



Ecole National Polytechnique

Département Hydraulique



Projet de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Hydraulique

Réalisée par

M^{elle} MALEK Iman

Thème

*Les Indicateurs de performance et de suivi de
la station d'épuration de Réghaia*

Proposée par: M^r M.Nakib

Dirigée par: M^r M.Nakib & M^r A.Kettab

Résumé / Abstract / ملخص

Résumé

Le but de ce travail est de déterminer les dysfonctionnements de la station d'épuration de Réghaia pour améliorer ses performances. Après l'interprétation des résultats d'analyse des différents paramètres, on a essayé de mettre en place des indicateurs de performance qui nous donneront une vue globale sur l'état actuelle de la station d'épuration de Réghaia.

Par suite, nous avons essayé de proposer quelques recommandations pour améliorer la qualité de l'eau épurée avec une économie sur le plan énergétique pour s'intégrer dans une démarche de développement durable.

Mot clé: station d'épuration, indicateurs de performance, eau usée

Abstract

The aim of this work is to determine the malfunctioning of the sewage treatment plant Réghaia to improve its performance; after interpreting the results of analysis of the different parameters, we tried to develop performance indicators which will give us an overview on the current state of the treatment of this resort either performance or dysfunction; After that, we have tried to offer some recommendations to improve the purified water quality and save energy cost to be part of a sustainable development approach.

Keyword: treatment plant, performance indicators, waste water

ملخص

الهدف من هذا العمل هو تحديد اضطرابات والاعطال بمحطة معالجة مياه الصرف لرغاية وذلك لتحسين أداءها؛ بعد تفسير نتائج تحليل معلمات مختلفة، حاولنا وضع مؤشرات الأداء والتي سوف تعطينا لمحة عامة عن الحالة الراهنة لمحطات معالجة مياه الصرف رغاية، وفي الأخير قمنا باقتراح بعض التوصيات لتحسين نوعية المياه المعالجة وكذلك لتوفير تكلفة الطاقة لتحقيق التنمية المستدامة.

الكلمات المفتاحية: محطة معالجة الصرف الصحي، مؤشرات الأداء، مياه الصرف.

Remerciements

Mes remerciements vont en premier lieu à mon directeur de thèse *M. NAKIB*, en qui j'ai trouvé un maître compréhensif, humain. Sa rigueur intellectuelle, et surtout ses corrections, ses conseils, ses critiques ont beaucoup apporté à mon travail. Tout ce travail n'aurait abouti sans ses encouragements et son soutien constants ;

Je tiens aussi à remercier à mon professeur *Mr A.K. ETTAB* pour ses conseils et son encouragement ;

Je tiens à remercier mes chers enseignants d'avoir accepté de lire ce travail et de faire partie des membres du jury ;

J'adresse mes remerciements à *Dr S. BENMAMMAR* pour l'aide précieuse qu'elle m'apporte depuis mes années universitaires, pour sa confiance et pour ses encouragements ;

J'adresse un merci affectueux à mes parents et à mes frères pour leur amour profond et leur soutien inconditionnel.

A tous mes amis et mes proches qui ont toujours considéré ma réussite est leurs succès

A la mémoire de mes chers qui m'ont quitté qui ne peuvent pas assister à mon premier pas vers la réussite.

Enfin, cordialement, je remercie l'ensemble de mes professeurs du département hydraulique à l'école nationale polytechnique

Table des matières

| | |
|---|----|
| Liste des tableaux | |
| Liste des figures | |
| Liste des photos..... | |
| Symboles et abréviations | |
| Introduction générale..... | 1 |
| <u>Chapire I: Origines de la pollution, Paramètres & Normes de rejet</u> | |
| I.1 Introduction :..... | 3 |
| I.2 L'origine de pollution des milieux aquatique: | 3 |
| I.2.1 Pollutions organiques | 3 |
| I.2.2 Pollutions chimiques | 3 |
| I.3 Les paramètre de pollution des eaux usées: | 4 |
| I.3.1 Les paramètres physico-chimiques : | 4 |
| I.3.1.1 La température : | 4 |
| I.3.1.2 Le pH..... | 5 |
| I.3.1.3 L'oxygène dissous..... | 5 |
| I.3.1.4 La conductivité | 6 |
| I.3.1.5 La turbidité :..... | 7 |
| I.3.2 Les paramètres de la pollution particulaire : | 7 |
| I.3.2.1 Matières en suspension (MES) : | 7 |
| I.3.3 Les paramètres de la pollution organique globale :..... | 8 |
| I.3.3.1 Demande biochimique en oxygène (DBO) :..... | 8 |
| I.3.3.2 La demande chimique en oxygène (DCO) :..... | 8 |
| I.3.4 Les paramètres de la pollution dissoute : | 8 |
| I.3.4.1 Azote : | 8 |
| I.3.4.2 Phosphore :..... | 11 |
| I.3.4.3 L'eutrophisation : | 11 |

