières sèches (MS). Le pourcentage d'eau représente l'humidité ; le pourcentage de matières sèches la siccité. Ainsi une boue à 10 % de siccité présente une humidité de 90 %.

III.3.2. Taux de Matières Volatiles Sèches

Les matières sèches (MS) sont composées de matières minérales (MM) et de matières organiques appelées matières volatiles sèches (MVS). La concentration des MVS est généralement exprimée en pourcentage par rapport aux MS : on parle de taux de MVS. Le contrôle de ce paramètre permet de suivre la stabilité de la boue. [18]

III.3.3.Consistance de la boue

La consistance de la boue est un critère essentiel pour le stockage, l'homogénéisation, la manutention, l'enfouissement, etc. La consistance de la boue est liée à son état physique. En effet, quatre états physiques sont généralement définis en tenant compte de la siccité :

Tableau III.1 : le pourcentage de siccité pour chaque état physique des boues.

| Etat physique des boues | La siccité |
|--------------------------------|-------------------|
| Boue liquide | 0 à 10 % |
| Boue pâteuse | 12 à 25 % |
| Boue solide | supérieure à 25 % |
| Boue sèche | supérieure à 85 % |

III.4.Objectif de traitement des boues

Les principaux buts visés lors du traitement des boues sont :

- Réduire la teneur en eau jusqu'à 5 à 10 %.
- Stabiliser la matière organique en diminuant sa fermentescibilité pour réduire ou même supprimer les mauvaises odeurs.
- Hygiéniser si nécessaire en détruisant les micro-organismes pathogènes

III.5. Etapes de traitement des boues

Les boues se présentent au départ sous forme liquide et avec une forte charge en matière organique hautement fermentescible. Ces deux caractéristiques sont gênantes quelle que soit la destination des boues et imposent la mise en place d'une filière de traitement (figure III. 1).

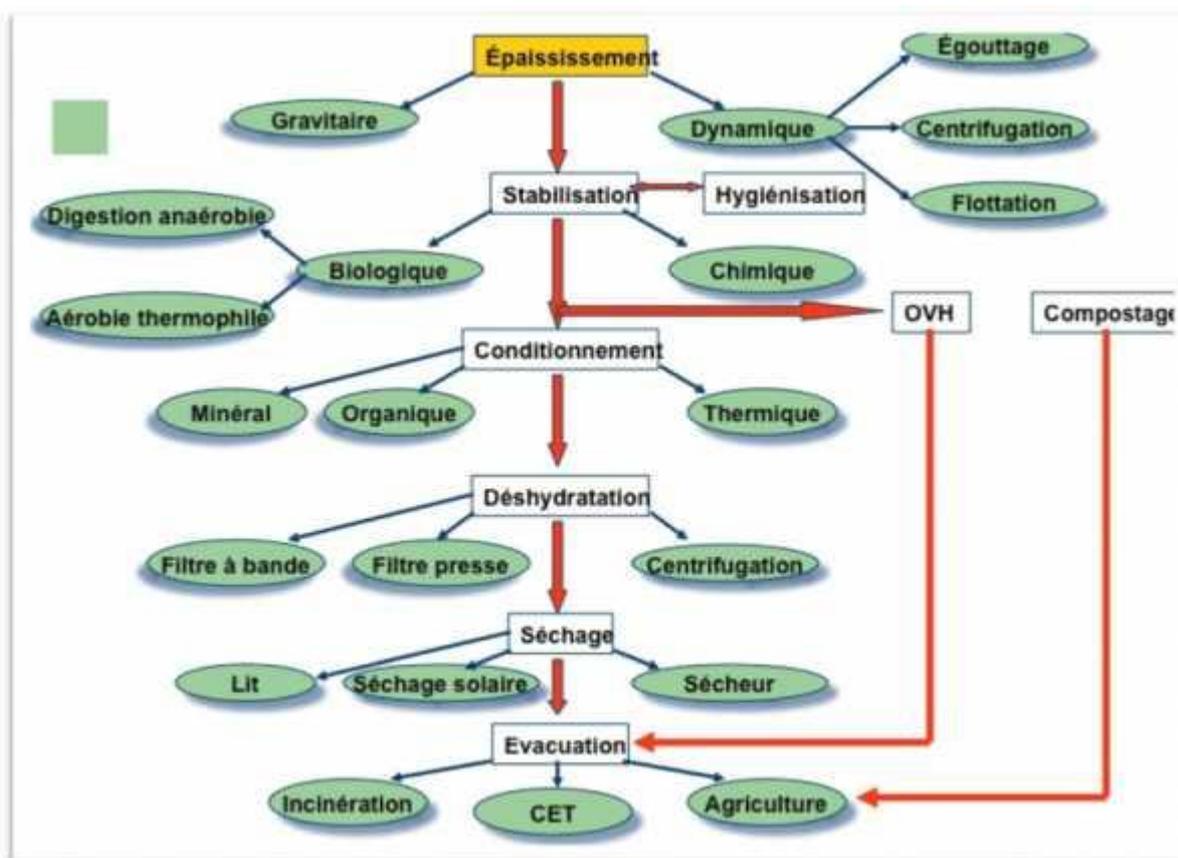


Figure III.1 : chaîne de traitement des boues.

III.5.1.Epaississement

L'épaississement constitue, en fait, le premier stade de la réduction de volume des boues. Cette étape est obligatoire quelle que soit la destination finale des boues car celles-ci sont constituées principalement d'eau.

Peut se faire en plusieurs niveaux dans le schéma de traitement des boues, et présente de nombreux avantages tels que :

- Amélioration du taux de réduction des matières organiques.
- Amélioration des rendements des dispositifs de déshydratation et de séchage.
- Soulage les décanteurs primaires et évite tout risque de fermentation des boues.

Cet épaississement peut se faire simplement par voie gravitaire, dans un concentrateur ou par des moyens mécaniques (égouttage, flottation ou centrifugation), ou une partie de l'eau interstitielle ainsi obtenue est évacuée.

III.5.1.1.Epaississement par gravitation

Cette technique consiste à introduire la suspension boueuse dans un ouvrage appelé épaississeur de façon à permettre une concentration des boues au fond de l'ouvrage.

La hauteur de boues doit être telle qu'elle évitera toute turbulence dans l'appareil.

Le temps de séjour des boues est assez élevé; il est de l'ordre de 10 à 15 jours. Cependant, selon la nature de la boue, le temps de séjour peut descendre à 5 jours afin d'éviter les phénomènes de fermentation.

Une fois concentrées, les boues sont retirées de l'appareil et alimentent les autres maillons de la chaîne de traitement. [16]

Ce type de dispositif possède un système de mécanisation permettant le recyclage et l'agitation lente du processus.

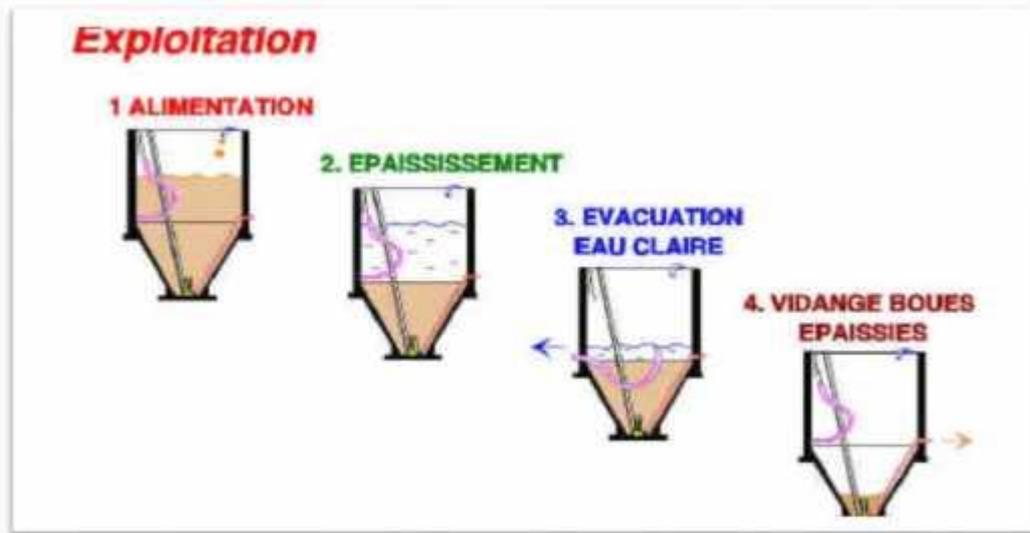


Figure III.2 : Schéma du principe d'un épaisseur gravitaire.

III.5.1.2. Epaisseur dynamique

- **Epaisseur par flottation**

Cette technique consiste à diminuer la masse apparente de la boue par adsorption de fines bulles de gaz et d'en provoquer l'entraînement vers la surface. Cette technique est utilisée pour des boues biologiques d'aération prolongée ou de biofiltration (concentration de l'ordre de 2 à 8 g/l maxi). En général, elle est pratiquée pour des installations de moyenne et grosse importance (>40 000 Eq.Hab). Elle présente plusieurs avantages (faible emprise au sol : 4 fois moins de place qu'un épaisseur statique, meilleur rendement d'épaississement 60 à 200 mg/l dans le surnageant, contrôle des odeurs car le milieu est aéré. [12]



Figure III.3. : Epaisseur à flottation

- **Egouttage**

Cette technique est en général utilisée pour des petites STEP et avec des boues biologiques d'aération prolongée (5 à 10 g/l). Elle permet une réduction du volume de boues de l'ordre de 6 à 7 (siccité de l'ordre de 5 - 8 %). Souvent, la grille d'égouttage est associé à une déshydratation sur filtre bande. [12]

- **Centrifugation**

Cette technique, comparable à la flottation, est en général utilisée pour des boues biologiques ou de traitements tertiaires physico-chimiques. Elle est en général utilisée pour des STEP moyennes (20 à 100 000 Eq.Hab) ou dans des STEP compactes. Ce procédé est onéreux en investissement et en exploitation mais assure une excellente maîtrise des nuisances olfactives. [2]

III.5.2. Stabilisation

La stabilisation est un processus qui limite les fermentations des boues en vue de favoriser la valorisation agricole et réduit leurs odeurs désagréables.

On distingue les stabilisations chimiques, biologiques, thermique ou par compostage

III.5.2.1. Stabilisation biologique

Cette stabilisation s'effectue soit en présence d'oxygène dans les bassins d'aération ou bassin de stabilisation aérobie, soit par voie anaérobie dans des digesteurs avec dans ce cas-là production de biogaz. Dans le premier cas, on obtient des boues aérobies ou stabilisées aérobies, dans le second cas, on aura des boues digérées anaérobies ou stabilisées anaérobies.

III.5.2.2. Stabilisation chimique

L'avantage de cette technique est d'obtenir une boue qui peut être utilisée en épandage comme amendement calcique. le but est d'arrêter l'activité biologique par le pH et généralement après une première stabilisation biologique. [3]

Il est possible d'ajouter de l'acide sulfurique, pour atteindre un pH de 2,0-2,5 des boues. Cette acidification réduit la masse des boues et minéralise la matière organique très rapidement. L'autre possibilité est d'ajouter de la chaux pour, atteindre des pH très basiques

Les boues d'épuration doivent être mélangées à la chaux de préférence chaux vive plutôt que chaux hydratée, afin d'élever leur pH à 12 et ainsi empêcher la survie des micro-organismes pathogènes. Ce traitement des boues d'épuration permet aussi d'augmenter la siccité des boues car la chaux vive réagit de manière exothermique au contact de l'eau contenue dans les boues et de la vapeur se dégage. Une Siccité de 30 % est facilement obtenue quel que soit l'équipement de déshydratation utilisé. Le mélange boue /chaux vive doit être le plus homogène et intime possible afin que chaque grain de chaux rentre bien en réaction permettant ainsi un rendement optimum.

III.5.2.3. Stabilisation thermique

La stabilisation thermique consiste à un séchage des boues, souvent déjà déshydratés mécaniquement pour éviter des coûts trop important. Cet effet est temporaire mais persiste dans le temps tant que les boues ne sont pas ré humidifiées.

III.5.2.4. Stabilisation par compostage

Le compostage constitue un procédé particulier de la stabilisation biologique aérobie. Après compostage, les boues sont solides et stables et ressemble à du terreau.

III.5.3. Conditionnement

Le conditionnement a pour but la rupture de la stabilité colloïdale des boues et faciliter l'évacuation de l'eau libre. Il existe deux méthodes de conditionnement : conditionnement minéral (ajout de chaux et du $FeCl_3$) et conditionnement organique (ajout de polymère généralement cationique).

III.5.4. Déshydratation mécanique des boues

La déshydratation permet de diminuer la teneur en eau des boues, et d'atteindre en sortie une siccité allant de 15% à 40%, variable selon la filière de traitement des eaux, la nature des boues et la technique de déshydratation utilisée. Elle s'opère sur un mélange de boues primaire, secondaire voire tertiaire.

III.5.4.1. Filtration sous vide

La boue préalablement conditionnée alimente en continu une auge dans laquelle est en partie immergé un tambour recouvert d'une toile filtrante. Ce tambour est constitué de compartiments étanches qui seront alternativement soumis à une pression atmosphérique.

La dépression, effective sur les 2/3 de la surface filtrante, permet de constituer un film épais de boue sur la toile lors de l'immersion du tambour, puis l'essorage du gâteau après son émergence. Le retour à la pression atmosphérique correspond aux phases successives de décharge de la boue déshydratée et de rinçage de la toile par une eau sous pression. [12]

III.5.4.2. Filtres presses

Le filtre-presse est une technique de déshydratation qui consiste à exercer mécaniquement une forte pression sur la boue. Cette dernière libère l'eau interstitielle au travers d'un filtre. Il se forme alors, avec les solides retenus, un « gâteau » plus ou moins sec.

Des réactifs de coagulation-floculation sont utilisés, leur fonction principale étant d'augmenter l'agglomération des particules. Cela permet de faciliter la filtration de ces particules. Le chlorure ferrique et la chaux sont les conditionnements les plus souvent choisis, mais il est aussi possible d'utiliser des électrolytes polymères. L'emploi de polymères et de toiles spécifiques facilite la dépose du gâteau, étape cruciale de la déshydratation.

Il faut ensuite effectuer un lavage des toiles : plus la boue est « biologique », plus le lavage ne devra pas être puissant. Ce lavage génère d'ailleurs d'importantes quantités d'eaux chargées en MES, qui sont réintroduites en amont de traitement. La dilution des boues qui en résulte doit être prise en compte afin de déterminer la capacité de l'installation.

III.5.4.3. Filtres à bande

Consiste en une compression et un cisaillement des boues entre deux toiles. Les premiers modèles (à basse et moyenne pression) ne permettaient d'atteindre que 15 à 17% de siccité. Les modèles plus récents (à haute pression) permettent d'atteindre jusqu'à 18 à 20%. En sortie, les boues se présentent sous forme de petites plaques.

III.5.4.4. Centrifugation des boues

La centrifugation est une technique de séparation des phases liquides - solides dont le principe relève de la loi de la pesanteur et elle est basée sur l'action de la force centrifuge.

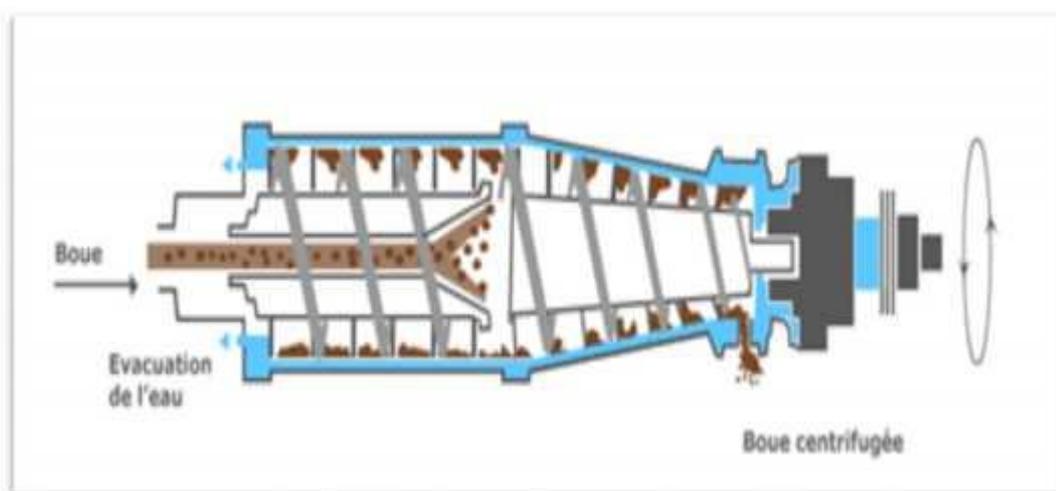


Figure III.4 : déshydratation par centrifugation

Remarque

La déshydratation mécanique concerne surtout les grosses stations (plusieurs dizaines ou centaines de milliers d'EH). Depuis récemment, elle se développe dans les moyennes installations (de 3.000 à 10.000 EH). Dans les très grosses, il s'agit le plus souvent de filtre- presse (car plus coûteux en investissement et en exploitation), et dans les petites (1000 à 2000EH) de filtres à bandes. Les filtres à bandes seraient encore les matériels les plus utilisés pour la déshydratation.

III.5.5. Séchage des boues

a) Lit de séchage

Le principe du lit de séchage est d'épandre des boues liquides sur une grande surface avec un lit constitué de graviers et de sable. Il se pratique soit à l'air libre soit en bâtiment fermé avec une ventilation mécanique. Cette technique représente l'inconvénient d'être tributaire du climat, les temps de séchage sont relativement longs et les coûts de main d'oeuvre élevés. Elle ne peut s'adapter aux grandes stations en raison des surfaces nécessaires. Il existe plusieurs types :

- Lit de sable

Le séchage des boues sur des lits de sable réside en deux temps :

- Dans un premier temps, se fait une filtration de l'eau à travers le support, par des forces à très faible pression qui sont essentiellement des forces gravitaires. L'eau est recueillie par un système de drains disposés à la base du lit. Le temps de cette première phase est relativement rapide puisqu'il est de 1 jour pour les boues primaires et de 4 -5 jours pour un mélange de boues primaires et de boues secondaire.
- Dans un deuxième temps, a lieu l'évaporation de l'eau liée, en faisant appel à des forces extérieures comme les conditions météorologiques. L'apparition de fissures augmente la surface de contact avec l'atmosphère qui se traduit par une évaporation plus intense.

Cette deuxième phase dépend de divers facteurs tels que la température, l'humidité relative de l'air au contact de la boue et de l'épaisseur de la boue [8]

- Lit planté des macrophytes

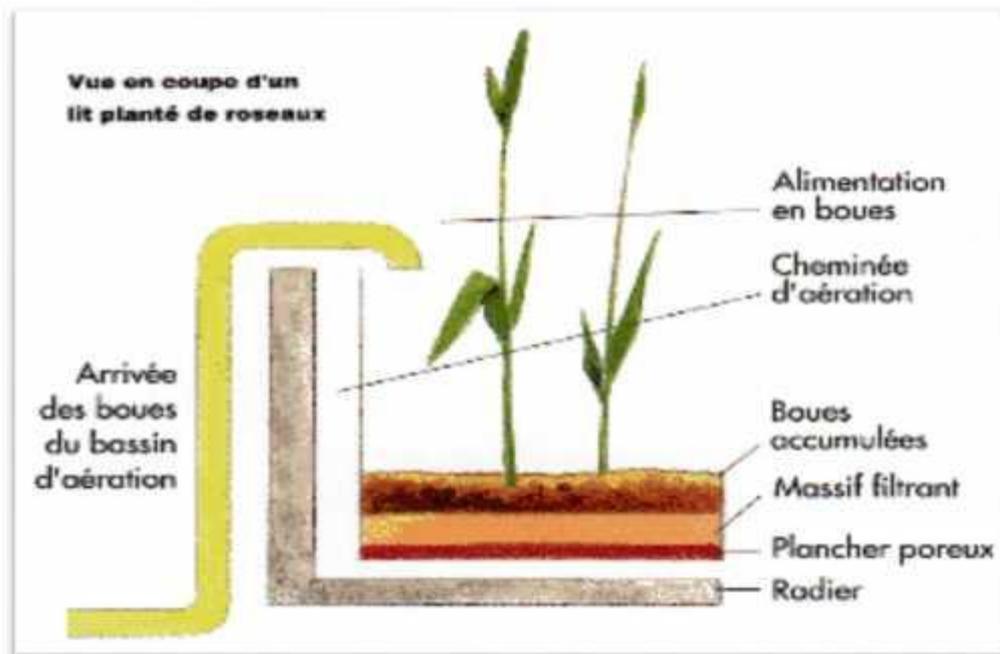


Figure III.6 : coupe d'un lit planté de macrophytes

- Séchage solaire

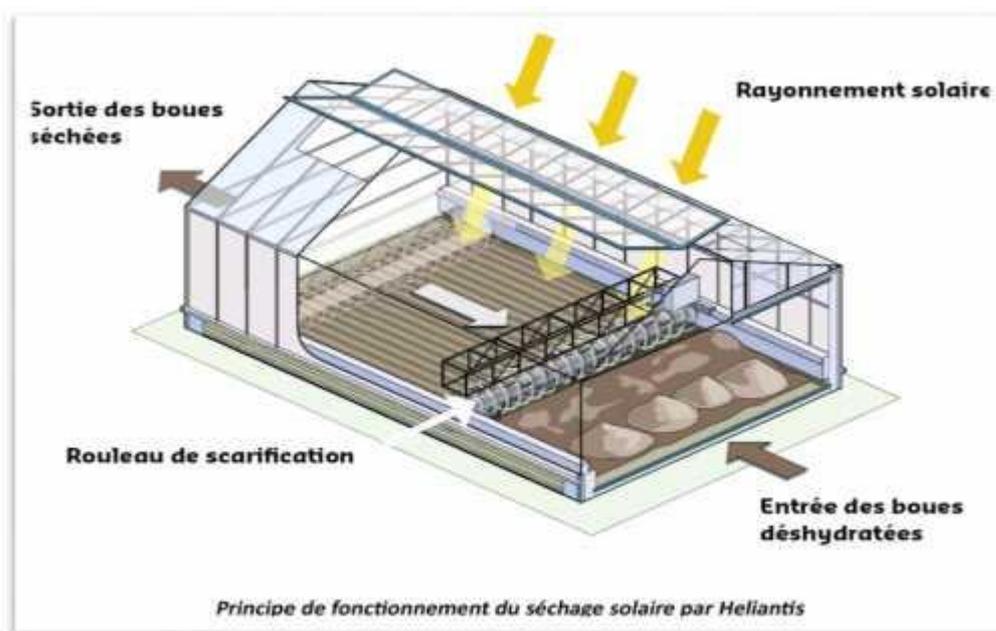


Figure III.7 : principe de séchage solaire.

b) Séchage thermique

Ce type de séchage repose sur deux méthodes :

- Le séchage direct : les boues sont au contact de la source chaude et l'air est injecté directement pour permettre leur combustion. Il nécessite ensuite un traitement spécifique de cet air, chargé en polluants de toutes sortes. Les sécheurs directs ne peuvent généralement pas produire des boues de siccité supérieure à 70 % à cause de risques d'inflammation ou d'explosion.
- Le séchage indirect : qui est un séchage total. Les boues sont chauffées par un fluide caloporteur circulant dans des tuyaux parfaitement isolés. Les sécheurs indirects peuvent former, sans aucun danger, des boues de siccité supérieure à 90 % et parfois même à 95%

III.6. Traitements d'hygiénisation

C'est un traitement qui réduit à un niveau non détectable les agents pathogènes présents dans la boue. Une boue est considérée comme hygiénisée quand, à la suite d'un traitement elle satisfait aux exigences définies dans le tableau III.2.

L'hygiénisation des boues ne s'impose que dans certains contextes d'utilisation agronomique. La plupart des boues épandues ne sont pas hygiénisées. En effet, la maîtrise du risque sanitaire repose de façon satisfaisante sur l'application de règles de bonnes pratiques.

Les traitements d'hygiénisation résultent souvent d'une conduite particulière des traitements de stabilisation des boues correctement chaulées, séchées thermiquement ou encore compostées peuvent être considérées comme des boues hygiénisées.

Tableau III.2 : seuils de référence pour la teneur en micro organismes pathogènes

| Salmonelles | Entérovirus | Œufs d'helminthes pathogènes viables |
|----------------|-----------------|--------------------------------------|
| <8 NPP/10 g MS | <3 NPPUC/10g MS | < 3/10 g MS |

III.7. Stockage des boues

Son rôle est essentiel vis-à-vis du bon fonctionnement de la station d'épuration puisqu'il doit assurer la souplesse entre les extractions discontinues vers l'utilisation finale des boues.

Dans certains cas (lagunage naturel, lagunage aéré, lagune-culture fixée), la fonction de stockage est couplée à la fonction de stabilisation dans les vastes ouvrages de traitement des eaux eux même. Ailleurs (décanteurs-digesteurs, lits bactériens,...etc), la capacité de stockage de l'ordre de 6 mois peut être limitée vis-à-vis des possibilités de débouché agricole et nécessite une gestion appropriée (choix des périodes d'extraction). Le développement des capacités de stockage dans les ouvrages appropriés se fait, soit par augmentation de leur volume, soit par l'augmentation des concentrations des boues stockées. [11]

III.8. Valorisation agricole des boues

C'est la filière d'évacuation des boues la moins onéreuse, elle présente de plus l'intérêt de valoriser les composants de la boue tels que l'azote, le phosphore et la matière organique nécessaires au développement des plantes.

En effet, la structure du sol, définie comme l'arrangement des particules constitutives élémentaires (argiles, limons, sable, matière organique), présente une microporosité qui est responsable de la quantité d'eau disponible pour la plante et une macroporosité qui permet le développement des racines. Plus ces porosités sont importantes et homogènes, plus la structure du sol est bonne. L'apport de matière organique sur un sol augmente la microporosité et plus particulièrement les micropores allongés, essentiels dans le rôle de rétention d'eau et de croissance des poils d'absorption racinaire. Le nombre important et la distribution homogène des macropores allongés, suite à un amendement organique, permet un meilleur développement racinaire.

Par ailleurs, cette solution doit être envisagée lorsque les boues ne contiennent pas d'éléments toxiques et que les terrains agricoles sont proches de la station d'épuration.

Elle consiste à épandre des boues traitées sur des terres agricoles pour tirer parti avec l'agriculteur, l'épandage doit être organisé par le producteur des boues ; c'est à dire l'exploitant des unités de collecte et de traitement des eaux usées.

L'épandage est encadré par une réglementation stricte, qui fixe les modalités techniques et administratives, ainsi que la traçabilité.



Figure III.7 : Valorisation agricole des boues.

Tableau III.3 : Différentes étapes de traitement des boues

| Opérations | But |
|---------------------------------|--|
| Concentration Epaississement | Eliminer une partie de l'eau interstitielle afin d'éviter son transport. |
| Stabilisation | Limiter les évolutions ultérieures s'accompagnant de nuisances. (fermentation, mauvaises odeurs) |
| Conditionnement | Modifier les caractéristiques de la boue afin de faciliter la séparation des phases solides et liquides |
| Déshydratation | Augmenter la siccité afin de rendre le produit solide ou pâteux |
| Hygiénisation | Eradiquer la charge en micro-organismes pathogènes |
| Stockage | Assurer une capacité tampon harmonisant les besoins d'extraction et les possibilités d'évacuation à l'extérieur. |
| Reprise | Permettre l'utilisation finale. |

Conclusion

Les divers procédés d'épuration des eaux usées existant entraînent une production plus ou moins importante de boues résiduelles. La matière solide de ces résidus contient à la fois des éléments naturels valorisables et des composés toxiques susceptibles d'avoir des effets négatifs sur la santé humaine, animale, ou de perturber l'environnement. Ces éléments sont en relation avec la nature des activités raccordées au réseau d'assainissement,

Ainsi, il faudrait intégrer dès les premières réflexions sur la gestion de l'assainissement des eaux et donc de la station d'épuration, les conditions de gestion des boues produites.

La solution écologiquement responsable, lorsqu'elle est possible, est l'épandage surveillé, réglementé et contrôlé. Non seulement sur des terres de culture agricoles, mais aussi sur des talus routiers, en montagne (pistes de ski), en forêt et partout où cela peut se faire sans inconvénient. Les besoins en matière organique sont importants et il est quelque peu absurde de la faire partir en fumée.

Chapitre IV

Présentation de la STEP de SIDI MEROUANE

Introduction

L'ensemble des eaux usées collectées par les réseaux d'assainissement quelque soit sa nature peuvent être nuisibles pour les milieux récepteurs et causé des problèmes environnementaux fatals en cas de rejet sans traitement. Dans le cadre de protection du barrage BENI HAROUNE en particulier et de l'environnement d'une façon générale, la station d'épuration de SIDI MEROUANE a été réalisée en 2009 à l'amont du barrage.

Dans ce chapitre, nous définissons les principales caractéristiques de la STEP de SIDI MEROUANE ainsi La description détaillée de cette dernière.

IV.1.Présentation générale de la STEP

IV.1.1.Aperçu sur la STEP de SIDI MEROUANE

- ❖ Nom de la station : STEP de SIDI MEROUANE.
- ❖ Commune d'implantation de la STEP: SIDI MEROUANE.
- ❖ Milieu récepteur : Barrage de BENI HAROUN.
- ❖ Date de mise en service : 20 Août 2009.
- ❖ Date de transfert de la station à l'ONA : 20 Août 2011.
- ❖ Localités concernées par le traitement : MILA ; GRAREM GOUGA, RAS LBIR et SIDI MEROUANE.
- ❖ Nature des eaux brutes : urbaines.
- ❖ Groupement de réalisation :

| | |
|-------------|------|
| Génie civil | GCB. |
| Equipements | OTV. |
- ❖ Système d'assainissement : unitaire.
- ❖ Système d'épuration : boue activée faible charge à aération prolongée.
- ❖ Alimentation en eau usée : par pompage + gravitaire.



Figure IV .1: Image satellitaire non traitée de la station d'épuration de SIDI MEROUANE.

IV.1.2. Localisation géographique

La Station d'épuration de SIDI MEROUANE est située à 5 km vers le Nord-Ouest de la route nationale N79a. Elle est atteinte par le chemin de wilaya CW 52 reliant MILA à SIDI MEROUANE et la ville ZGHAIA .Elle s'étale sur un terrain plat d'une élévation d'environ 240 m par rapport au niveau de la mer avec une surface de 13ha.

Les coordonnées géographiques de la STEP sont les suivants :

X : 36°31'49" Nord, Y : 6°15'44" Est, Z : 240 m



Figure IV.2: Localisation de la STEP de SIDI MEROUANE

IV.2. Données de base de la STEP

Les données de base de l'installation sont reportées dans les tableaux ci-après.

Tableau IV.1: Données de base du constructeur, horizon 2015.

| | |
|--|---------|
| Capacité nominale(EH) | 137 000 |
| Débit moyen par temps sec (m^3/j) | 20 550 |
| Débit moyen par temps de pluie (m^3/j) | 25 340 |
| Débit maximal par temps sec (m^3/h) | 1370 |
| Débit maximal par temps de pluie (m^3/h) | 2 055 |

Source : ONA de MILA

Tableau IV.2 : Charges polluantes de dimensionnement, horizon 2015.

| Charges polluantes | Valeur moyenne |
|-------------------------|----------------|
| MES (kg/j) | 12 330 |
| DCO (kg/j) | 19 180 |
| DBO ₅ (kg/j) | 8 220 |
| NTK (kg/j) | 2 055 |
| PT (kg/j) | 548 |

Source : ONA de MILA.

IV.3. Description des ouvrages

Les différents ouvrages constituant la STEP sont les suivants :

IV .3.1 Filière eau

La filière eau comprend les postes suivants :

- Dégrillage grossier (Mécanisé + Manuel).
- Dégrillage moyen (Mécanisé+ Manuel).
- Dessablage déshuilage aéré système d'aération par (Turbines immergées).
- Bassin biologique (surpresseurs d'une puissance unitaire de chaque =200 KW).
- Citerne de FeCl₃ pour traitement chimique du phosphore.
- Dégazeur.
- Clarificateurs (02 Décanteurs racleurs).

IV.3.2. Filière boue

La filière boue est caractérisée par postes suivants :

- Des tables d'égouttages (2unités)
- des filtres à bandes (2unités)
- Lits de séchage (08 lits de séchage).
- Aire de stockage des boues.

IV.4. Principe de fonctionnement de la STEP

IV.4.1 Arrivée des effluents

L'eau brute arrive à la STEP depuis deux émissaires sont :

La première et la majeure partie qui vient de MILA et GRAREM GOUGA est transportée par émissaire de diamètre ϕ 1000 avec les débits de pointe relevés par temps de pluie et par temps sec de 1891m³ /h et 1260 m³ /h respectivement.

Le nombre de pompes en service en pointe : 2+1 de secours.

Le poste de relèvement est équipé d'un déversoir de trop plein permettant de by-passer directement vers le milieu récepteur les eaux brutes non relevées.

Un deuxième émissaire gravitaire (ϕ 400) transporte les eaux usées à partir des villages de SIDI MEROUANE et RAS ELBIR .Cet émissaire est raccordé directement en amont des dégrilleurs moyens avec un débit de $164\text{m}^3/\text{h}$.**[13]**

IV.4.2 Prétraitement

Le prétraitement dans le STEP étudiée consiste en les opérations suivantes :

- Dégrillage grossier
- Dégrillage moyen
- Dessablage-déshuilage

a) Dégrillage grossier

Un dégrilleur grossier automatique est placé dans un canal à l'arrivée des eaux brutes avant relèvement ; ce dégrilleur est secouru par un dégrilleur manuel.

La présence de dégrillage grossier est justifiée par le risque d'abrasion des pompes de relevage.

Caractéristiques

- Nombre de dégrilleurs : 1+1 de secours .
 - Entrefer : 40mm.
 - Largeur indicative des canaux : 1.2 m
 - Débit unitaire max admissible : $2836\text{ m}^3/\text{h}$.
 - Ratio de production de refus dégrillage grossier : $5\text{ml}/\text{m}^3$.
 - Production journalière de refus :
 - Temps sec : $0.09\text{ m}^3/\text{j}$. Temps de pluie : $0.12\text{ m}^3/\text{j}$.
- Les refus du dégrillage grossier sont stockés dans deux bennes de stockage.

b) Dégrillage moyen

Les eaux usées brutes qui arrivent depuis le dégrilleur grossier et l'émissaire gravitaire transitent ensuite par deux dégrilleurs moyens automatiques placés en parallèle, chacun est installé dans un canal en béton. Une troisième file est équipée d'une grille manuelle pour assurer le secours en cas de panne.

Les refus de dégrillage sont repris automatiquement par vis transporteuse pour alimenter un compacteur à déchets de type haute pression ensuite transportés vers les bennes de stockage.**[13]**

Caractéristiques

- Nombre de dégrilleurs : 1 + 1 de secours.
- Débit unitaire admissible : $1030\text{m}^3/\text{h}$.
- Vitesse d'approche : $0.7\text{ m}/\text{h}$.
- Largeur de canal : 0.8m.
- Hauteur d'eau maximale : 0.51.
- Inclinaison : 75° .

- Entrefer : 15 mm.
- Compacteur à déchets : 1.
- Bennes de stockage : 2.

c) Dessablage déshuilage

A l'issue de l'étape de dégrillage, l'effluent transite vers les ouvrages de Dessablage déshuilage qui permettent la décantation des résidus les plus denses généralement les sables et la flottation des graisses.

Les effluents sont traités dans un ouvrage de forme longitudinale, la répartition des débits est assurée par les déversoirs de sortie.

L'élimination des sables évite l'abrasion des équipements situés en aval tandis que celle des graisses favorise le transfert de l'oxygène dans le bassin d'aération. Les ouvrages, dont le fond est plat, sont équipés d'un pont automoteur assurant le raclage de fond pour la reprise des sables et de surface pour celle des graisses.

Des pompes aératrices installées le long de chaque ouvrage, diffusent de fines bulles d'air qui favorisent la remontée et la flottation des graisses. Un système de raclage de surface pousse les flottants dans une bêche à graisses commune aux ouvrages.

En sortie des ouvrages, les effluents s'écoulent gravitairement vers l'ouvrage de répartition.

En cas de dysfonctionnement de l'un des dessableurs –déshuileurs, l'intégralité du flux pourra être répartie sur les ouvrages restant afin d'assurer le fonctionnement de la STEP. Aussi, un by-pass est prévu à la sortie du dessablage- déshuilage en cas d'arrêt complet du traitement biologique.[13]

Caractéristiques

- Nombre d'ouvrage : 2+1 pour l'extension.
- Surface unitaire : 52 m².
- Débit moyen par ouvrage : 428m³/h par temps sec, 528 m³/h par temps de pluie.
- Vitesse de décantation moyenne : 10.4m/h par temps sec, 12.9 m/h par temps de pluie.
- Masse de sables : 0.617 t/j par temps sec, 0.760 t/j par temps de pluie.
- Turbines pour la flottation des graisses : 4+1de secours
- 6 batardeaux.
- 2 ponts racleurs.
- 5 pompes de soutirages des sables.[13]

IV.4.3 Traitement biologique

Le procédé d'épuration retenu pour la STEP est le système par boue activée à faible charge assurant la nitrification –dénitrification, associée à une déphosphoration biologique.

En Été lorsque la concentration du phosphore est élevée, on ajoute du chlorure ferrique donc la déphosphatation sera physico-chimique.

C'est dans le bassin d'activation (biologique) que s'effectuent l'élimination de la pollution dissoute exprimée en matières organiques, azote et phosphore.

Chaque bassin biologique est constitué par trois zones, qui sont :

- Zone d'anoxie amont.
- Zone anaérobie.
- Une zone aérée. L'aération est assurée par insufflation d'air au fond du bassin par des membranes qui permettent d'obtenir un rendement de transfert élevés.

Le brassage de la masse liquide est assuré par trois agitateurs pour chacune des files.[13]

Caractéristiques

- Nombre de files : 2+1 pour l'extension.
- Volume anoxie amont : 1550 m³.
- Volume anaérobie : 2550 m³.
- Volume aérobie : 21900 m³.
- Volume total : 26000 m³.
- Charge massique : 0.11 kg DBO₅ /MVS/j.
- Charge volumique : 0.32 kg DBO₅ m³/j
- Oxygène standard : 1935 kg O₂/h.
- Besoin d'air de pointe : 15924Nm³/h.
- Nombre de surpresseur en service : 4 .
- Durée de fonctionnement : 14h.
- taux de Fecl₃ en Eté : 60.2 mg/l.
- Pompes de dosage de Fecl₃ :2+1de secours.

IV.4.4 Dégazage

Cet ouvrage assure le dégazage de l'effluent avant la clarification. La Liqueur mixte est dirigée vers un ouvrage de dégazage dont les caractéristiques sont données ci-dessous :

- Surface de dégazeur : 75 m².
- Nombre de file : 1.
- Racleur de surface : 1.
- Pompes d'extraction des flottants : 2+1de secours.
- clapets anti retour : 2.

IV.4.5 Clarification et recirculation des boues

La clarification des eaux s'effectue dans deux ouvrages indépendants

La liqueur mixte issue du traitement biologique est envoyée gravitairement vers les clarificateurs dont le rôle est la séparation des eaux épurées des boues.

Les boues ainsi décantées au fond des clarificateurs sont aspirées grâce à un ensemble de tubes verticaux qui balayent toute la surface des ouvrages à chaque rotation du pont racleur.

Les boues soutirées sont envoyées via le fil central de chaque clarificateur vers le puits à boues dont une partie est recyclée à l'aide des pompes vers le bassin biologique et l'autre partie appelée boues en excès sont envoyées vers le poste d'épaississement des boues.[13]

Caractéristiques de Clarification

- Nombre d'ouvrages : 2.
- La surface d'un ouvrage : 1521m².
- Ponts raclés sucés de reprise des boues : 2 par ouvrage.
- Déversoirs de sorties : 1 pour chaque clarificateur.
- Recirculation des boues :
- Nombre de files : 2.
- Nombre de pompes en service : 2.
- Débit par pompe : 551m³/h.

Production des boues

- Boues biologiques en excès : 8500 kg MES/j
- Boues physicochimiques : 1000 kg MES/j
- Boues extraites en été : 9500 kg MES/j

IV.4.6. Traitement des boues

a) Epaississement- déshydratation des boues

Tables d'égouttage

Les boues sont extraites depuis les bâches de recirculation par quatre pompes dont deux en secours alimentant deux tables d'égouttage.

Les boues extraites sont floculées par injection d'un polymère

La séparation gravitaire s'effectue dans la zone d'égouttage, où la plupart du liquide s'écoule.

Chaque table est équipée de déflecteurs, qui drainent la boue et la répartissent sur la toile, puis l'évacuent par un racleur.

La toile est nettoyée par une rampe de lavage dont l'eau est surpressée par une pompe directement installée sur la table.

Les boues épaissies sont directement reprises par les toiles des filtres à bandes.[13]

Filtres à bandes

En ligne avec chaque table d'égouttage, un filtre à bandes.

Ces filtres consistent en 2 bandes tendues par des rouleaux qui leur permettent d'envelopper la boue en une couche homogène pour la déshydrater sous l'action de la pression d'écrasement. Les boues déshydratées sont reprises par un tapis transportant.[13]

Conditionnement au polymère

Une centrale de préparation automatique à partir de polymère cationique en poudre est prévue.

Il ya deux pompes de dosage par file.

Une alimentation en eau à partir du local d'eau de toutes les eaux permet une dilution supplémentaire en ligne du polymère avant son injection en tête des tables d'égouttage.

Caractéristiques d'Épaississement- déshydratation des boues

- Débit d'extraction par file : 62 m³/j.
- Charge/machine : 560kg MES/h.
- Durée de fonctionnement : 8.5h/j .
- Consommation de polymère : 6.7kg/j.
- Consommation d'eau de lavage : 14 m³/j.
- Siccité des boues déshydratées : 18%.
- Nombre de tables d'égouttage pour l'épaississement : 2.
- Nombre de filtres à bandes pour la déshydratation : 2.
- Pompes pour le dosage de polymère : 2+1de secours.
- Centrale automatique pour la préparation de polymère.
- Une cuve + un aspirateur pour l'alimentation en polymère.[13]

b) Séchage des boues

Les boues déshydratées sont dirigées vers une benne de reprise par tapis transporteur pour être épandues sur les lits de séchage.

La siccité obtenue en fin de séchage est de 40 % en moyenne.

- Epandage des boues déshydratées sur les lits de séchage.
- Séchage grâce au vent.
- Curage de la boue séchée.

Les jus résultant qui peuvent s'écouler sont récupérés et réinjectés au niveau du prétraitement.

Les boues séchées sont curées régulièrement et stockées jusqu'à 6 mois dans une aire couverte placée à proximité des lits .[13]

Caractéristiques de séchage des boues

- Nombre de lits : 8.
- Surface d'un lit : 500 m².
- Evaporation totale : 7880 mm/m²/an.
- Siccité finale : 40 %.

- Quantité de boues : 9500kg MES/j.
- Durée de stockage : 6 mois.

Après stockage les boues sont destinées à l'épandage agricole, a partir des conventions signées avec des agriculteurs.[13]

IV.4.7 comptage des eaux

- Un comptage des effluents est réalisé en aval du dégrillage dans un canal venturi. Le niveau est mesuré par ultrason.

Un préleveur automatique d'échantillons est présent aussi pour permet de contrôler la qualité des eaux à l'entrée de la station.

- Les eaux traitées sont acheminées par canalisation vers un canal de comptage de type venturi.
- Un préleveur d'échantillons en poste fixe, permet de contrôler la qualité des eaux traitées.

Remarque

La photographie de la station d'épuration est donnée en annexe I.

Conclusion

Ce chapitre nous a permis d'avoir un aperçu sur les différents ouvrages composant la STEP de SIDI MEROUANE et ces caractéristiques de fonctionnement. En effet, la connaissance des caractéristiques techniques, hydrauliques et des charges polluantes qui ont servi à la conception de la STEP sont indispensables à la compréhension et l'interprétation des bilans d'analyse réalisés par les gestionnaires de la station afin d'évaluer les performances épuratoires de cette dernière et les comparer à celles préconisées par le concessionnaire.

Dans ce cadre, notre travail portera sur l'analyse des données issues de l'autosurveillance de la STEP afin de vérifier si les objectifs fixés par le constructeur sont atteints et proposer, dans le cas contraire, des solutions.

Chapitre V

Étude des performances épuratoires de la STEP de SIDI MEROUANE

Introduction

La station d'épuration reste un outil fondamental pour la protection des milieux naturels.

Ainsi, un suivi strict des STEP est donc indispensable pour assurer une qualité de l'eau épurée répondant aux normes de rejet et ne provoquant aucune nuisance sur l'environnement et sur la santé publique. Afin d'atteindre cet objectif, le fonctionnement des STEP est donc évalué sur la base des résultats des autocontrôles des paramètres de pollution.

Dans ce cadre, ce chapitre est consacré à l'étude des performances épuratoires de la STEP de SIDI MEROUANE qui consiste à identifier les indicateurs de suivi sur la base des résultats des analyses faite à la STEP et ce pour les deux dernières années à savoir 2014 et 2015.

Ces indicateurs permettent de mettre en évidence les optimisations nécessaires et serviront une fois mis en place, à améliorer le fonctionnement de l'installation. Les indicateurs en question sont les paramètres physico-chimiques pH, MES, DBO₅, azote, phosphore... et les rapports DCO/DBO, MES/DBO₅, DCO/PTetc.

V.1. Matériels et méthodes

V.1.1. Mesure du débit

La mesure du débit durant la période d'études a été faite à l'entrée et à la sortie de la STEP de SIDI MEROUANE. Les eaux usées sont acheminées de la tête de station vers un canal venturi pour quantifier le volume journalier, le comptage du débit se fait par sondes ultrason les valeurs sont enregistrées automatiquement et récupérés en suite.

V.1.2. Echantillonnage

Comme le but de cette étude est de vérifier les performances de la STEP, des analyses des eaux usées brutes et des eaux épurées sont indispensables et notamment au niveau des différentes étapes de traitement (traitement primaire et secondaire) pour localiser les dysfonctionnements.

Pour la STEP de SIDI MEROUANE, deux points de prélèvement d'échantillonnage automatique ont été prévu. Un de l'eau brute après le dégrillage et l'autre de l'eau épurée à la sortie des eaux traitées. Une fois récupérés, les échantillons seront conservés jusqu'à l'analyse dans un lieu frigorifique au laboratoire. L'analyse des eaux usées brutes et de l'eau traitée est effectuée sur des échantillons composés de 24 heures.

V.1.3. Les principaux paramètres analysés

Les principaux paramètres analysés à l'entrée et à la sortie de la STEP sont : le pH, la température, la conductivité électrique (CE), MES, DBO₅, DCO, les composés azotés (nitrates, nitrites, azote totale) et le phosphore totale. En effet, les paramètres analysés ont un impact direct sur l'efficacité du traitement biologique s'effectuant à la STEP et sur le milieu aquatique récepteur des eaux épurées.

V.1.4. Fréquence des analyses

La fréquence d'analyse se diffère d'un paramètre à un autre.

- Le tableau ci-dessous montre la fréquence des analyses pratiquées à la STEP de SIDI MEROUANE.

Tableau V.1 : fréquences d'analyses des différents paramètres

| Paramètre | Fréquence d'analyse |
|--------------------------------------|----------------------|
| Température | 5 fois par jour |
| le PH | 5 fois par jour |
| La conductivité électrique | 5 fois par jour |
| Les MES | Une fois par jour |
| la DBO ₅ | Une fois par jour |
| la DCO | Une fois par jour |
| les composés azotés | Une fois par jour |
| le phosphore total | Une fois par jour |
| Les MVS dans les bassins biologiques | Une fois par semaine |
| La décantabilité | Une fois par semaine |

Les méthodes d'analyses ainsi que les différents rapports entre les paramètres de pollution d'un effluent urbain strict et leurs significations sont donnés en annexes II et III respectivement.

V.2. Résultats et discussions

Les résultats d'analyses ainsi que les différents calculs sont donnés sous forme de tableaux en annexe III. Dans ce chapitre, nous les avons représentés sous forme graphique.

V.2.1. Evolution de la charge hydraulique

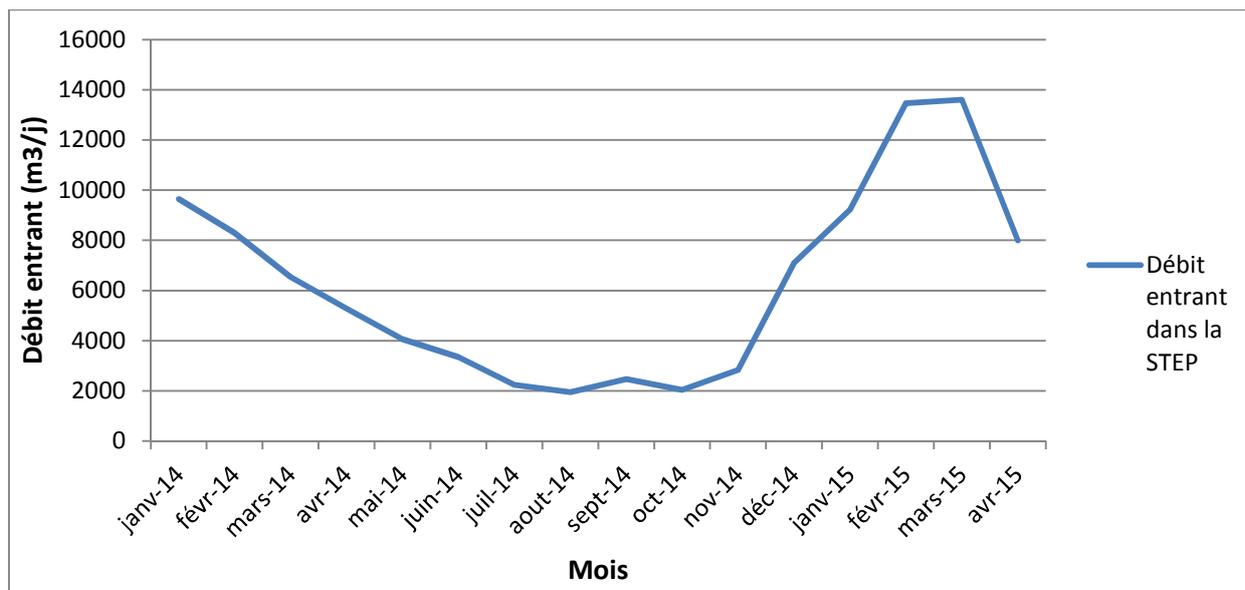


Figure V.1 : évolution moyenne mensuelle des débits des eaux brutes de la STEP.

Le débit varie selon la pluviosité durant la période étudiée. Pour l'année 2015, la quantité annuelle de précipitations a été plus élevée que l'année 2014. Par ailleurs, durant l'année 2014, nous constatons une diminution constante et progressive du débit entrant qui se stabilise par la suite pendant la période sèche allant de juillet à novembre. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées aux mois de février et mars 2015, période de pluies importantes.

A l'entrée de la station de la STEP, les débits sont donc nettement variables, allant 1941 m³/j mesuré en Août 2014 à 13606.00 m³/j en février- mars 2015 avec une valeur moyenne qui est de l'ordre de 7990.8 m³/j, représentant respectivement 9.45 %, 66.20% et 38.88% de la capacité nominale qui est de 20550 m³/j. Les débits observés sont nettement inférieurs à la capacité de la station ce qui va engendrer une augmentation du temps de séjour des ouvrages de la STEP.

V.2.2. Evolution des paramètres physico-chimiques.

a. Potentiel hydrogène (pH)

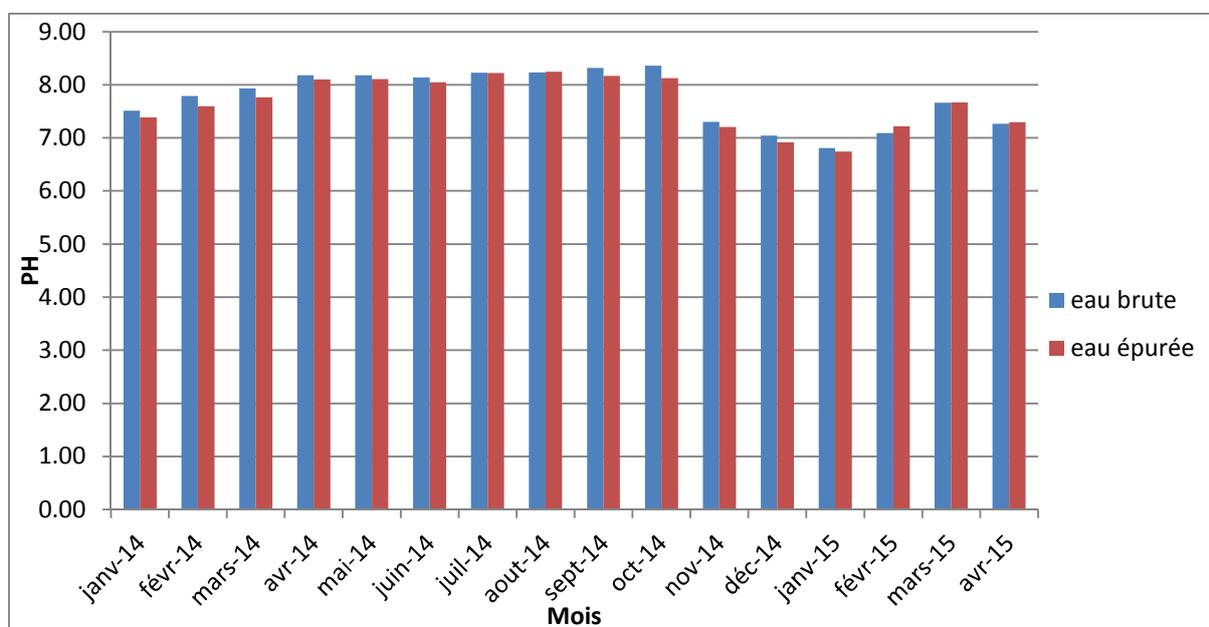


Figure V.2: Évolution moyenne mensuelle du pH à l'entrée et à la sortie de la STEP

A l'entrée de la station, les valeurs du pH varient entre 7.04 et 8.36 avec une moyenne de 7.75. Ces valeurs sont conformes à celles obtenues dans les eaux résiduaires urbaines et rentrent dans de l'intervalle favorisant le développement des bactéries épuratrices (6,5-8,5).

Pour les eaux épurées les valeurs du pH oscillent entre 6.74 et 8.24 avec une moyenne de 7.68. Une telle amplitude de pH n'aura aucun impact sur l'environnement en générale et sur la flore et la faune en particulier, vu que ces valeurs obtenues sont conformes à la norme des rejets des eaux en milieu récepteur.

b. Conductivité électrique (CE)

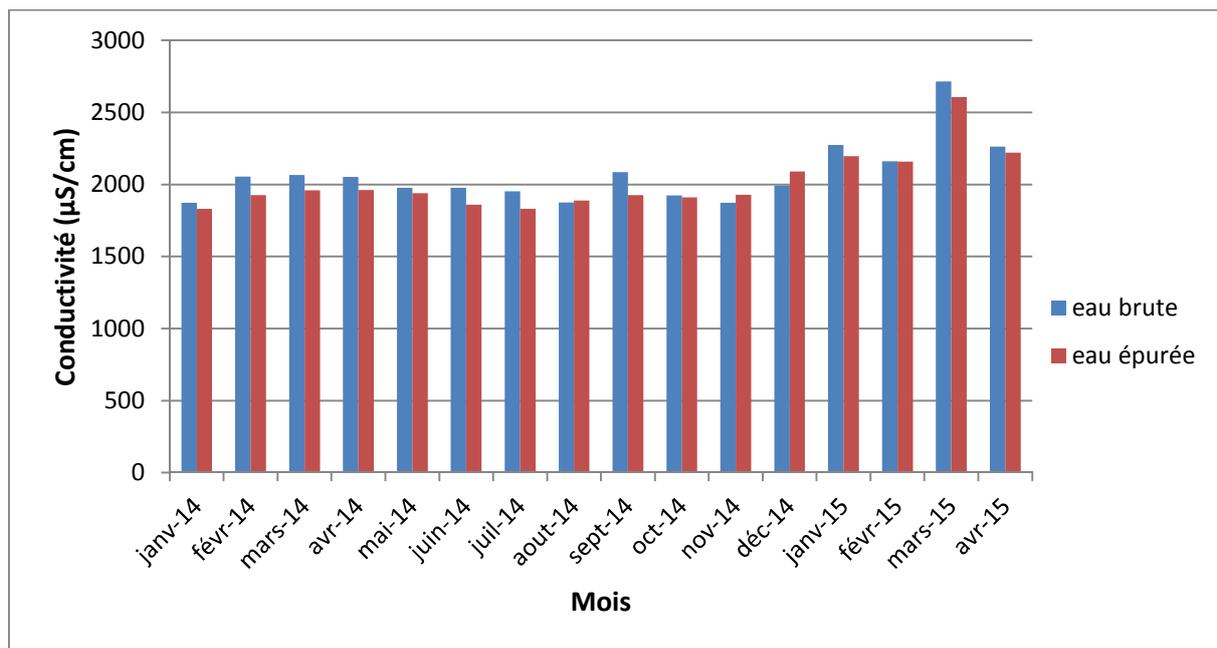


Figure V.3: Évolution moyenne mensuelle de la CE à l'entrée et à la sortie de la STEP

La conductivité électrique à l'entrée de la STEP présente des variations plus au moins importantes durant l'année 2014 et l'année 2015 ; avec des valeurs qui varient de 1872 µS/cm (janvier 2014) à 2715 µS/cm (mars 2015) et une moyenne de 2070 µS/cm.

C'est la même constatation à la sortie de la STEP avec une légère différence dans les valeurs (Les valeurs à la sortie sont inférieures à celle de l'entrée durant la période d'étude). Ces valeurs sont comprises entre 1830 µS/cm et 2600.9 µS/cm (mars 2015) avec une moyenne de 2015 µS/cm. Ces valeurs sont situées entre l'intervalle 700 et 3000 µS/cm, qui est l'intervalle de restriction légère à modérée pour la qualité des eaux d'irrigation. En effet, la valeur la plus élevée est observée au mois de mars 2015 correspondant au débit le plus important d'eaux brutes et traitées.

c. Température

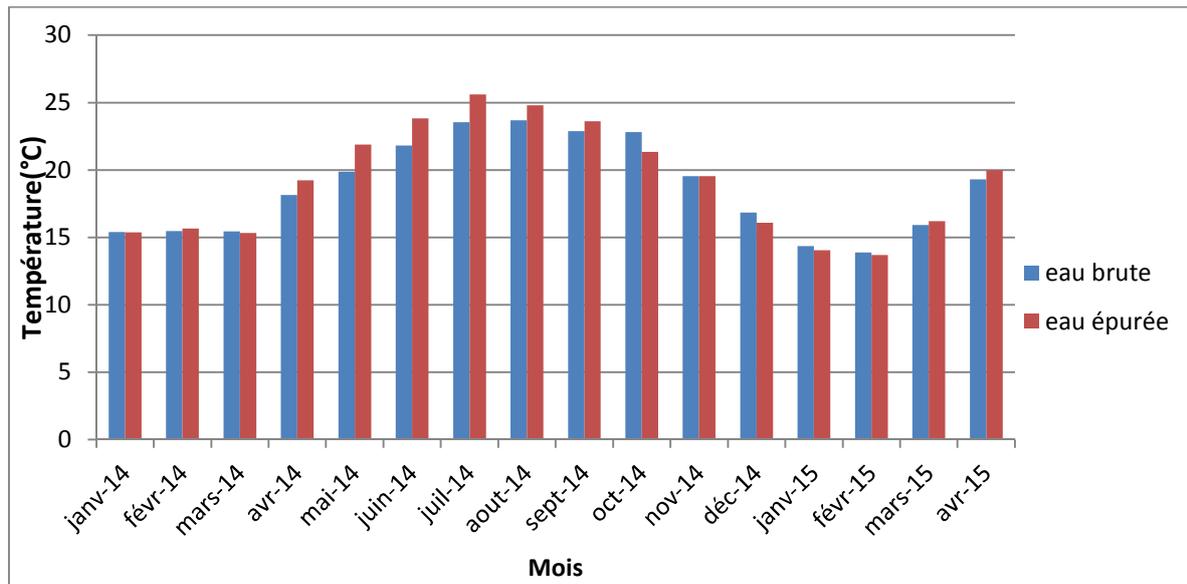


Figure V.4: Évolution moyenne mensuelle de la température à l'entrée et à la sortie de la STEP

A l'entrée de la station, la température d'eau brute varie entre 13.89°C en février 2015 et 23.79°C en août 2014, avec une valeur moyenne de 18.68°C. Les valeurs observées sont favorables à la vie des microorganismes et donc ne posent aucun problème au niveau du traitement biologique et du prétraitement notamment le déshuilage qui nécessite une température inférieure à 30°C.

Les eaux épurées ont une température moyenne de l'ordre de 19.14°C et sont légèrement supérieures à celles des eaux brutes en allant du mois d'avril au mois de septembre 2014 et pour le mois de mars de l'année 2015. La valeur minimale 13.69 est enregistrée en février 2015. Ces valeurs obtenues sont conformes aux normes de rejet qui exigent que la température d'eau épurée soit inférieure à 30°C. Toutefois, les températures obtenues en janvier et février 2014 sont supérieures à celles obtenues pour ces mêmes mois pour l'année 2015. Aussi, une telle température favorise le développement de la végétation en cas de valorisation agricole des eaux épurées.

d. Matières en suspensions (MES)

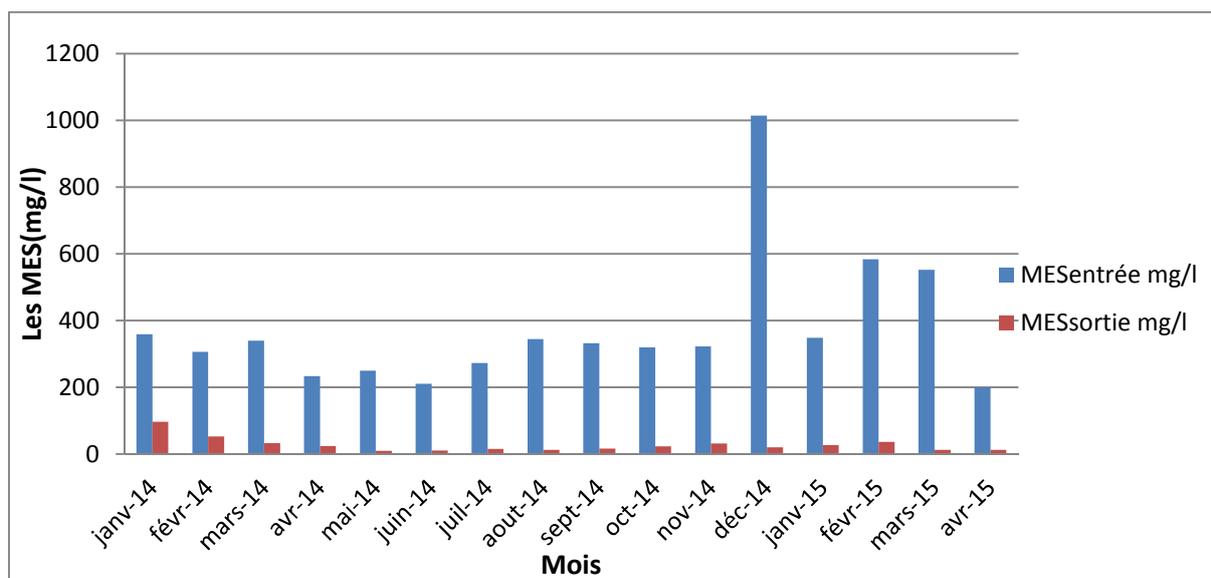


Figure V.5: Évolution moyenne mensuelle des MES à l'entrée et à la sortie de la STEP

Les eaux usées brutes arrivant à la STEP de SIDI MEROUANE sont caractérisées par une concentration moyenne de 374.56 mg/l en MES avec une concentration maximale de 1014.76 mg/l et une concentration minimale de l'ordre de 200.64 mg/l qui représente respectivement 62.43%, 169.13% et 33.44% de la capacité nominale de la STEP estimée à 600 mg/l. Il est à préciser que la valeur préconisée par le constructeur est donc respectée à l'exception du mois de décembre 2014 qui connaît un pic qui est relié à l'apport solide dans les canalisations par temps de pluie (réseau unitaire).

A la sortie de la station, les valeurs de MES oscillent entre 9.88 mg/l et 97.08 mg/l comme valeurs extrêmes minimales et maximales, respectivement, avec une moyenne de 27.25 mg/l.

Notons que durant la période d'étude, il y a des valeurs de MES à la sortie qui ne sont pas conformes à la norme des rejets prescrite dans le journal officiel de la république algérienne qui est de 30 mg/l. pendant plusieurs mois (janvier, février, mars et novembre en 2014 et février en 2015).

Le rendement d'élimination varie entre 73% et 98% avec un rendement moyen d'élimination de 92.72%. Une grande partie de ces solides est récupérée par les décanteurs.

Par ailleurs, l'élimination des MES est importante car leur présence dans l'eau contribue à des conséquences indésirables sur le milieu aquatique récepteur telles l'envasement, le colmatage des branchies des poissons, l'accumulation de polluants au sein des sédiments, la détérioration esthétique et une moins bonne transparence de l'eau (turbidité élevée).

e. Demande biologique en oxygène (DBO₅)

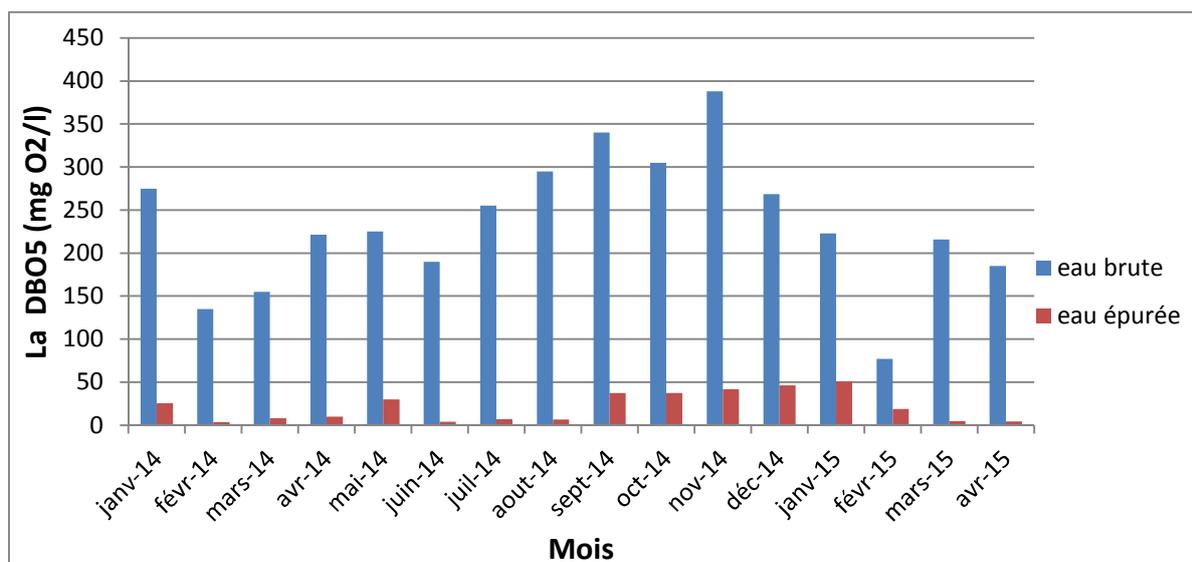


Figure V.6: Évolution moyenne mensuelle de la DBO₅ à l'entrée et à la sortie de la STEP

L'analyse des concentrations de la DBO₅ de l'eau brute aboutit à une moyenne de 234.59 mg/l avec des valeurs minimale et maximale de l'ordre de 77mg/l et 388 mg/l respectivement, alors qu'elle est conçue pour une capacité nominale de 400mg/l. Le long de la période d'étude, les valeurs moyennes mensuelles de la DBO₅ n'ont pas dépassé la capacité nominale. La faible valeur de la DBO₅ enregistrée au mois février peut être justifiée par une forte dilution (forte pluviométrie) à l'entrée de la STEP durant ce mois, ce qui est confirmé par la forte valeur du débit entrant en ce mois.

Sachant qu'en Algérie la norme de rejet de la DBO₅ est estimée à 30 mg/l, la valeur moyenne de la DBO₅ des eaux épurées au niveau de la STEP de SIDI MEROUANE est de 21.01mg/l.

Cependant, nous remarquons qu'ils existent des valeurs de la DBO₅ qui ne sont pas conformes à la norme de rejet durant une période de 5mois allant de septembre 2014 à Février 2015.

Les rendements d'abattements de la DBO₅ obtenus sont acceptables allant de 75.75% à 97.89% avec une valeur moyenne de 91.04%.

Par ailleurs, si la matière organique présente des effets néfastes pour les milieux aquatiques par la surconsommation d'oxygène de ces milieux, elle est d'un grand intérêt en irrigation. Les effets de la matière organique s'exercent principalement sur les propriétés du sol, soient physiques (stabilité structurale, aération, rétention et économie d'eau), chimiques (capacité d'échange) ou biologique.

f. Demande chimique en oxygène (DCO)

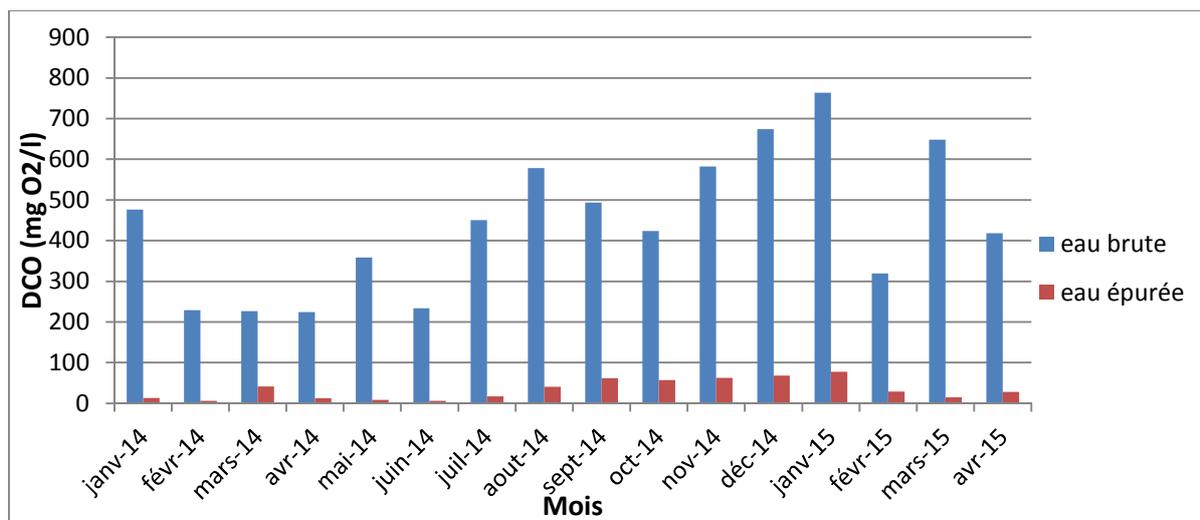


Figure V.7: Évolution moyenne mensuelle de la DCO à l'entrée et à la sortie de la STEP

Le graphe ci-dessus montre l'évolution moyenne mensuelle de la DCO qui est similaire à celle de la DBO.

Les teneurs en DCO enregistrées à l'entrée de la STEP sont comprises entre 224 mg/l (avril 2014) et 763.33 mg/l (janvier 2015), avec une moyenne de 443.85 mg/l. La capacité nominale de la STEP qui est de 933.3 mg/l a été respectée pendant la période d'étude.

À la sortie, les valeurs oscillent entre 6.5 (avril 2014) et 77.3 mg/l (janvier 2015) avec une moyenne de 34.09 mg/l, ces valeurs sont conformes à la norme algérienne comprise entre 90 mg/l et 120 mg/l.

Les rendements d'abattements de la DCO sont compris entre 81.72 % et 97.73 % avec une moyenne de 92.32%. L'objectif du constructeur est donc atteint.

g. Phosphore total Pt

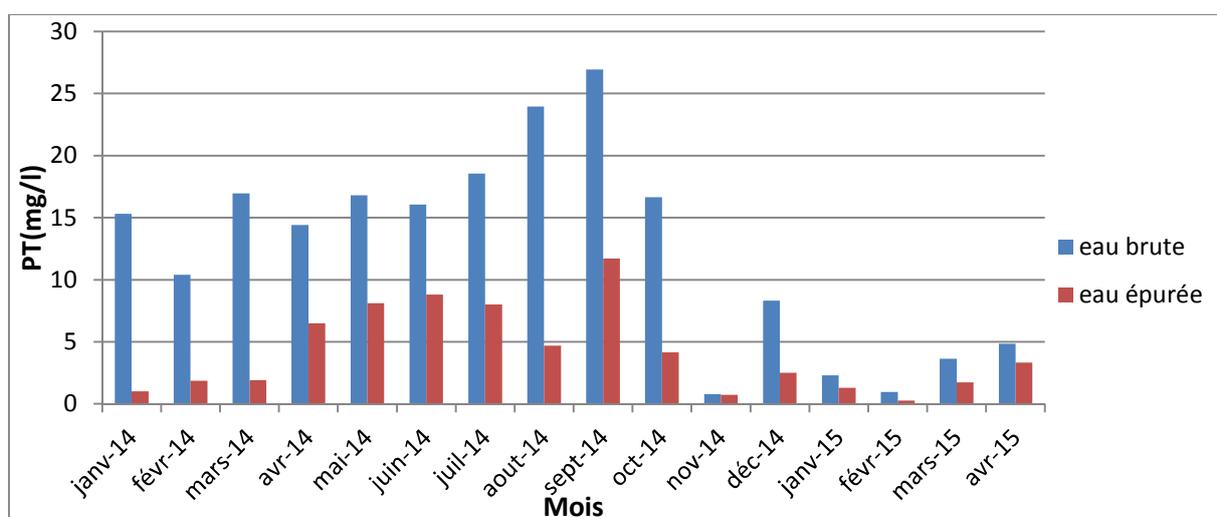


Figure V.8: Évolution moyenne mensuelle du phosphore total à l'entrée et à la sortie de la STEP

Les concentrations du phosphore total à l'entrée de la STEP varient entre 0.78 mg/l (novembre 2014) et 26.95 (Septembre 2014) mg/l avec une valeur moyenne de 12.30 mg/l. A l'exception de la valeur enregistrée en septembre 2014, toutes les autres valeurs sont inférieures à la capacité nominale de la STEP (26.67 mg/l) en termes de phosphore total.

Les concentrations en phosphore total à la sortie de la station varient entre 0.26 mg/l et 11.7 mg/l avec une valeur moyenne de 4.16 mg/l. Ainsi, ces valeurs obtenues sont inférieures à la norme algérienne qui est de 10 mg/l, mais il y'a des valeurs qui dépassent la norme fixée par l'OMS qui est de 2 mg/l. Les rendements d'abattements du phosphore total oscillent entre 7.74% et 93.46 % avec une moyenne de 66.18%. Nous constatons une performance d'élimination très variable durant les deux années étudiés.

En addition, le graphe ci-dessus révèle une nette diminution de la quantité du phosphore total à l'entrée de la STEP et ce pour les mois allant de novembre 2014 à avril 2015.

h. Azote total

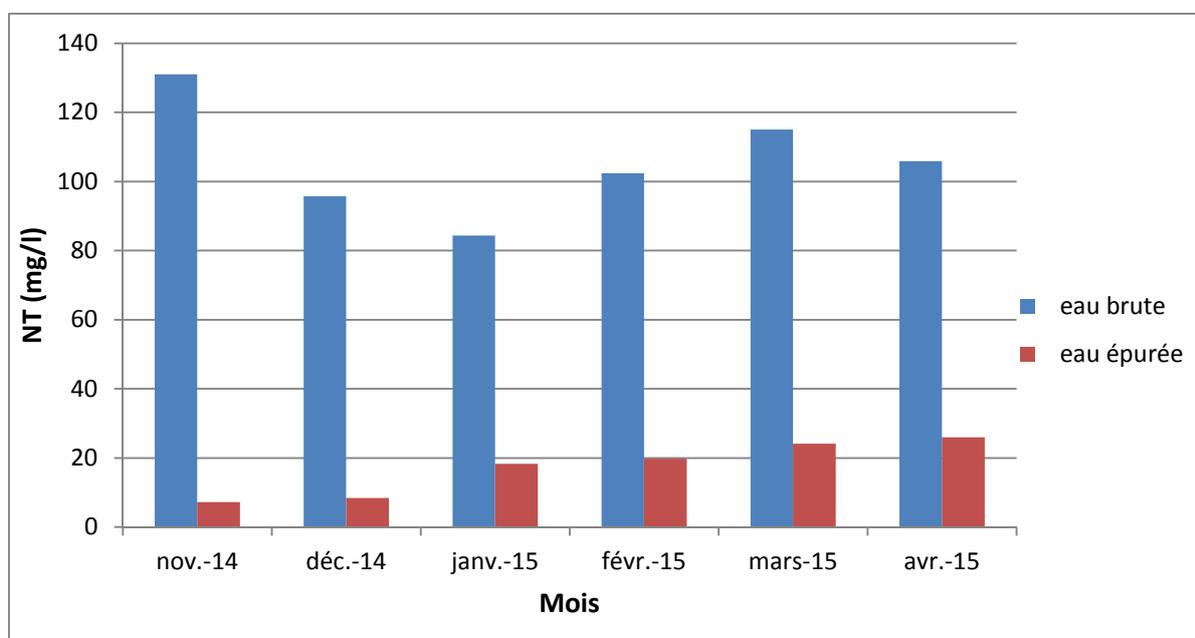


Figure V.9: Évolution moyenne mensuelle de l'azote total à l'entrée et à la sortie de la STEP

L'analyse des eaux usées à l'entrée de la STEP montre que les valeurs en azote total varient entre 84.33 mg/l (janvier 2015) et 131 mg/l (novembre 2014) avec une moyenne de 105.72 mg/l. Nous constatons que la majorité des valeurs observées dépassent la capacité nominale de la STEP qui est de 100 mg/l.

A la sortie, les concentrations en azote total oscillent entre 7.2mg/l (novembre 2014) et 25.95 mg/l (avril 2015) avec une moyenne de 17.31 mg/l. ces valeurs dépassent largement la norme fixée par l'OMS et par le journal officiel de la république algérienne qui est de 10 g/l.

Le mauvais abattement en azote est dû principalement aux fortes charges qui arrivent à la station (des concentrations en azote qui dépassent la capacité nominale) et les faibles temps de séjours enregistrées dans la zone anoxie. En effet, le rendement épuratoire moyen d'élimination de l'azote est estimé à 83.63%.

Il conviendrait de signaler que l'azote est un nutriment essentiel à l'activité biologique dans l'eau. Cependant, au-dessus d'une certaine concentration, sa présence peut entraîner des problèmes sérieux de pollution. Jumelé au phosphore, l'azote peut également mener à des problèmes d'eutrophisation, menant à des croissances excessives d'algues indésirables. En plus de diminuer la concentration en oxygène dissous dans le cours d'eau, la biomasse algale constituant alors une pollution organique, la présence accrue d'algues rend l'eau peu attrayante, de couleur verte et nauséabonde

i. L'azote ammoniacal

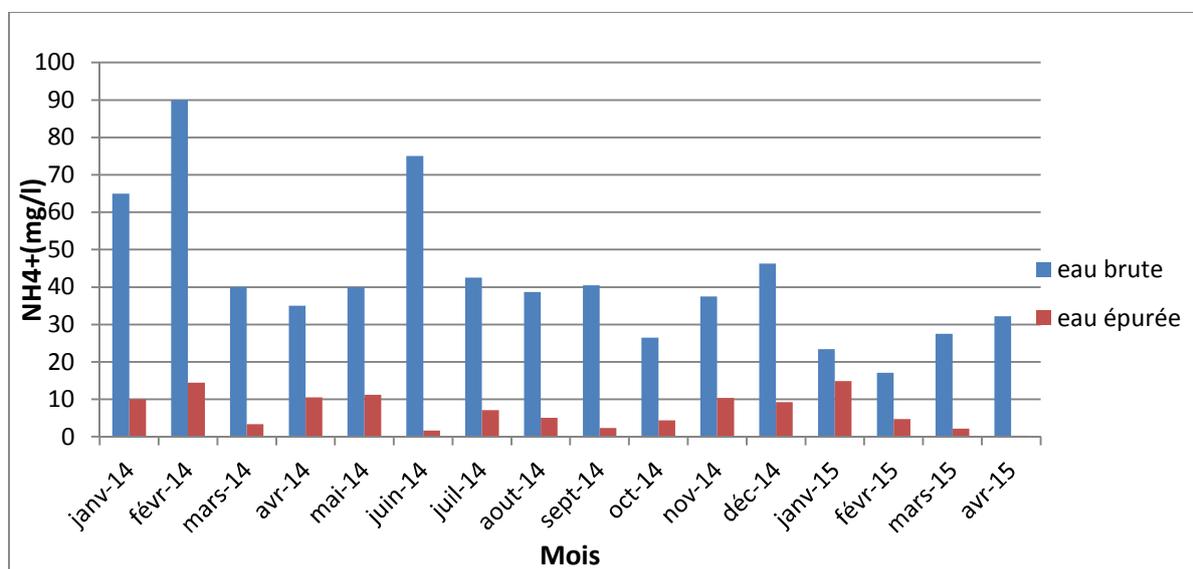


Figure V.10: Évolution moyenne mensuelle d'azote ammoniacal à l'entrée et à la sortie de la STEP

A l'entrée de la station les concentrations d'ammonium varient entre 17.07mg/l (février 2015) et 90 (février 2014) mg/l avec une moyenne de 42.32mg/l.

Ces valeurs varient avec la température.

A la sortie de la STEP, une oscillation importante des concentrations en ammonium a été observée. Allant de 0.33 mg/l (janvier 2015) à 14.93 mg/l (avril 2015) avec une moyenne de 7.01 mg/l. Dans la plupart des cas (56.25%), ces valeurs dépassent la norme fixée par l'OMS qui est de 5 mg/l. Ces fortes concentrations peuvent être justifiées par une faible nitrification suite à une aération insuffisante, des fortes charges organiques entrantes ou bien à des toxiques (des métaux tel que Cu, Ag, Pb...) inhibant l'activité des bactéries nitrifiantes

j. Les nitrates

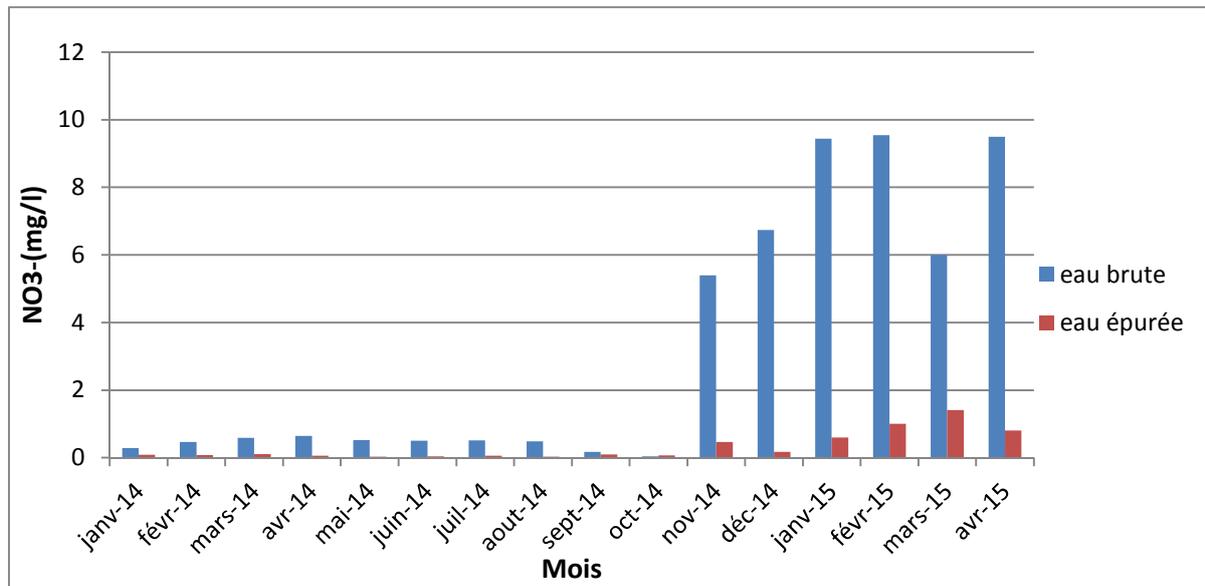


Figure V.11: Évolution moyenne mensuelle des nitrates à l’entrée et à la sortie de la STEP

Les nitrates représentent la forme d’azote présent dans l’eau. L’histogramme des teneurs en nitrates dans la STEP de SIDI MEROUANE montre qu’à l’entrée les valeurs sont comprises entre 1.43 mg/l (janvier 2015) et 29.75 mg/l (septembre 2014) avec une moyenne de 14.14mg/l.

A la sortie, des variations considérables ont été enregistrées allant de 1 mg/l (janvier 2015) à 11.35mg/l (septembre 2014) avec une moyenne de 4.87mg/l, un seul dépassement de la norme fixée par l’OMS 10mg/l est enregistré.

V.2.3. Autres paramètres

a. Indice de boue

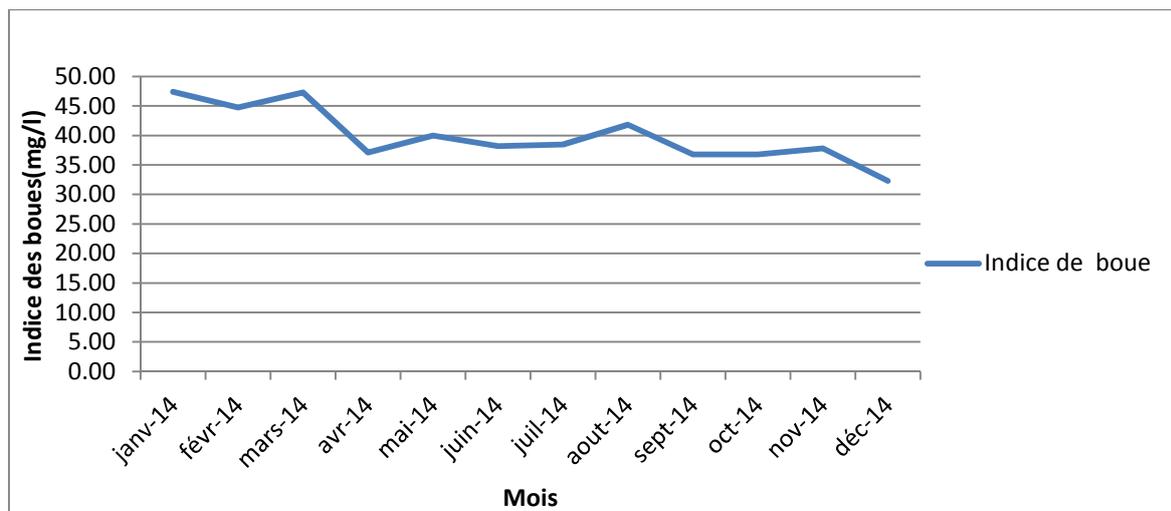


Figure VI.12: Évaluation moyenne mensuelle de l’indice de boue.

L'indice des boues est utilisé pour apprécier l'aptitude des boues à la décantation, suivre l'évolution de son aptitude à décanter lors d'un traitement spécifique (chloration...) et prévenir d'éventuelles pertes de boues liées au dépassement des capacités hydrauliques du clarificateur.

Les valeurs de l'indice des boues (de mohlman) obtenues pendant la période d'étude sont comprises entre 32.3mg/l et 47.41ml/g avec des variations plus au moins importantes donnant ainsi une moyenne de 39.89mg/l. Ces résultats sont <50 ml/g, donc la sédimentation des boues dans le décanteur secondaire s'effectue difficilement. En effet les boues ne sont pas assez concentrées et la décantation est très lente mais les boues sont faciles à pomper.

Tandis que pour un indice de boue entre 50 et 80 ml/ la décantation est rapide.

b. Quantité du sable récupéré

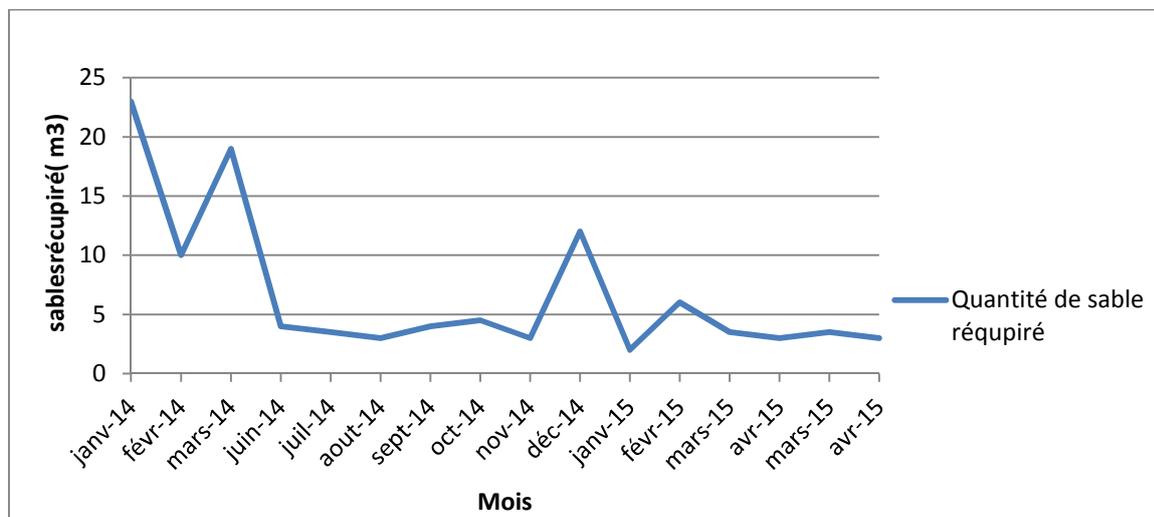


Figure VI.13: Évaluation moyenne mensuelle de la quantité du sable récupéré dans la STEP

Durant ces deux dernières années une quantité de sable récupéré au niveau de la STEP varie entre 2 m³/mois et 23 m³/mois avec une moyenne de 6.69 m³/mois. Cela confirme les valeurs des MES enregistrées le long de l'étude qui ne dépassent pas la capacité de la STEP. Notons que.

c. Volume des déchets récupérés par dégrillage

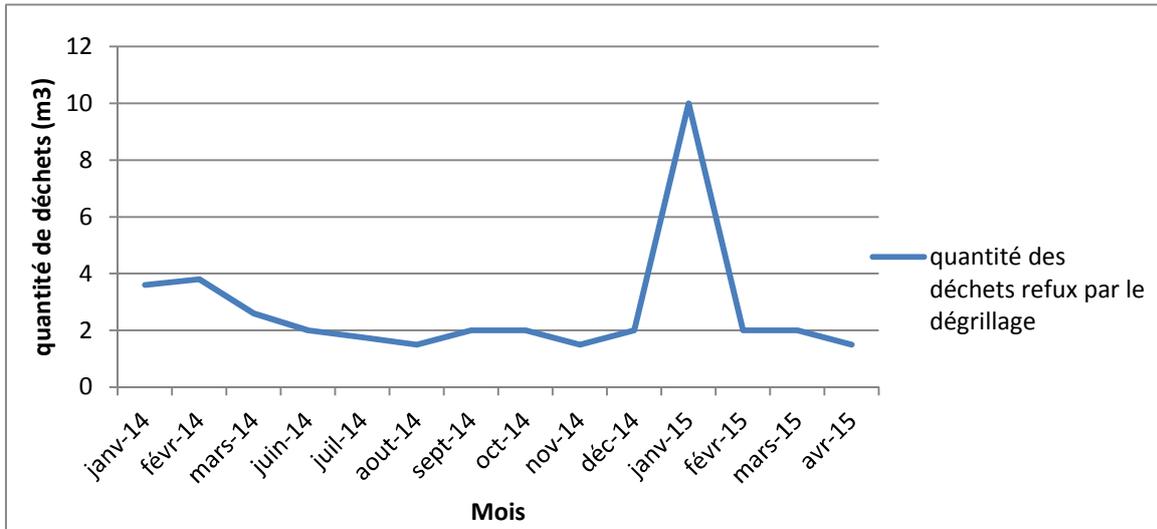


Figure VI.14: Évaluation moyenne mensuelle de la quantité des déchets récupérés dans la STEP

Durant ces deux dernières années la quantité moyenne de détritrus récupéré au niveau de la STEP est de 2.73m³/mois. Le volume le plus faible étant de 1.5 m³/mois et le plus élevé atteint 10 m³/mois. Ce pic est observé en janvier 2015. Cette valeur est justifiée par un curage du réseau unitaire par les forts débits par temps de pluie.

Notons que la valeur moyenne ne dépasse pas la valeur estimée lors du dimensionnement de la STEP qui est de 3.6 m³/mois

d. Siccité des boues déshydratées

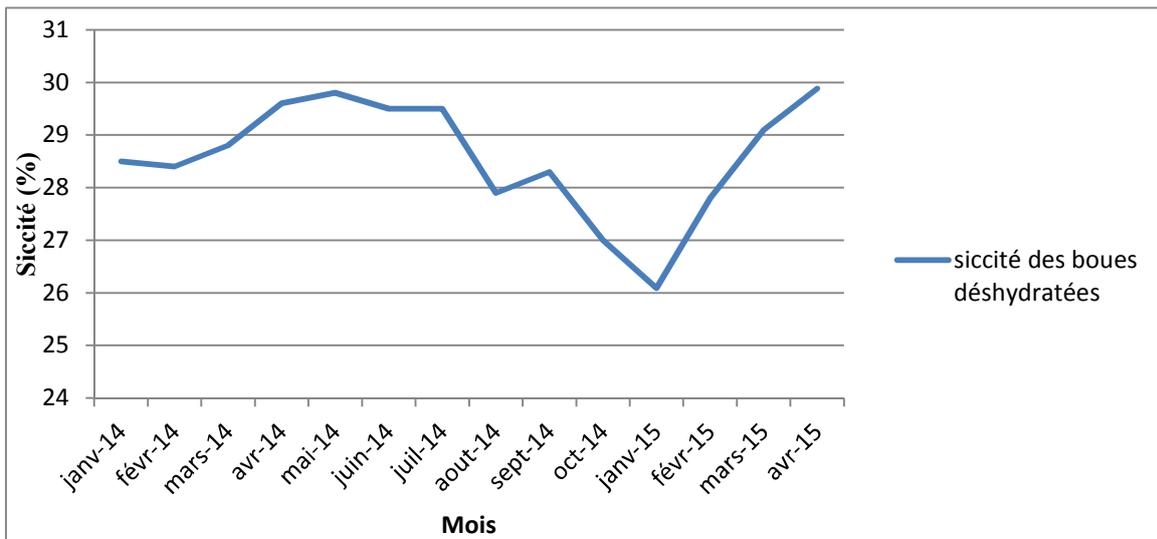


Figure VI.15: Évaluation moyenne mensuelle de siccité des boues déshydratées

La valeur de la siccité des boues déshydratées balancent entre 26.09% comme valeur minimale et 29.88% comme valeur maximale durant les deux années d'analyse avec une valeur moyenne de 28.58%. Ces valeurs sont largement supérieures à la norme de conception de la STEP qui est de 18%, ces résultats peuvent être justifiés par le fait que la quantité des boues produites est nettement inférieure à la quantité théorique.

V.2.4. Interprétation des indicateurs de performances (ratios)

a. Indice de biodégradabilité : rapport DCO/DBO5

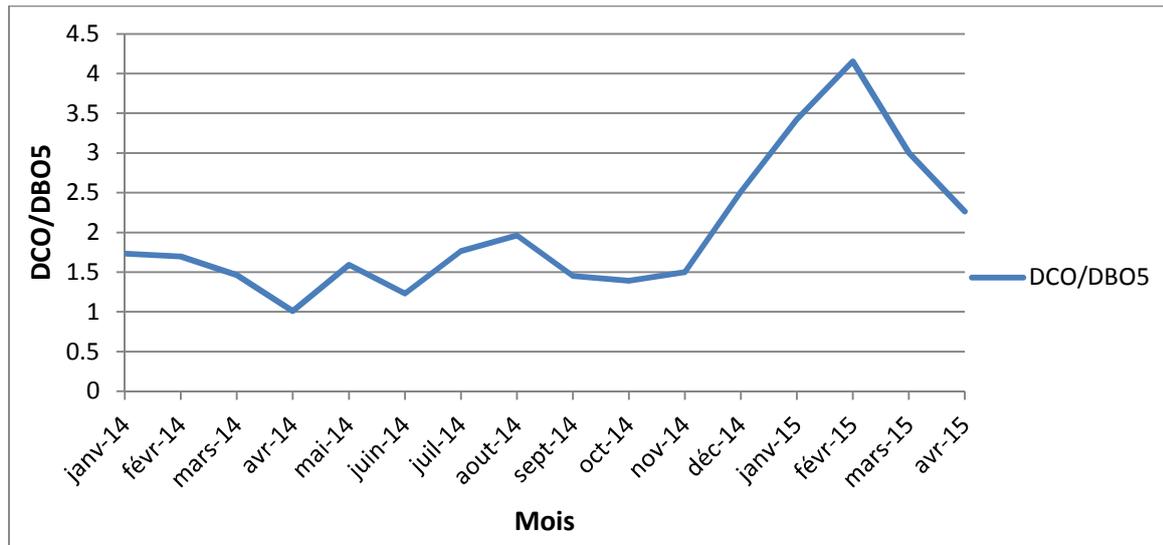


Figure V.16: Variation du rapport DCO/DBO5 à l'entrée de la STEP

Ce rapport représente la biodégradabilité de l'effluent. Pour notre station, il est compris entre 1.01 et 4.15 avec une moyenne de 2.01 à l'entrée de la station, caractéristique d'un effluent domestique. La valeur moyenne, nous permet de déduire que la matière organique de l'effluent est biodégradable, donc un traitement biologique est suffisant.

La proportion de matière organique des rejets urbains de temps de pluie est plus importante en temps sec qu'en temps de pluie. PHILIPPE et RANCHET (1987) trouvent des valeurs du rapport DCO/DBO5, obtenues sur des réseaux unitaires lors d'événement pluvieux, comprises entre 3,5 et 5,2. Ce rapport est habituellement voisin de 2,5 par temps sec. Ceci signifie donc que les effluents de temps de pluie sont moins biodégradables que les effluents de temps sec. Cette situation est confirmée par les résultats obtenus en 2015.

b. Equilibre nutritionnel

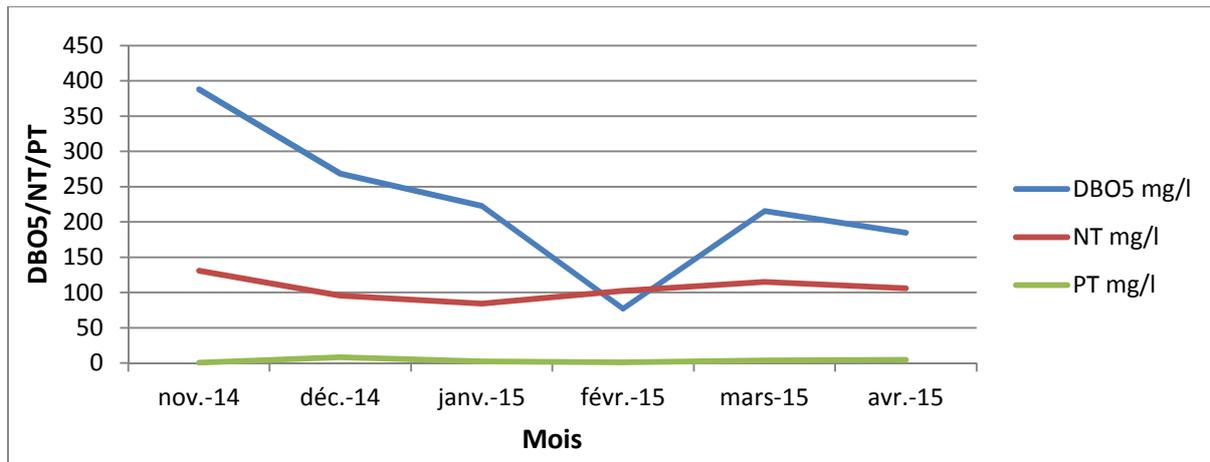


Figure V.17 : Évolution moyenne mensuelle du rapport DBO₅/ NT/ PT à l'entrée de la STEP

Le rapport C/N/P exprime l'équilibre nutritionnel. Le métabolisme bactérien s'accompagne des besoins azotés sous forme d'azote ammoniacal et de besoins phosphorés sous forme d'orthophosphates dans des formes bien précises. Dans le cas d'une station d'épuration des eaux usées type aérobie, le ratio C/N/P doit être de 100 /5/1.

Notons que les composés carbonés sont déterminés via la DCO, la DBO₅ et le COT. Pour notre cas, nous avons calculé le ratio avec la DBO₅.

Dans le cas de la STEP de SIDI MEROUANE, pour une concentration en DBO₅ de 100 mg/l, les concentrations moyennes en N_T et P_T sont de 8.23 mg/l et 1.53 mg/l respectivement.

Ces valeurs représentent des hausses de 164% pour le N_T et de 153 % pour P_T par rapport au ratio théorique. Ces concentrations élevées en N_T et P_T provoquant pour la biomasse de la station en aval des déséquilibres nutritionnels. Pour conclure, on peut dire qu'il y a un excédant en azote et en phosphore à éliminer.

c. MES/DBO5

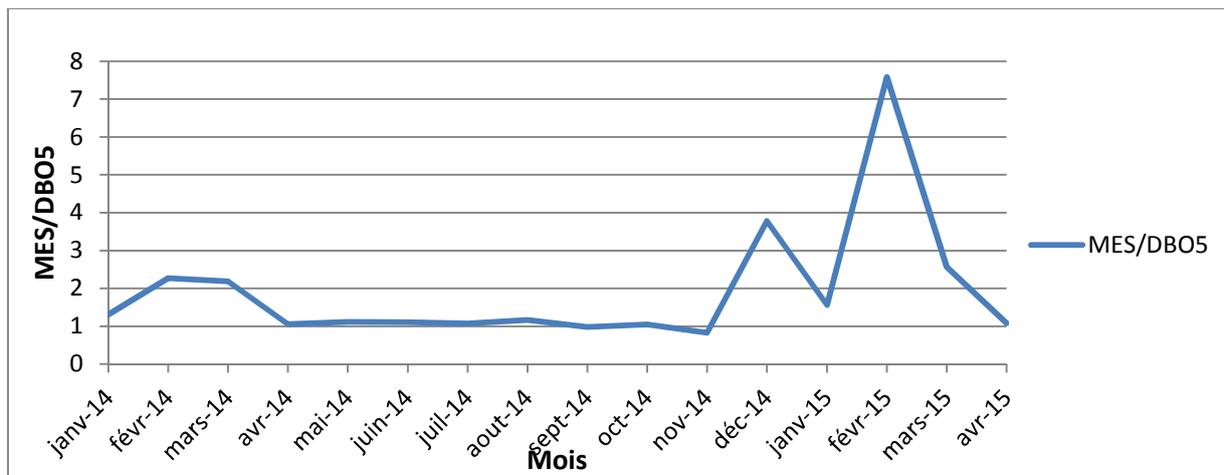


Figure V.18: Variation du rapport MES/DBO₅ à l'entrée de la STEP

Ce ratio, indique la répartition de la pollution particulière par les MES et de la pollution dissoute représentée par la DBO₅. Les valeurs enregistrées varient entre 0.83 et 7.59 avec une moyenne de 1.92. Nous remarquons que le taux de la pollution de ces eaux est plutôt particulière, ce qui caractérise un réseau essentiellement unitaire. Il conviendrait de préciser que sur les 16 mois étudiés 11 mois ont des valeurs conformes à celles obtenues pour des eaux usées urbaines et qui varient dans l'intervalle 1 à 1.3 pour un réseau unitaire. Aussi, deux analyses font que ce ratio a une valeur importante, la première pour une concentration en MES anormalement élevée, et la seconde pour une concentration en DBO₅ anormalement faible ; ce qui est relevé au mois de février 2015 dans notre station. Par ailleurs, la grande variabilité des données observée de novembre 2014 à avril 2015 est due à l'impact de la pluviométrie et des phénomènes de lessivage de réseau.

d. Ratio DCO/PT

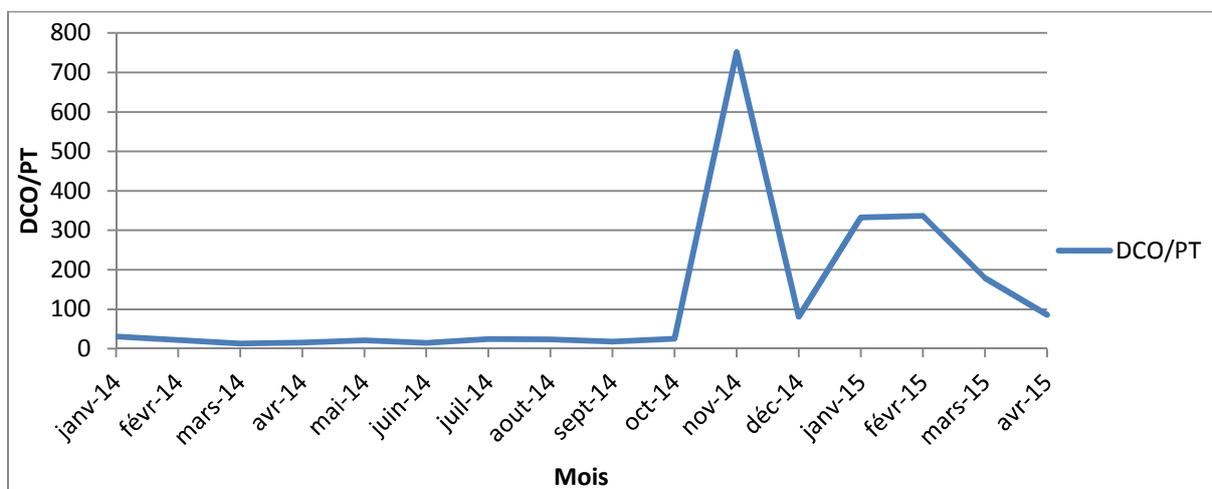


Figure V.19 Variation du rapport DCO/PT à l'entrée de la STEP

Le rapport DCO/Pt indique la possibilité du traitement biologique du phosphore. Concernant notre station, les valeurs oscillent entre 13.39 et 751.61 avec une valeur moyenne de 123.57. La valeur moyenne obtenue est largement supérieure à la valeur limite qui est de 50 mais les valeurs sont très variables, ce qui explique l'instabilité du rendement d'élimination du phosphore. En effet, la déphosphatation biologique est efficace en présence d'une quantité suffisante de la DCO facilement biodégradable.

On remarque aussi que ce rapport est sensiblement variable pendant la période entre janvier 2014 et octobre 2014 et les valeurs sont inférieures à 50 par contre entre octobre 2014 et mai 2015 les valeurs sont nettement supérieures à 50.

Le rapport élevé de DCO/Pt indique une bonne aptitude au traitement biologique du phosphore, excluant ainsi l'installation d'un poste de traitement physicochimique au sein de la station.

e. Ratio DCO/NT

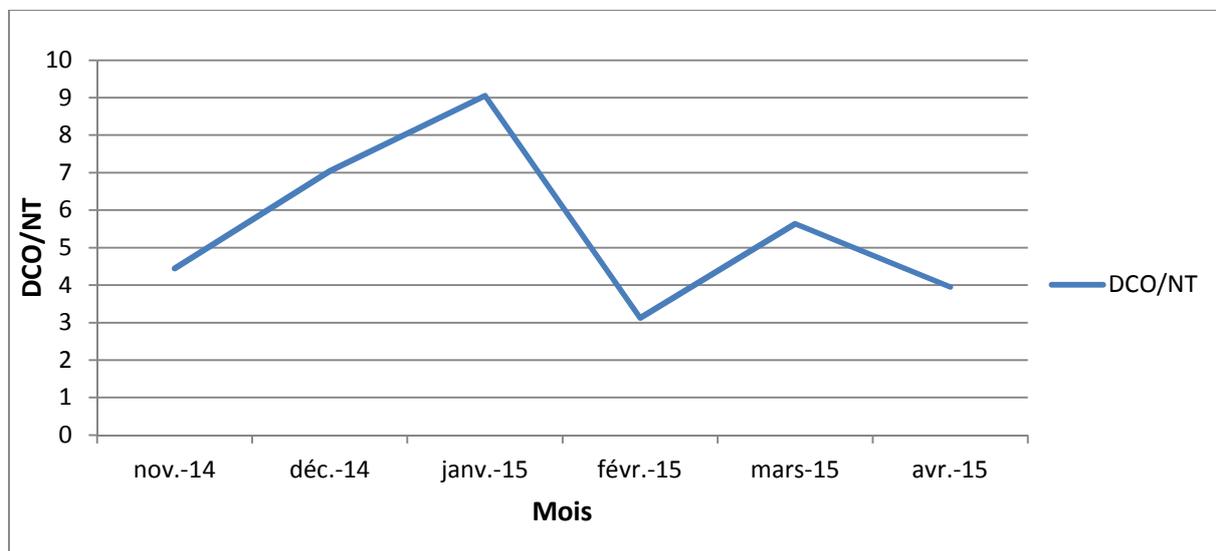
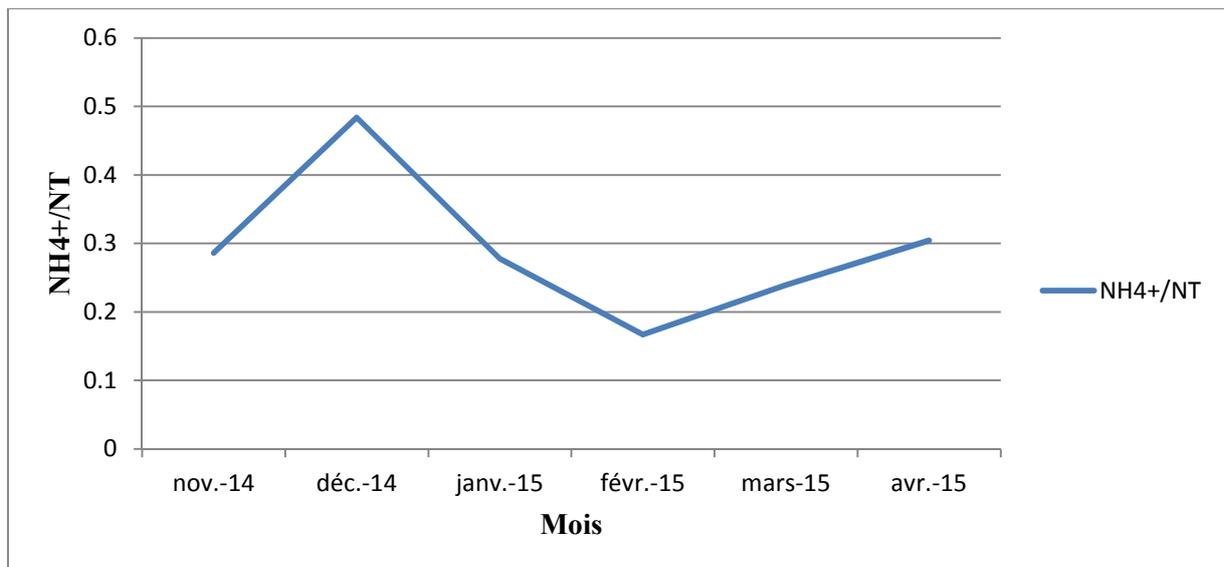


Figure V.20 : Variation du rapport DCO/NT à l'entrée de la STEP

Ce ratio indique les possibilités et la faisabilité de la réaction de nitrification et donne une idée générale sur le taux d'abattement de l'azote. Le rapport DCO/NT est d'environ 4 à 5 pour un effluent urbain.

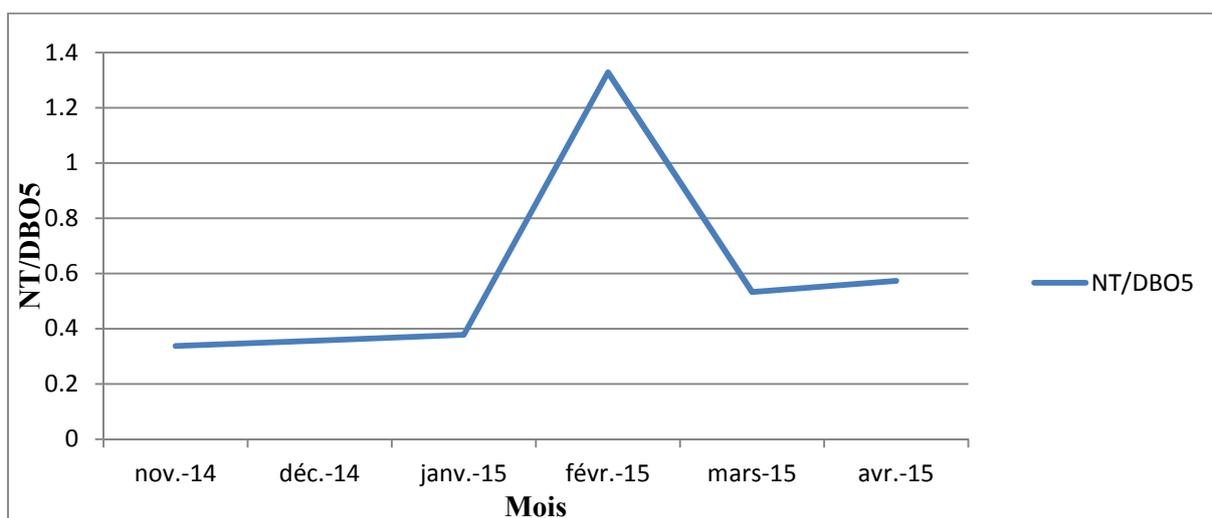
Les valeurs obtenues du ratio DCO/NT sont très variables et comprises entre 3.12 et 9.05 avec une moyenne de 5.54. En effet, ces valeurs importantes et non stables sont dues à des variations arbitraires des charges polluantes à l'entrée de la STEP causées par des événements pluvieux importants.

Il est à noter que plus ce rapport est élevé plus la vitesse de nitrification est faible.

f. Ratio NH_4^+/NT **Figure V.21.:** Variation du rapport NH_4^+/NT à l'entrée de la STEP

Ce ratio caractérise la pollution azotée de l'effluent et indique le degré d'ammonification durant le transfert de l'eau dans le réseau. Les résultats obtenus varient entre 0.16 et 0.48 avec une moyenne de 0.29.

Les résultats obtenus montrent que la transformation de l'azote organique en azote ammoniacal qui est la forme d'azote la plus soluble utilisée par les bactéries épuratrices est faible.

g. Ratio NT/DBO_5 **Figure V.22 :** Évolution moyenne mensuelle du rapport N_T/DBO_5 à l'entrée de la STEP

Une dénitrification efficace suppose une certaine proportion en composés carbonés facilement biodégradables. Dans les eaux usées urbaines le rapport N/DBO₅ est de 0.2 à 0.5, ce rapport estime aussi la cinétique de dénitrification. S'il descend en-deçà, le processus de dénitrification ne s'effectue pas complètement, ce qui se traduit par des valeurs accrues en termes de nitrates.

Dans notre cas les valeurs oscillent entre 0.34 et 1.33 avec une moyenne de l'ordre de 0.58. On constate que les valeurs sont comprises dans l'intervalle pendant la période du novembre 2014 à janvier 2015 ce qui implique une dénitrification efficace au niveau de la STEP. A partir du mois de février 2015 jusqu'au mai 2015 les valeurs sont supérieures à 0.5.

Les résultats obtenus montrent une efficacité de la dénitrification à condition de l'existence d'une quantité suffisante de DBO₅.

h. Ratio quantité polymère consommée kg/quantité boue réelle T

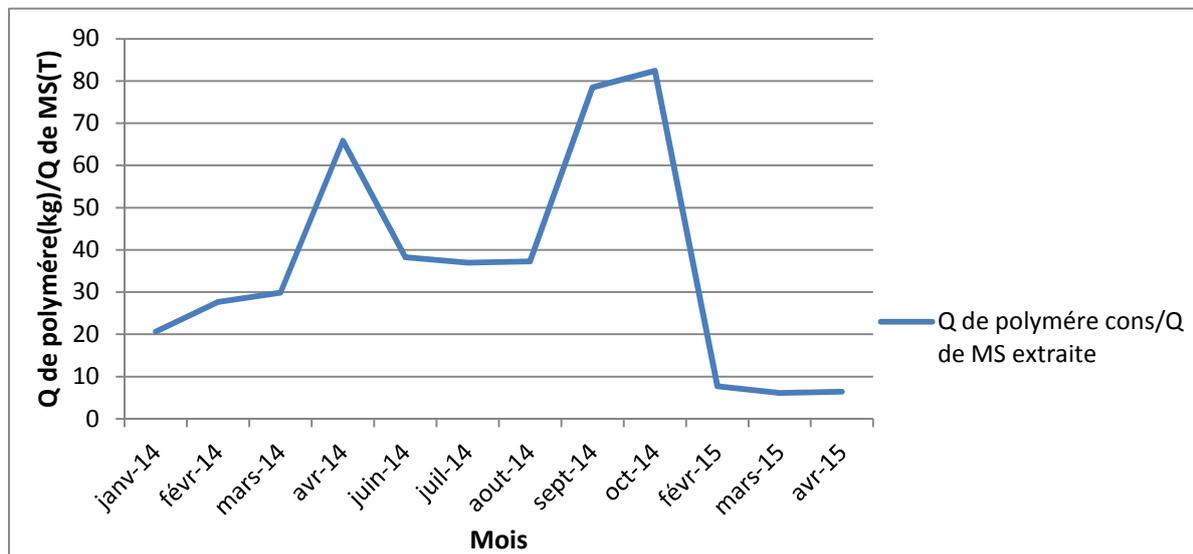


Figure V.23: Variation du rapport quantité polymère consommée/ quantité boue de matière sèche extraite

L'ajout en polymère dépend principalement de la nature de la boue et la méthode utilisée pour le traitement de cette dernière. Le taux de traitement en polymère s'exprime en kg de polymère par tonne de matière sèche obtenue, sachant que l'injection se fait au niveau de la table d'égouttage (épaississement).

Les valeurs obtenues au niveau de la STEP de SIDI MEROUANE oscillent entre 6.14 et 82.42 avec une moyenne de 36.46 sachant que la valeur limite est de 10 (valeur à ne pas dépasser). Les variations arbitraires du ratio sont dues au non maîtrise de l'injection de polymère.

i. Ratio consommation d'énergie électrique (kW)/m³ volume d'eau traité dans la STEP

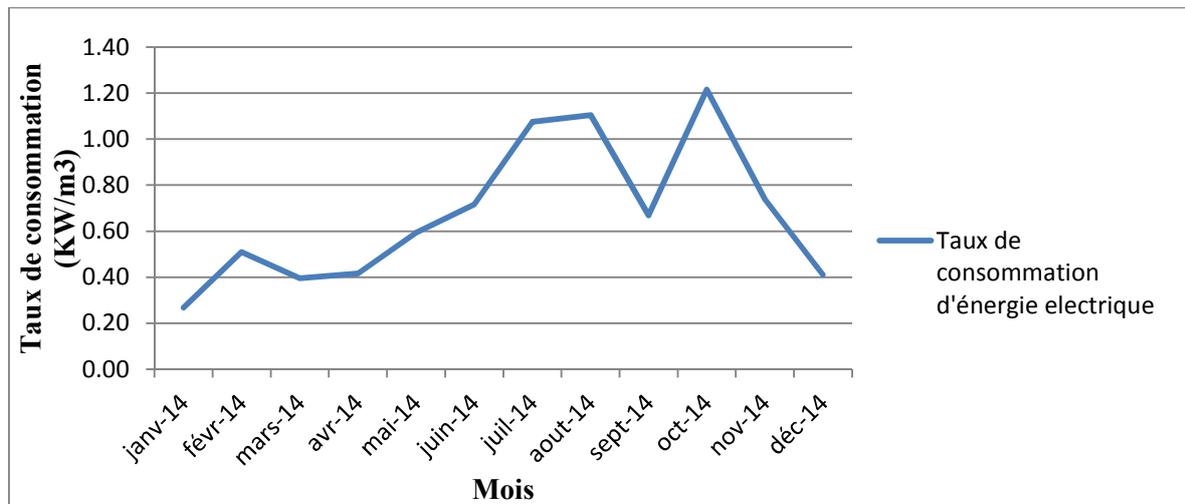


Figure V.24 : Variation consommation d'énergie électrique/ volume d'eau traité dans la STEP

Le graphe ci-dessus représente la variation de la consommation d'énergie électrique par rapport au volume d'eau traité dans la STEP. Nous remarquons que ce ratio est instable et très variable le long de la période d'étude, les valeurs oscillent entre 0.27 kW /m³ et 1.22 kW /m³ avec une valeur moyenne de 0.68 kW /m³ donc on peut conclure que la consommation d'énergie n'est compatible avec le volume d'eau traité, ce qui indique une mauvaise gestion d'énergie électrique au niveau de la STEP.

V.2.5. Valorisation agricole des boues de la STEP

Pour pouvoir utiliser les boues d'épuration pour des fins agricoles, certaines conditions doivent être respectées. Pour notre cas, on s'intéresse aux éléments traces métalliques

Les ETM sont naturellement présents dans le sol et certains sont même indispensables aux plantes.

Toutefois, une teneur importante de ces ETM dans les boues d'épuration pourrait à long terme entraîner des accumulations incompatibles avec la qualité des cultures. Qui devient une fatalité pour la croissance de ces derniers et même un danger pour la santé.

Pour la bonne utilisation des boues, des concentrations limites en éléments traces métalliques (ETM) ont été fixés.

Le tableau suivant illustre les valeurs limites internationales des différents ETM:

Tableau V.2 : concentrations limites internationales en ETM des boues

| Elément | Valeurs limites BOUES (mg/kg,MS) |
|---------|----------------------------------|
| Cadmium | 20-40 |
| Cuivre | 1000-1750 |
| Nikel | 300-400 |
| Zinc | 2500-4000 |

Au niveau de la STEP de SIDI MEROUANE, l'analyse des ETM des boues produites se fait Une seule fois par an. Les résultats obtenus durant les deux années d'étude(2014,2015) sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau V.3 : les concentrations en ETM au niveau de la STEP de SIDI MEROUANE (2014,2015).

| Elément | Valeurs (mg/kg, MS) | |
|---------|---------------------|------|
| | 2014 | 2015 |
| Cadmium | 1.73 | 2 |
| Cuivre | 57.53 | 66 |
| Nikel | 33.16 | 38 |
| Zinc | 308 | 322 |

Du tableau ci-dessus on constate que l'ensemble les concentrations obtenues est favorable à un épandage agricole des boues sans avoir un effet négatif sur les cultures. On remarque aussi que les concentrations de tous les éléments sont plus élevées en 2015 qu'en 2014.

Conclusion

D'après les résultats obtenus lors des différentes analyses effectuées sur les eaux brutes et les eaux traitées pendant les deux années d'étude 2014 et 2015, on a détecté les problèmes suivants :

- ❖ Problème de nitrification.
- ❖ Une mauvaise décantation des boues.
- ❖ L'élimination insuffisante du phosphore.
- ❖ L'élimination insuffisante d'azote.
- ❖ La non maîtrise de l'injection de polymère.
- ❖ La quantité de boues produite est faible.

Chapitre VI

Solutions proposées pour l'amélioration du fonctionnement de la STEP

Introduction

L'étude effectuée dans les chapitres précédents nous a permis de faire un diagnostic sur les installations existantes dans la STEP de SIDI MEROUANE. Plusieurs anomalies ont été détectées ce qui génèrent des perturbations de fonctionnement épuratoires de la station. Dans ce chapitre on propose des solutions pour l'amélioration du rendement de la STEP.

VI.1. L'auto-surveillance au niveau de la STEP

On a constaté que certains paramètres importants ne sont pas mesurés au niveau de la STEP de SIDI MEROUANE. Et pour agir en conséquence on propose les recommandations suivantes:

- ✓ Étalonage du débitmètre à la sortie de la STEP.
- ✓ Du fait que la mesure des concentrations en métaux lourds se fait une fois par an pour les boues uniquement et ne détermine que certains éléments seulement, l'équipement de laboratoire avec un matériel adéquat s'avère nécessaire afin de permettre de faire une mesure régulière que ça soit aussi bien pour les boues que pour les eaux. Ceci afin d'assurer un bon suivi et de détecter les excès en métaux lourds.
- ✓ La mesure des MVS et la décantabilité chaque jour au lieu d'une par semaine.
- ✓ Souhaiter à faire la mesure de et l'azote Kjeldahl total au niveau de la station.
- ✓ Le remplacement de le DBO mètre de la STEP est nécessaire pour permettre la mesure de DBO5 au niveau de la STEP et évité de transporter l'échantillon chaque jour jusqu'au STEP de CHELGHOU M LAID pour l'analyse de ce paramètre.
- ✓ Veiller sur des quantités de polymère à injecté.
- ✓ Le débit d'air à injecté dans le bassin d'aération doit être étudié pour optimiser la nitrification.

VI.2. Dysfonctionnements observés et recommandations exigés

VI.2.1. Apparition algale à la surface du clarificateur

a) Problématique

La prolifération incontrôlée des algues est à éviter le plus possible parce qu'elle présente un risque de créer un déficit en oxygène dissous et des variations importantes de PH de l'eau.

L'apparition algale à la surface de clarificateur peut être causée par :

- une mauvaise élimination des sels nutritifs (azote et phosphore)
- La température est trop élevée : les grandes chaleurs favorisent le développement d'algues dans l'eau.[20]

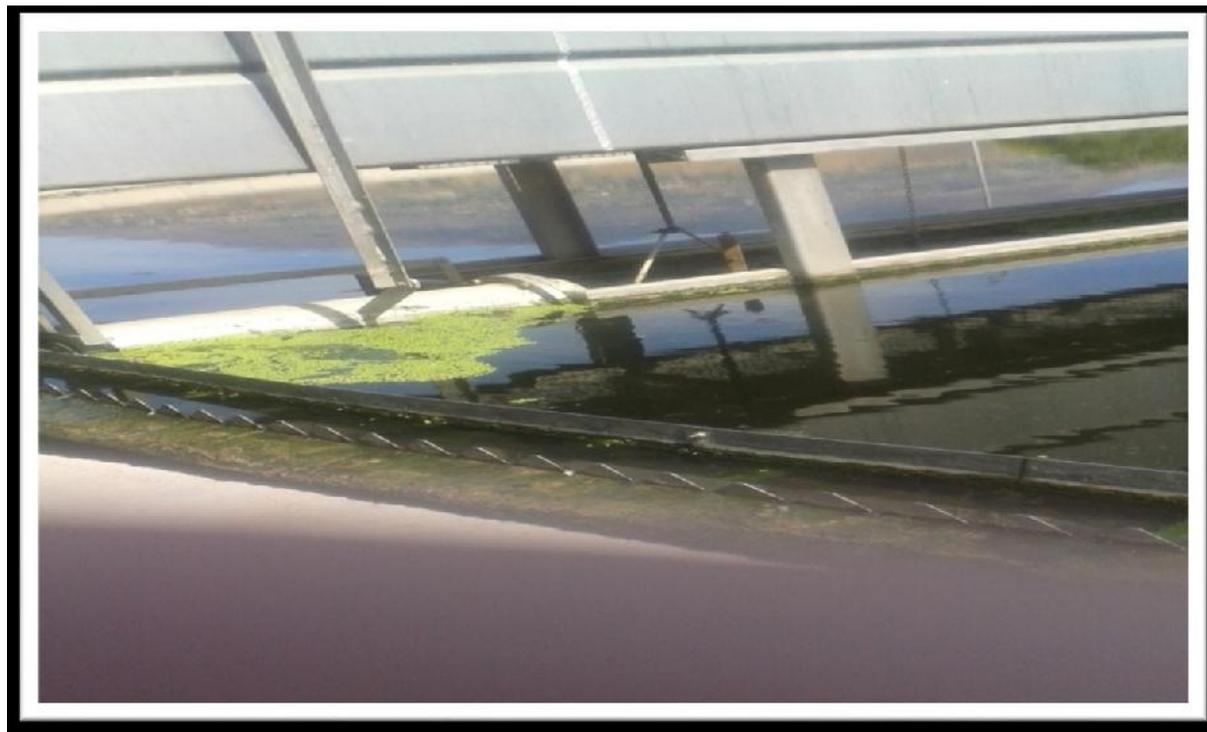


Figure VI.1 : apparition algale à la surface du clarificateur de la STEP de SIDI MEROUANE

b) Solutions proposées

L'élimination peut se faire par deux façons :

- Un raclage de surface, cette solution est aisée et ne provoque aucun danger de ce qui concerne la qualité des eaux épurées, mais elle n'assure pas une élimination définitive de ces végétaux.
- Utilisation des algicides chimiques, les plus communs sont le sulfate de cuivre, le chlorure de benzalkonium et la simazine

Le sulfate de cuivre c'est le plus utilisé puisque c'est le plus abondant et le moins toxique.

Il ne faut pas exagérer dans l'utilisation de ce produit et il faut bien métriser les concentrations d'injection ($0.4\text{g}/\text{m}^3$ c'est la concentration idéale) pour éviter :

- L'accumulation du cuivre dans les boues et le risque engendré en cas d'épandage agricole.
- Une concentration résiduelle élevée qui peut endommager le milieu récepteur des eaux épurées.
- Les risques de santé publique dans le cas de la réutilisation des eaux épurées.

VI.2.2 Arrêt des deux dégrilleurs automatiques (grossier et moyen)

Les grilles ne sont pas colmatées, le dysfonctionnement est au niveau du dispositif de nettoyage de chacun des dégrilleurs. Il faut une réparation ou un remplacement de ce dispositif pour assurer le fonctionnement des deux dégrilleurs à nouveau et éviter les problèmes qui vont être provoqués en cas d'arrêt de l'un des dégrilleurs manuels ou les deux.



Figure VI.2 : dégrilleur grossier automatique en arrêt.



Figure VI.3 : dégrilleur moyen automatique en arrêt.

VI.3. Solution pour un abattement supplémentaire de la pollution azotée et phosphorée

Afin d'améliorer les rendements d'élimination vis-à-vis de la pollution azotée et phosphorée, nous proposons l'installation d'une lagune de finition à macrophytes à la fin de la chaîne de traitement.

VI.3.1 Aperçu sur le lagunage de finition à macrophytes

Les lagunes à macrophytes sont utilisées en phase finale, dans ces lagunes on utilise des plantes aquatiques macroscopiques visible à l'œil nu, qui peuvent être immergées, flottantes ou enracinées. Elles ont un pouvoir épuratoire par absorption des éléments nutritifs (azote et phosphore). Ces végétaux ont une croissance rapide et connaissent leur optimum écologique dans les climats chauds et tropicaux. Parmi ces plantes nous choisirons celles qui sont disponibles dans la région (iris, roseaux, joncs, laitue d'eau.).

Pour notre cas on peut utiliser les roseaux qui sont les adaptés pour le climat humide de la région, ce sont des plantes qui ont une hauteur plus au moins importante varie de 0.4 à 1.5m, une largeur de feuille entre 2 et 5cm et un diamètre de tige de l'ordre de 2 cm. Selon la nature des végétaux les lagunes à macrophytes ont une profondeur comprise entre 0.3 et 0.6m.

Le temps de séjours dans une lagune de finition est estimé de 1à2 jours.[21]

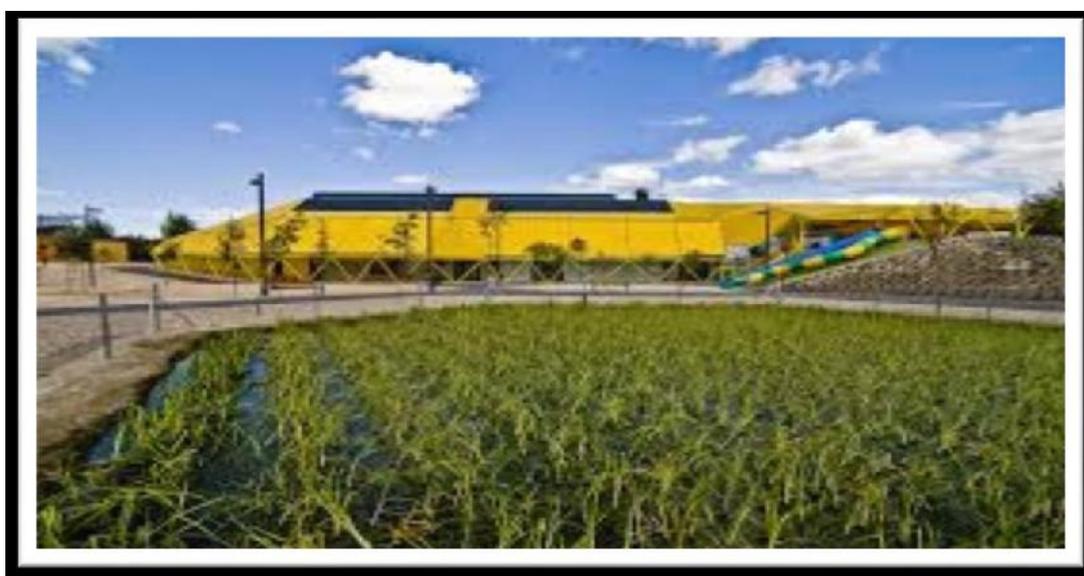


Figure VI.4 : lagune à macrophyte.

VI.3.2 Dimensionnement

La conception géométrique des bassins de lagunage, qui semble s'imposer actuellement, est la suivante :

🏠 Eviter des bassins non compartimentés de plus de deux hectares, pour ne pas avoir des problèmes de zonation .

🏠 Prévoir une alimentation près du fond et dans le premier tiers du parcours de l'eau ainsi la charge et les sédiments seront mieux distribués.

🏠 Un bassin très allongé favorise une surcharge en tête. Une forme ramassée (ratio longueur / largeur ≤ 3) est nécessaire pour ne pas favoriser une surcharge en tête.[21]

Durant la période d'étude le débit entrant à la STEP n'a pas dépassé la capacité de cette dernière (le débit de dimensionnement), de ce fait le débit qu'on va utiliser pour le dimensionnement de la lagune de finition c'est le débit de dimensionnement de la STEP.

a) La surface horizontale de lagune

$$\text{On a } V = Q \cdot t_s \dots\dots\dots (VI.1)$$

Avec :

- V : le volume d'eau total.
- Q ; le débit de dimensionnement (m³/j)
- t_s : le temps de séjour (en jour),

On prend un temps de séjour d'une journée
Le débit nominal égal à 20550 m³/j

$$\text{D'où : } V = 20550 \cdot 1$$

$V = 20550 \text{ m}^3$

$$S = V/h \dots\dots\dots (VI.2)$$

Avec :

- S : la surface horizontale totale.
- V : le volume d'eau total.
- h: la hauteur du plan d'eau.

Pour une hauteur de 0.5m.

$$S = 20550/0.5 = 41100 \text{ m}^2$$

$S = 4.11 \text{ ha}$

Tenant compte les exigences de conception on va partager la surface sur deux lagune identiques en parallèle.

$$S' = S/2 \dots\dots\dots (VI.3)$$

Avec :

- S : la surface horizontale totale
- S' : la surface horizontale de chaque lagune.

$S' = 2.055 \text{ ha}$

b) La longueur et la largeur

Pour éviter les problèmes de surcharge on prend :

$$L/l=2 \dots\dots\dots (VI.4)$$

Avec :

L : la longueur de la lagune.

l : la largeur de la lagune.

$$D'où : S' = 2l^2 \dots\dots\dots (VI.5)$$

$$Donc : l = \sqrt{S'/2}$$

$$l = 101.37 \text{ m}$$

$$\text{Alors : } L = 2l = 101.37 * 2$$

$$L = 202.74 \text{ m}$$

 La hauteur sera sécurisée avec une revanche de l'ordre de 0.3m.

 Pour la stabilité des berges on prend un fruit de talus égal à 1/2.

Tableau VI.1 : récapitulation des dimensions de chaque lagune de finition

| Caractéristique de lagune | Valeur calculée | Unité |
|---------------------------|-----------------|----------------|
| Volume | 20550 | m ³ |
| Hauteur du plan d'eau | 0.5 | m |
| Surface horizontale | 2.06 | m ² |
| Longueur | 202.74 | m |
| largeur | 101.37 | m |
| revanche | 0.3 | m |

VI.3.3 Exécution des travaux des lagunes**a) Décapage de la couche de terre végétale**

$$V_{cv} = L \cdot l \cdot e$$

Avec : V_{cv} : volume de la terre décapée en (m³) ;

L : la longueur de la parcelle L = 202.74 m ;

l : la largeur de la parcelle l = 101.37 m ;

e : épaisseur de la couche e = 15 cm.

$$V_{cv} = 202.74 * 101.37 * 0.15$$

$$V_{cv} = 3082.76 \text{ m}^3.$$

b) Déblais

$$V_d = L \cdot l \cdot H$$

Avec :

V_d : volume excavé en (m³) ;

L : longueur de la lagune en (m) ;

l : largeur de la lagune en (m) ;

H : hauteur en (m).

V_d est déjà calculé $V_d = 20550 \text{ m}^3$

✓ Déblais total

$$V_t = \sum V_d \cdot K_f \dots\dots\dots(VI.6)$$

Avec :

V_t : volume total des déblais de la lagune;

K_f : Coefficient de foisonnement dépend de la nature de sol.

Tableau VI.2 : Coefficient de foisonnement.

| Type de sol | K_f |
|-----------------------|-----------|
| sable, matériaux fins | 1.08-1.17 |
| Limon argileux | 1.14-1.28 |
| Argile | 1.25-1.3 |

Pour notre cas on a : $K_f = 1,28$.

$$V_t = (20550 + 20550) \cdot 1,28 = 41100 \text{ m}^3$$

$V_t = 41100 \text{ m}^3.$

Tableau VI.3 : Devis estimatif.

| Désignation des travaux | Unité | Quantité | Prix unitaire (DA) | Prix total (DA) |
|--------------------------------------|----------------|----------|--------------------|--------------------|
| Excavation du terrain. | m ³ | 3082,76 | 150,00 | 462450,00 |
| Evacuation de terres en excès | m ³ | 41100 | 250,00 | 10275000,00 |
| Le cout total | | | | 10737450,00 |

Conclusion

☞ Les solutions et les propositions apportées à cette station pour optimiser son Fonctionnement sont le fruit d'une étude de diagnostic détaillée et approfondie. La mise en place des différentes solutions proposées pour l'optimisation de la station de SIDI MEROUANE va permettre le bon fonctionnement de cette dernière.

☞ Le coût total de la réalisation de notre projet : 10737450,00DA

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce travail a été consacré à l'optimisation du fonctionnement de la station d'épuration de SIDI MEROUANE, en commençant par l'interprétation de l'évolution des débits, les paramètres de pollution ainsi que le suivi des rendements épuratoires durant les deux dernières années à savoir 2014 et 2015.

L'analyse des différentes données nous a permis de tirer les résultats suivants :

- ✚ Les charges hydrauliques arrivant à la STEP sont faibles par rapport à la capacité nominale de la STEP.
- ✚ Les paramètres physico-chimiques ne constituent pas un obstacle pour le traitement biologique.
- ✚ Des rendements épuratoires répondant aux attentes du constructeur, à l'exception de l'abattement de la pollution azotée et phosphatée qui pose souvent problème.

Notre étude a également porté sur les indicateurs de performances que nous avons choisis en fonction des données disponibles. De ce fait, nous avons pu tirer au claire les remarques suivantes :

- ✚ Problème de nitrification.
- ✚ Une mauvaise décantation des boues.
- ✚ La quantité de boues produite est faible.
- ✚ L'élimination insuffisante du phosphore.
- ✚ L'élimination insuffisante d'azote.
- ✚ La non maîtrise de l'injection de polymère.
- ✚ La quantité de boues produite est faible.

Par la suite on a procédé à la vérification des dysfonctionnements au niveau de la STEP et on a opté pour :

- ✚ L'ajout de deux lagunes de finition à macrophytes à la fin de la chaîne de traitement.
- ✚ La nécessité de réparation des dégrilleurs automatique.
- ✚ L'ajout de sulfate de cuivre pour l'élimination des algues dans le clarificateur.

D'autre part,

Au terme de cette étude, nous devons insister sur le fait que le bon fonctionnement de cette STEP constitue une des nécessités les plus absolues dans la région vu son influence sur l'environnement. On parle ici du barrage de BENI HAROUNE.

Références bibliographiques

YVES PIETRASANTA et DANIEL BONDON, le lagunage écologique, 1994

METAHRI MOHAMMED, thèse de doctorat, élimination simultanée de la pollution azotée et phosphorée des eaux usées traités par procédés mixte

DJEDDI HAMZA, utilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestières urbaines, mémoire de magister, 2007, université de MENTOURI-Constantine.

MIMOUNI YOUCEF, étude des performances épuratoires de la station d'épuration de BENI MESSOUS (W, Alger) ,2012

IABBADENE YACINE, étude des performances épuratoires de la station d'épuration de REGHAIA (W, Alger) ,2013

ABIDI .SN, thèse, conception de station d'épuration de la ville d'ELBAYAD, 2008

BOURABAH, conception de la station d'épuration de la ville de KHEMIS MILIANA, MFE, 2007

CLAUD, technique appliquées du traitement de l'eau, Edition Ellipses 1999 ,245p

DEGERMONT, mémentos technique de l'eau, Edition Paris, 2005,785p

JEAN.P, performances des systèmes de traitement biologique aérobie des graisses

Office international de l'eau conception /dimensionnement ,2005

PHILIPPE .D, les systèmes de traitement des boues des stations d'épuration des petites collectivités

ROGER .P ; guide technique sur le foisonnement des boues activées .2008

PHILIPPE DUCHENE, dysfonctionnements biologiques dans une STEP à boues activées, 1994,86p.

YVES .B et JOSIANE.G, lutte contre les algues vertes en Bretagnes ,2015 ,110p.

ONA, 2009, station d'épuration de SIDI MEROUANE, notice de fonctionnement et d'exploitation, MILA, 79p.

PREIZ .V et MELLATRE.M, Etat de l'art sur l'efficacité des traitements tertiaires de désinfection des résiduelles, 2000,105p.

Références bibliographiques

GAELE DERONZIER et all, abattement de l'azote dans les stations d'épurations biologiques des petites collectivités, document technique, FNDAC N°25 ,2001 ,79p.

GAELE. DERNZIER et JEAN. MARUCHOUBERT, traitement du phosphore dans les stations d'épuration biologiques des petites collectivités, document technique, FNDAC N°29, 2004 ,24p.

PHILLIPE DUCHENE, élimination d'azote dans les stations d'épuration biologiques des petites collectivités, document technique, FNDAC N°10, 2004 ,100p.

PHILIPPE J.P. RANCHET J., Pollution des eaux de ruissellement pluvial en zone urbaine. Synthèse des mesures sur dix bassins versants en région parisienne, Research Report, LCPC n°42, 1987, 70 p.
Journal of environmental management, disponible sur : [www .Elsevier .com / locate ,jenvman](http://www.Elsevier.com/locate/jenvman) . Consulté 20/05/2015.

Annexe I

Photographie de la STEP de SIDI MEROUANE

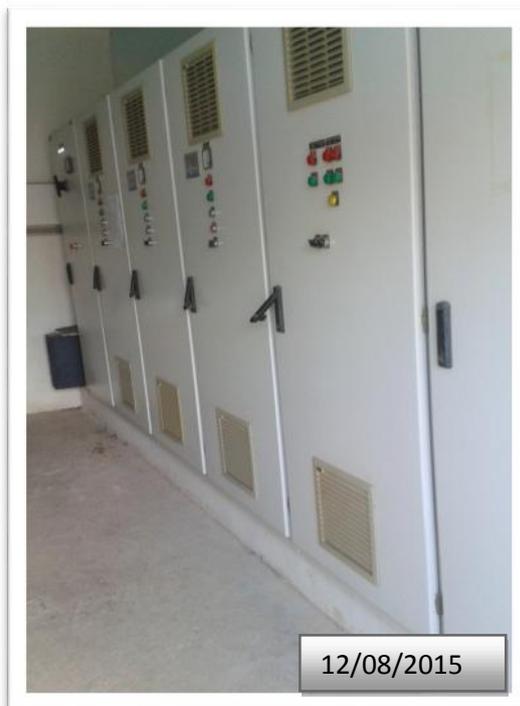
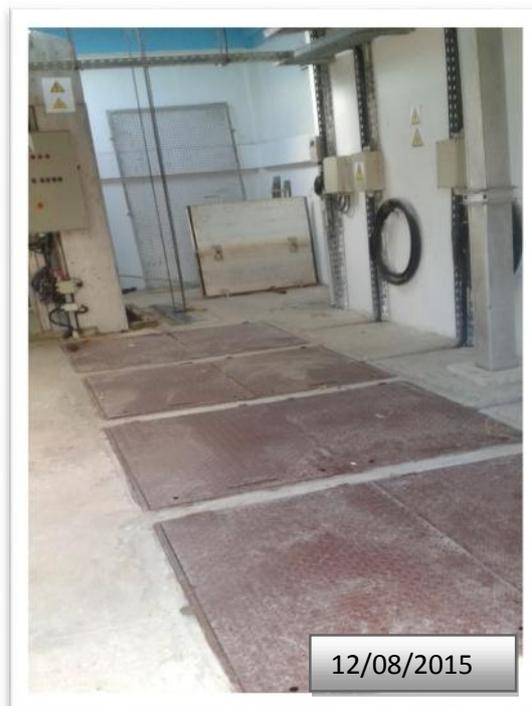


Figure I.1: de relevage.



Figure I.2 : détecteur de gaz.



Figure I.3 : dégrilleur grossier manuel.



Figure I.4 : déssableur -déshuileur



Figure I.5 : groupe de pompage des sables.



Figure I.6 : benne à sable.



Figure I.7 : bassin biologique.

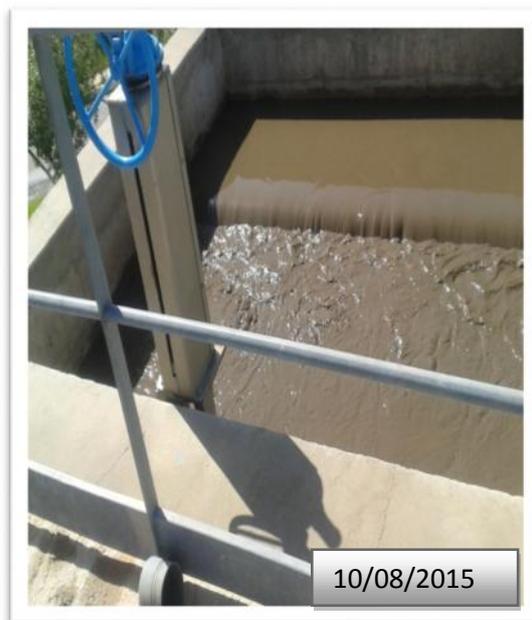


Figure I.8 : zone de recirculation des boues. **Figure I.9 :** conduites d'injection d'O₂.

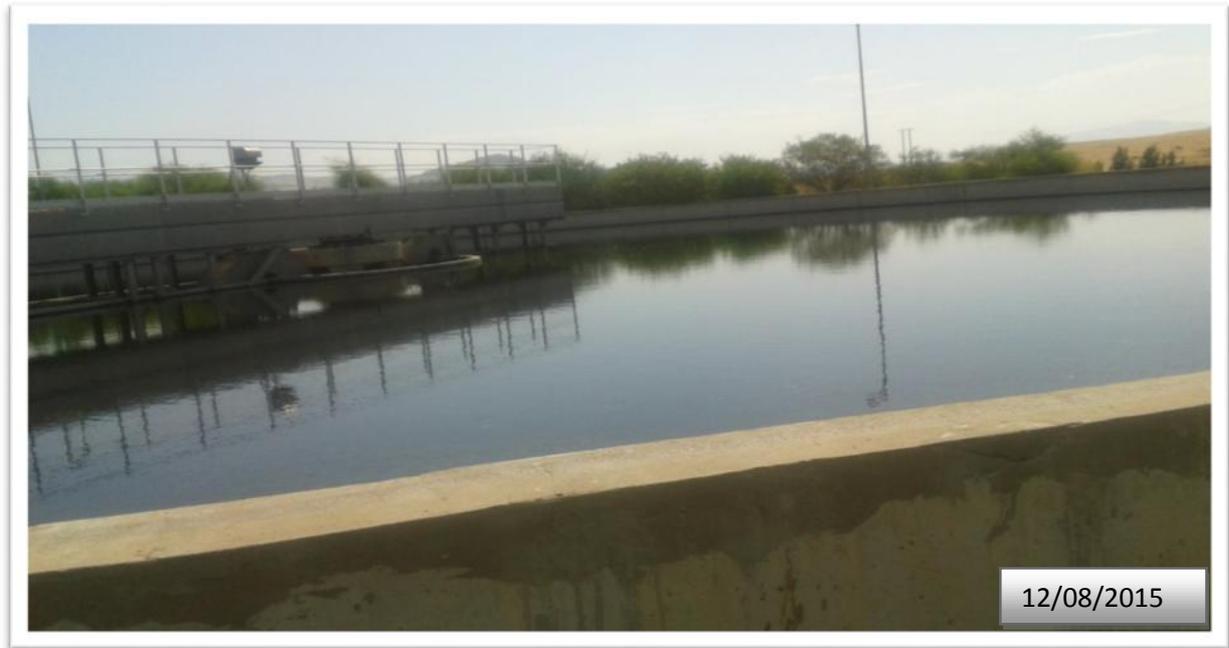


Figure I.10 : clarificateur.



Figure I.11 : puits à boues.



Figure I.12: ouvrage de comptage.



Figure I.13 : table d'égouttage.



Figure I.14 : filtre à bande.



Figure I.15 : local de préparation de polymère.



Figure I.16 : boue déshydratée.

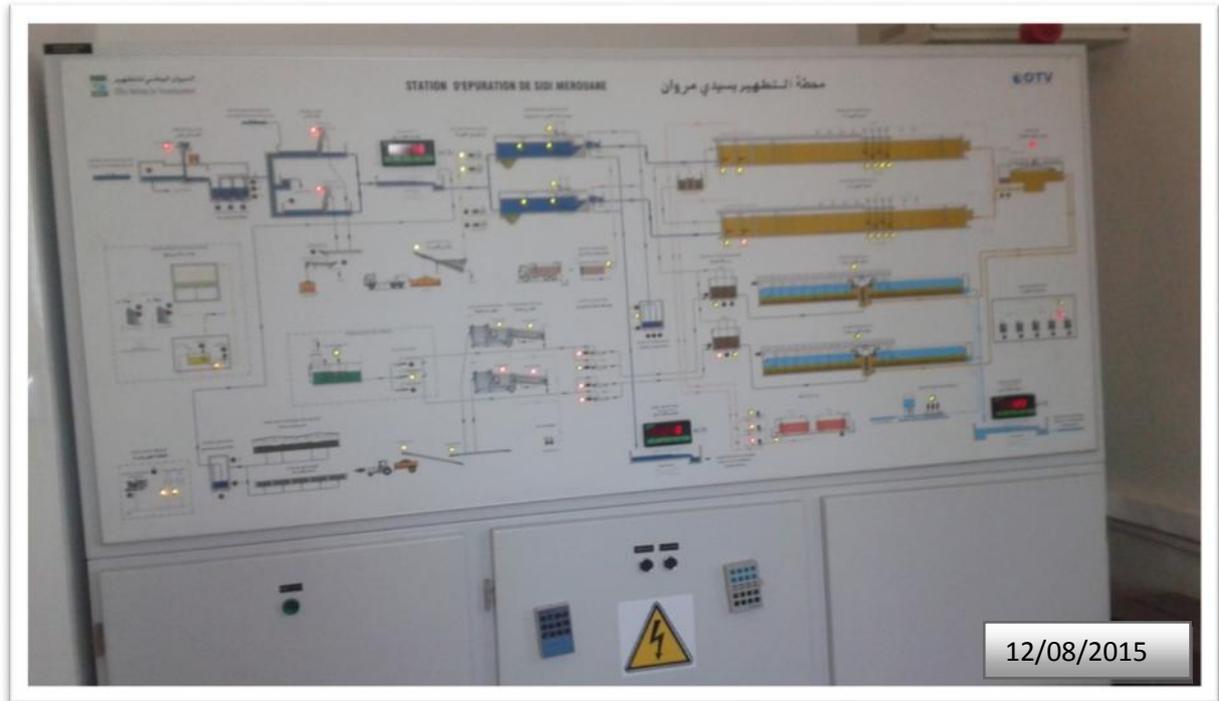


Figure I.17 : sale de contrôle.



Figure I.18 : laboratoire de la STEP.

Annexe II

Méthodes d'analyses

II.1 Mesure du pH

Le potentiel d'hydrogène se mesure à l'aide d'un pH-mètre.

II.2 Mesure de la conductivité électrique

Elle est mesurée à l'aide d'un conductimètre; elle donnée en $\mu\text{s}/\text{cm}$.

II.3 Mesure de la température

Elle est mesurée par thermomètre électronique

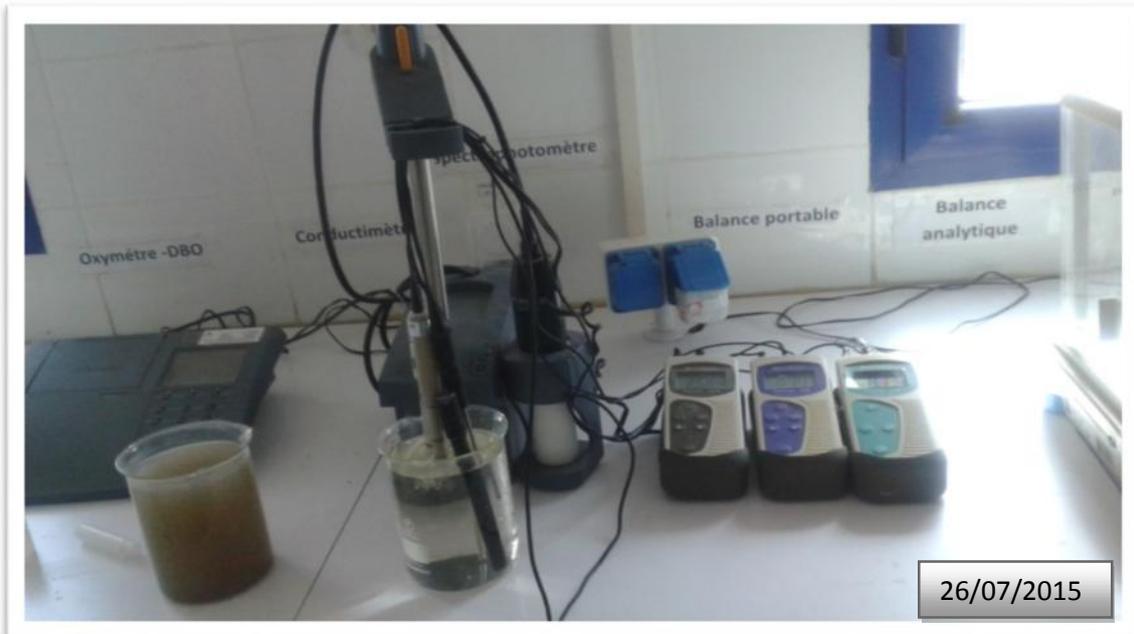


Figure II.1: Mesure de PH, conductivité et température

II.4 Mesure de la demande biochimique en oxygène(DBO)

Deux méthodes sont fortement utilisées pour la détermination de la DBO : la méthode par dilution et la méthode respirométrique et nous on va travailler avec la première.

- On prépare trois (03) flacons comme suit :

Le premier flacon « Étalon » : dans une fiole de 500ml, on met 300ml d'eau distillée plus une capsule de la DBO5 nutritive, on agite, puis on met 133ml de ce mélange dans un flacon et on ajoute 7ml de la DBO5 et 15ml de l'eau brute ;

Le deuxième flacon : pour connaître le volume de l'eau brute à ajouter dans le flacon, on utilise la valeur de la DCO déjà déterminée dans l'étape précédente et on la multiplie par 0,8 ; la valeur trouvée correspond dans le tableau des gammes DBO5, Tableau III.2, à un volume qui est le volume de l'eau brute nécessaire dans le flacon.

De la même manière on trouve le volume d'eau épurée nécessaire dans le troisième flacon.

Tableau 1 La sélection du volume d'échantillon

| Gamme de DBO mg/l | Volume nécessaire (ml) |
|-------------------|------------------------|
| 0-35 | 420 |
| 0-70 | 355 |
| 0-350 | 160 |
| 0-700 | 95 |

- Après avoir remplir les flacons avec les volumes nécessaires, on met les cupules et on ajoute l'hydroxyde de lithium qui sert à absorber le CO₂ et de la graisse pour que l'oxygène injecté ne se gaspille pas, on met les flacons dans un réfrigérons et on les ferme avec des bouchons qui contiennent des tuyaux qui injectent de l'oxygène, on règle la température a 20°C et on laisse les flacons pendant 5 jours, puis on lit directement le résultat du DBO₅.

**Figure II.2** : Le DBO mètre

II.5 Mesure des matières en suspension (MES)

a) Mesure par centrifugation

Prend un litre d'échantillon d'eau brute dans un flacon, entrer le flacon dans la centrifugeuse et le laisser pendant 20 minutes avec une vitesse de 1600 tr/min, vider l'eau surnageant et recueillir la matière décantée dans une capsule préalablement pesée de masse m_1 . Sécher à 105°C dans l'étuve pendant 24h, soit m_2 la masse après séchage.

$$[\text{MES}] = (m_2 - m_1) * 1000 / V. \text{ (mg/l)}$$

Tel que : V est le volume de l'échantillon



Figure II.3 : Centrifugeuse

b) Mesure par filtration

Le principe repose sur une séparation des MES par passage sur filtre sous vide
Peser une membrane vide (m_1) puis filtrer l'échantillon (100ml généralement) d'eau épurée, sécher les MES retenues par filtration dans une étuve à 105°C pendant 2h, après séchage peser la membrane avec les MES (m_2)

$$[\text{MES}] = (m_2 - m_1) * 1000 / V. \text{ (mg/l)}$$

Tel que : V est le volume de l'échantillon

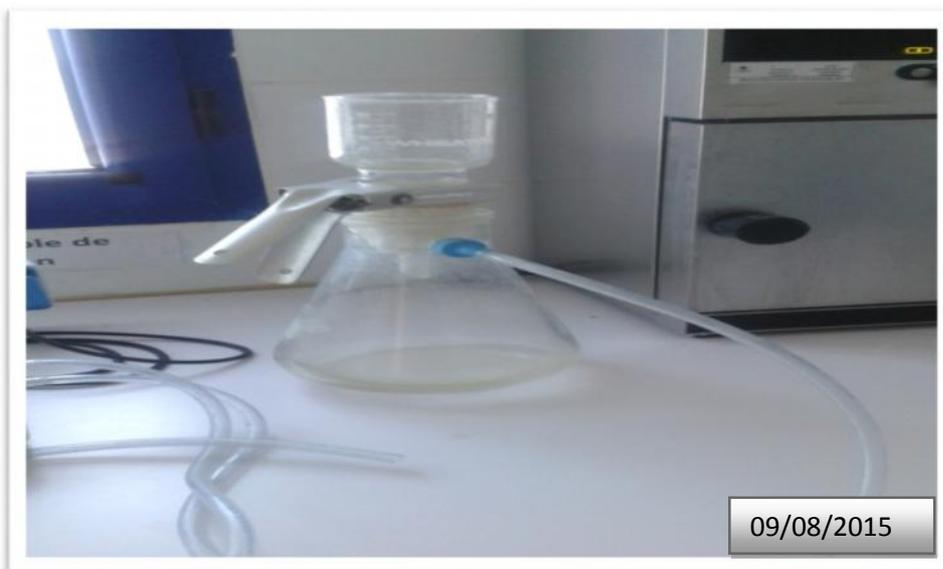


Figure II.4 : Filtre sous vide

II.6 Les formes azotées, l'orthophosphate et la DCO

a) Les formes azotées

Ils sont mesurés par la méthode spectrophotométrique, cette méthode repose sur l'ajout des produits chimiques indicateurs de chaque paramètre de formules chimiques cachées vendu sous forme de tubes.

- Les nitrites N-NO₂

On utilise un tube de la gamme 0---0.5 et on le mélange avec 5ml de l'échantillon et on attend 20 minutes puis on fait la lecture sur le spectrophotomètre.

- Les nitrates N-NO₃

On utilise un tube de la gamme 0---30 et on le mélange avec 1ml de l'échantillon et un sachée d'acide cromotropique pendant 5 minutes puis on fait la lecture sur le spectrophotomètre.

- L'ammonium NH₄⁺

- ✓ On utilise un tube de la gamme 0---50 et on le mélange avec 0.1ml de l'échantillon d'eau brute, un sachée de salicylate et un sachée de cyanurate pendant 20 minutes puis on fait la lecture sur le spectrophotomètre.
- ✓ On utilise un tube de la gamme 0---2.5 et on le mélange avec 2ml de l'échantillon d'eau épurée, un sachée de salicylate et un sachée de cyanurate pendant 20 minutes puis on fait la lecture sur le spectrophotomètre.

b) L'orthophosphate

On utilise un tube de la gamme 0---100 et on le mélange avec 5ml de l'échantillon Plus un sachée de persulfate de potassium, chauffer le mélange à 150 °C pendant 30minutes puis refroidir et ajouter 2ml de NaOH et 0.5ml de molybdovanadate Pendant 7minutes et on fait la lecture sur le spectrophotomètre.

c) La DCO

- ✓ On utilise un tube de la gamme 0---1500 et on le mélange avec 2ml de l'échantillon d'eau brute, chauffer le mélange à 150 °C pendant 2h puis on fait la lecture sur le spectrophotomètre.
- ✓ On utilise un tube de la gamme 0---150 et on le mélange avec 2ml de l'échantillon d'eau épurée, chauffer le mélange à 150 °C pendant 2h puis on fait la lecture sur le spectrophotomètre.



Figure II.5 : Méthode spectrophotométrique

II.7 Mesure de l'indice de Molhman ou Indice de boue

L'indice de Molhman est souvent appelé IB est le volume occupé par un gramme de MES après décantation d'une demi-heure de un litre de boue active dans le cône d'Imhoff graduée. Cet indice permet d'évaluer la décantation des boues dans le clarificateur.

$$\text{Indice de Molman} = \frac{\text{Volume des boues décanté pendant 30min}}{\text{Concentration des MES des boues}}$$

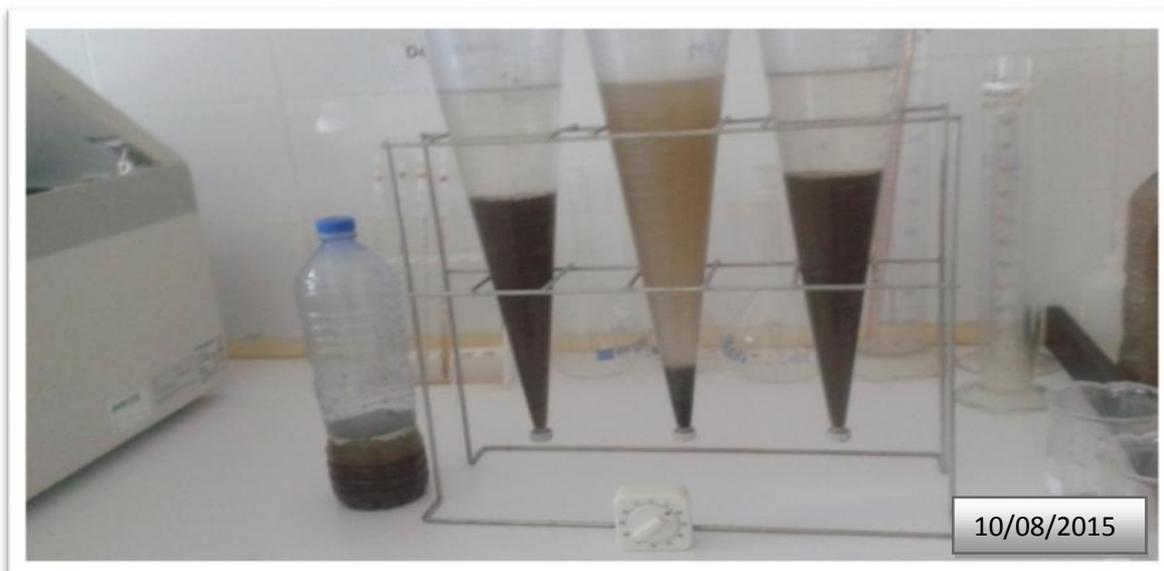


Figure II.6 : cône d'Imhoff

Annexe III

Résultats d'analyses des différents
paramètres

Tableau N°2 : Les différentes analyses effectuées sur les eaux usées à l'entrée de la STEP

| Eau brute | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|----------------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|--------------------|----------------------|----------------------|--------------------|-----------|----------------------|-----------------|
| Paramètres | Débit m³/j | MES mg/l | DCO mg/l | DBO5 mg/l | NH4+ mg/l | NT mg/l | NO3- mg/l | NO2- mg/l | PT mg/l | PH | CON μS/cm | T °C |
| 2014 | | | | | | | | | | | | |
| janvier | 9650 | 359.41 | 476.5 | 275 | 65 | – | 17.75 | 0.29 | 15.3 | 7.51 | 1872 | 15.4 |
| février | 8295 | 306.11 | 229 | 135 | 90 | – | 13.25 | 0.46 | 10.4 | 7.79 | 2054 | 15.47 |
| mars | 6546 | 339.51 | 227 | 155 | 40 | – | 17.5 | 0.59 | 16.95 | 7.93 | 2066 | 15.44 |
| avril | 5275 | 233.76 | 224 | 221.5 | 35 | – | 13 | 0.65 | 14.4 | 8.18 | 2053 | 18.14 |
| mai | 4064 | 250.31 | 358.5 | 225 | 40 | – | 13.75 | 0.52 | 16.8 | 8.18 | 1977 | 19.87 |
| juin | 3345 | 210.7 | 234 | 190 | 75 | – | 12.25 | 0.50 | 16.05 | 8.14 | 1978 | 21.80 |
| juillet | 2234 | 272.68 | 450.5 | 255 | 42.5 | – | 25.5 | 0.51 | 18.55 | 8.23 | 1953 | 23.54 |
| aout | 1941 | 344.38 | 578.5 | 295 | 38.7 | – | 29 | 0.48 | 23.95 | 8.23 | 1876 | 23.67 |
| septembre | 2471 | 332.48 | 493.5 | 340 | 40.45 | – | 29.75 | 0.17 | 26.95 | 8.32 | 2086 | 22.88 |
| octobre | 2036 | 320.14 | 424 | 305 | 26.5 | – | 16 | 0.04 | 16.65 | 8.36 | 1923 | 22.81 |
| novembre | 2819 | 322.84 | 582.5 | 388 | 37.5 | 131 | 2.8 | 5.4 | 0.775 | 7.30 | 1873 | 19.54 |
| décembre | 7095 | 1014.76 | 674.39 | 268.49 | 46.31 | 95.76 | 12.79 | 6.74 | 8.3 3 | 7.04 | 1992 | 16.82 |
| 2015 | | | | | | | | | | | | |
| janvier | 9209 | 348.23 | 763.33 | 223 | 23.43 | 84.33 | 1.43 | 9.44 | 2.29 | 6.81 | 2274 | 14.34 |
| février | 13469 | 584.2 | 319.66 | 77 | 17.06 | 102.33 | 9.87 | 9.54 | 0.95 | 7.09 | 2162 | 13.89 |
| mars | 13606 | 552.8 | 648.0 | 215.7 | 27.5 | 115.0 | 7.3 | 6.0 | 3.6 | 7.66 | 2715 | 15.9 |
| Avril | 7990.8 | 200.64 | 418.2 | 184.9 | 32.2 | 105.9 | 4.34 | 9.50 | 4.85 | 7.27 | 2262 | 19.3 |

Tableau N°3: Les différentes analyses effectuées sur les eaux usées à la sortie de la STEP

| Eau épurée | | | | | | | | | | | | |
|-------------|---------------|-------------|-------------|--------------|--------------|------------|--------------|--------------|------------|------|--------------|---------|
| paramètres | Débit m3/j | MES mg/l | DCO mg/l | DBO5 mg/l | NH4+ mg/l | NT mg/l | NO3- mg/l | NO2- mg/l | PT mg/l | PH | CON µS/cm | T °C |
| 2014 | | | | | | | | | | | | |
| janvier | 11828 | 97.08 | 13.5 | 25.5 | 10 | 2.4 | 4.75 | 0.085 | 1 | 7.38 | 1830 | 15.38 |
| février | 10508 | 52.92 | 6.5 | 3.5 | 14.5 | – | 6.5 | 0.0775 | 1.85 | 7.59 | 1925 | 15.66 |
| mars | 10854 | 32.74 | 41.5 | 8 | 3.35 | – | 5.5 | 0.1025 | 1.9 | 7.77 | 1960 | 15.32 |
| avril | 9045 | 23.76 | 12.5 | 10 | 10.5 | – | 8.5 | 0.0625 | 6.5 | 8.10 | 1962 | 19.23 |
| mai | 7207 | 9.88 | 8.5 | 30 | 11.2 | – | 5.25 | 0.03 | 8.1 | 8.11 | 1939 | 21.88 |
| juin | 6129 | 11.12 | 6.5 | 4 | 1.7 | – | 3.75 | 0.04 | 8.8 | 8.05 | 1859 | 23.82 |
| juillet | 4412 | 15.66 | 17 | 7 | 7.15 | – | 2.9 | 0.06 | 8 | 8.22 | 1830 | 25.6 |
| aout | 4092 | 12.64 | 40.5 | 6.5 | 5.1 | – | 3.25 | 0.03 | 4.7 | 8.25 | 1889 | 24.79 |
| Septembre | 6162 | 16.92 | 62 | 37.5 | 2.35 | – | 11.35 | 0.1 | 11.7 | 8.17 | 1926 | 23.63 |
| octobre | 4537 | 22.88 | 57.5 | 37.5 | 4.4 | – | 4 | 0.0675 | 4.15 | 8.13 | 1910 | 21.35 |
| Novembre | 4576 | 31.34 | 62.75 | 42 | 10.4 | 7.2 | 3.7 | 0.47 | 0.715 | 7.20 | 1929 | 19.54 |
| décembre | 6049 | 20.47 | 67.89 | 46.39 | 9.27 | 8.43 | 5.21 | 0.17 | 2.51 | 6.92 | 2091 | 16.07 |
| 2015 | | | | | | | | | | | | |
| janvier | 8627 | 26.92 | 77.3 | 50.66 | 14.93 | 18.33 | 1 | 0.6 | 1.3 | 6.74 | 2196 | 14.04 |
| février | 10477 | 36.73 | 28.9 | 18.66 | 4.71 | 19.8 | 1 | 1.00 | 0.27 | 7.22 | 2160 | 13.69 |
| mars | 11032.5 | 12.6 | 14.7 | 4.7 | 2.2 | 24.1 | 4.2 | 1.4 | 1.7 | 7.67 | 2606.9 | 16.2 |
| avril | 5927 | 12.5 | 28.0 | 4.3 | 0.33 | 25.95 | 7.10 | 0.81 | 3.33 | 7.29 | 2220.0 | 20.0 |

Tableau N°4 : Rendements épuratoires concernant les MES, DBO5, DCO, NT et P_T.

| | Charge entrante (kg/j) | | | | | Charge sortante (kg/j) | | | | | Rendement d'élimination% | | | | |
|-------------|------------------------|------------------|---------|----------------|----------------|------------------------|------------------|--------|----------------|----------------|--------------------------|------------------|-------|----------------|----------------|
| | MES | DBO ₅ | DCO | P _T | N _T | MES | DBO ₅ | DCO | P _T | N _T | MES | DBO ₅ | DCO | P _T | N _T |
| 2014 | | | | | | | | | | | | | | | |
| janvier | 3468.24 | 2653.70 | 4598.15 | 147.64 | _ | 936.81 | 246.07 | 130.27 | 9.65 | _ | 72.98 | 90.72 | 97.17 | 93.46 | _ |
| février | 2539.31 | 1119.88 | 1899.65 | 86.27 | _ | 438.99 | 29.034 | 53.92 | 15.35 | _ | 82.71 | 97.41 | 97.16 | 82.21 | _ |
| mars | 2222.44 | 1014.64 | 1485.95 | 110.96 | _ | 214.32 | 52.37 | 271.66 | 12.44 | _ | 90.35 | 94.84 | 81.72 | 88.79 | _ |
| avril | 1233.20 | 1168.48 | 1181.67 | 75.96 | _ | 125.34 | 52.75 | 65.94 | 34.29 | _ | 89.83 | 95.49 | 94.43 | 54.86 | _ |
| mai | 1017.28 | 914.42 | 1456.98 | 68.28 | _ | 40.15 | 121.92 | 34.54 | 32.91 | _ | 96.05 | 86.67 | 97.63 | 51.79 | _ |
| juin | 704.74 | 635.51 | 782.68 | 53.68 | _ | 37.19 | 13.38 | 21.74 | 29.43 | _ | 94.72 | 97.89 | 97.22 | 45.17 | _ |
| juillet | 609.22 | 569.69 | 1006.46 | 41.44 | _ | 34.99 | 15.64 | 37.98 | 17.87 | _ | 94.25 | 97.25 | 96.23 | 56.87 | _ |
| août | 668.32 | 572.47 | 1122.62 | 46.48 | _ | 24.53 | 12.61 | 78.59 | 9.12 | _ | 96.33 | 97.79 | 92.99 | 80.38 | _ |
| septembre | 821.48 | 840.06 | 1219.32 | 66.59 | _ | 41.81 | 92.65 | 153.19 | 28.91 | _ | 94.91 | 88.97 | 87.44 | 56.58 | _ |
| octobre | 651.89 | 621.06 | 863.37 | 33.90 | _ | 46.59 | 76.36 | 117.08 | 8.45 | _ | 92.85 | 87.70 | 86.44 | 75.08 | _ |
| novembre | 910.06 | 1093.74 | 1642.03 | 2.19 | 369.28 | 88.35 | 118.39 | 176.89 | 2.02 | 20.29 | 90.29 | 89.18 | 89.23 | 7.74 | 94.50 |
| décembre | 7199.66 | 1904.92 | 4784.75 | 59.10 | 679.41 | 145.09 | 329.13 | 481.68 | 17.81 | 59.81 | 97.98 | 82.72 | 89.93 | 69.86 | 91.19 |
| 2015 | | | | | | | | | | | | | | | |
| janvier | 3206.93 | 2053.66 | 7029.70 | 21.09 | 776.62 | 247.91 | 466.54 | 711.88 | 11.97 | 168.81 | 92.26 | 77.28 | 89.87 | 43.31 | 78.26 |
| février | 7868.29 | 1037.07 | 4305.34 | 12.79 | 1378.23 | 494.83 | 251.32 | 389.24 | 3.64 | 266.68 | 93.71 | 75.76 | 90.95 | 71.93 | 80.65 |
| mars | 7521.37 | 2934.80 | 8816.66 | 48.98 | 1564.69 | 171.44 | 63.95 | 200.01 | 23.13 | 327.90 | 97.72 | 97.84 | 97.73 | 52.02 | 79.01 |
| avril | 63852.35 | 1477.49 | 3341.74 | 38.76 | 846.22 | 99.88 | 34.36 | 223.74 | 26.61 | 207.36 | 93.76 | 97.67 | 93.30 | 31.34 | 75.49 |

Tableaux N° 5: Résultats de la filière des boues

| | Poids en matières sèches (kg MS) | Quantité de polymère injectée (kg) | siccité des boues déshydratées(%) |
|-------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| 2014 | | | |
| janvier | 8490.15 | 175 | 28.5 |
| février | 9039.44 | 250 | 28.4 |
| mars | 6704.06 | 200 | 28.8 |
| avril | 5315.27 | 350 | 29.6 |
| mai | 7351.36 | – | 29.8 |
| juin | 7195.64 | 275 | 29.5 |
| juillet | 7438.13 | 275 | 29.5 |
| août | 7380 | 275 | 27.9 |
| septembre | 3186 | 250 | 28.3 |
| octobre | 910 | 75 | 27 |
| novembre | – | 375 | |
| décembre | – | – | – |
| 2015 | | | |
| janvier | – | – | 26.09 |
| février | 32362 | 250 | 27.8 |
| mars | 73296 | 450 | 29.09 |
| avril | 58447 | 375 | 29.88 |

Tableau N°6: Ratio caractérisant la consommation électrique au niveau de la STEP

| 2014 | Taux de consommation KW/m³ |
|------------------|--|
| janvier | 0.27 |
| février | 0.51 |
| mars | 0.40 |
| avril | 0.42 |
| mai | 0.59 |
| juin | 0.72 |
| juillet | 1.07 |
| aout | 1.11 |
| septembre | 0.67 |
| octobre | 1.22 |
| novembre | 0.74 |
| décembre | 0.41 |

Tableau N°7: Normes de rejets appliquées en Algérie

| Paramètres | Unités | Normes |
|--------------------|--------|----------|
| T° | °C | 30 |
| pH | / | 6,5-8,5 |
| [O2] | mg/l | 05 |
| DBO5 | mg/l | 30 |
| DCO | mg/l | 90 à 120 |
| MES | mg/l | 30 |
| Zinc | mg/l | 02 |
| Chrome | mg/l | 0,1 |
| Azote total | mg/l | 10 |
| Phosphates | mg/l | 02 |
| Huiles et graisses | mg/l | 20 |

Tableau N°8: Quelques ratios indicateurs de performance : limites de variation et signification.

| Ratio | Effluent urbain strict | Signification |
|--|-------------------------------|--|
| DCO/DBO5 | 2,2 -2,5 | Evaluation de la biodégradabilité de la matière organique : DCO/DBO5<2 : facilement biodégradable (effluent agro-alimentaire) |
| DBO5 / N-NH4+ /P-PO4 2- (C/N/P) | (100/5/1) | Exprime l'équilibre nutritionnel : |
| MES/DBO5 | 0.69 et 2.93 | Indiquera la nature de la pollution Influencera la production de boues. |
| MVS/MES | 0.65-0.75 | Indiquera l'organicité de l'effluent et les possibilités de son traitement. |
| DCO/PT | 44-50 | DCO/PT indique une bonne aptitude au traitement biologique du phosphore. |
| NH4+/NTK | 0.6-0.8 | Indiquera le degré d'ammonification durant le transfert de l'effluent dans le réseau |
| DCO/NTK | 4-5 | Influencera le taux d'abattement de l'azote. |
| DBO5/N à dénitrifier | DBO5/N > 2 | Indiquera les possibilités et la faisabilité de la réaction de dénitrification. |
| Production des boues primaires /production des boues primaires théoriques | 0,8 | Efficacité de la décantation physique dans le décanteur primaire |
| Polymère/MS (extraites) | | Permet de vérifier l'efficacité de l'injection du polymère. Boues primaire : Polymère /MS = [3-5] Boues mixtes (50/50) : Polymère /MS = [6-8] Boues biologiques : Polymère /MS = [8-12] |

Tableaux N° 1: Quantités des sous produits de pré traitement.

| | quantité des déchets refus par dégrillage(m ³) | quantité des graisses extraites (m ³) | Quantité de sable réquipiré (m ³) |
|-------------|--|---|---|
| 2014 | | | |
| janvier | 3.6 | 4.3 | 23 |
| février | 3.8 | 2.7 | 10 |
| mars | 2.6 | 4.2 | 19 |
| Juin | 2 | 5.2 | 4 |
| juillet | 1.75 | 4 | 3.5 |
| aout | 1.5 | 3.5 | 3 |
| septembre | 2 | 4.5 | 4 |
| octobre | 2 | 3 | 4.5 |
| Novembre | 1.5 | 1.5 | 3 |
| décembre | 2 | 3 | 12 |
| 2015 | | | |
| janvier | 10 | 3 | 2 |
| Février | 2 | 3.5 | 6 |
| mars | 2 | 1.5 | 3.5 |
| avril | 1.5 | 1.5 | 3 |

Annexe IV

Les charges massiques et volumiques

Tableau N°1: les charges massiques et les charges volumiques au niveau de la STEP.

| | MVS G/L | MVS KG | DBO5 KG/J | CM | CV |
|------------------|--------------------|-------------------|----------------------|------------|------------|
| 2014 | | | | | |
| janvier | 6.07 | 157820 | 5651.25 | 0.0358082 | 0.21735577 |
| février | 6.13 | 159380 | 2774.25 | 0.01740651 | 0.10670192 |
| mars | 6.7 | 174200 | 3185.25 | 0.01828502 | 0.12250962 |
| avril | 6.23 | 161980 | 4551.825 | 0.02810115 | 0.17507019 |
| mai | 6.63 | 172380 | 4623.75 | 0.02682301 | 0.17783654 |
| juin | 6.52 | 169520 | 3904.5 | 0.02303268 | 0.15017308 |
| juillet | 6.99 | 181740 | 5240.25 | 0.02883377 | 0.20154808 |
| aout | 6.86 | 178360 | 6062.25 | 0.03398884 | 0.23316346 |
| septembre | 10.12 | 263120 | 6987 | 0.02655442 | 0.26873077 |
| octobre | 6.55 | 170300 | 6267.75 | 0.03680417 | 0.24106731 |
| novembre | 8.4 | 218400 | 7973.4 | 0.03650824 | 0.30666923 |
| décembre | 5.81 | 151060 | 5517.4695 | 0.03652502 | 0.21221037 |
| 2015 | | | | | |
| janvier | 6 | 156000 | 4582.65 | 0.02937596 | 0.17625577 |
| février | 3.16 | 82160 | 1582.35 | 0.01925937 | 0.06085962 |
| mars | – | – | 4431.95 | – | 0.17045962 |
| avril | – | – | 3799.69 | – | 0.14614212 |