| | |
|---|----|
| I.3.5 Les paramètres toxiques :..... | 11 |
| I.3.6 Les paramètres microbiologiques : | 12 |
| I.3.6.1 Protozoaires :..... | 12 |
| I.3.6.2 Helminthes : | 12 |
| I.3.6.3 Virus :..... | 12 |
| I.4 Méthode normalisée pour la mesure de pollution:..... | 12 |
| I.5 Norme de rejet:..... | 13 |
| I.5.1 Normes des effluents en Algérie :..... | 13 |
| I.5.2 Normes Internationale..... | 14 |
| I.6 Notion d'équivalent habitant..... | 14 |
| <u>Chapire II: Les différentes étapes & Procédés de traitement</u> | |
| II.1 Introduction : | 17 |
| II.2 Étapes du traitement | 17 |
| II.2 .1 Prétraitement..... | 18 |
| II.2.1.1 Dégrillage | 18 |
| II.2.1.2 Déshuilage-dégraissage | 19 |
| II.2.1.3 Dessablage | 19 |
| II.2.2 Traitement primaire ou décantation..... | 19 |
| II.2.3 Traitement secondaire..... | 20 |
| II.2.4 Traitements physicochimiques | 20 |
| II.2.5 Traitements biologiques..... | 21 |
| II.3 Les différents procédés de traitement des eaux usées..... | 21 |
| II.3.1 Intensif et extensif..... | 21 |
| II.3.2 Les techniques d'épuration extensives | 22 |
| II.3.3 Le lagunage..... | 23 |
| II.3.3 Le filtre à sable | 24 |
| II.3.4 Le filtre planté de roseaux | 24 |
| II.3.5 La filtration membranaire | 25 |
| II.3.6 La bio-filtration..... | 25 |
| II.3.7 Les disques biologiques..... | 25 |

| | |
|--|----|
| II.3.8 Le lit bactérien | 26 |
| II.3.9 Procédé de traitement par boues activées : | 27 |
| II.4 Traitement tertiaire ou les traitements complémentaires : | 29 |
| II.5 Systèmes combinés (association des filières extensives - cultures libres ou fixées) | 30 |
| II.6 Traitement des boues | 30 |
| II.7 La consommation énergétique des stations d'épuration | 34 |
| Chapire III : Les indicateurs de performance & Ratios de diagnostic | |
| III.1 Introduction : | 37 |
| III.2 Rapport DCO/DBO5 | 37 |
| III.3 Rapport MES/DBO5 | 37 |
| III.4 Rapport DBO5 / N-NH ₄ ⁺ / P-PO ₄ ³⁻ | 37 |
| III.5 Rapport MVS/MES | 38 |
| III.6 Rapport DCO/PT et DBO5/PT | 38 |
| III.7 Rapport NH ₄ ⁺ /NTK | 38 |
| III.8 Rapport DBO5/ NTK | 38 |
| III.9 Rapport DCO/NTK | 39 |
| III.10 Rapport DBO5 / N à dénitrifier | 39 |
| III.11 Production des boues primaires / production des boues primaires théoriques | 39 |
| III.12 Rapport MS (extraites)/DCO..... | 39 |
| III.13 Rapport Polymère /MS (déshydratées)..... | 39 |
| III.14 Indice de boue ou l'indice de Molhman : | 41 |
| III.14.1 CHARGE MASSIQUE & l'âge des boues [30] : | 42 |
| Chapire IV : Présentation de la station d'épuration de Réghaia | |
| IV.1 Localisation : | 45 |
| IV.2 Présentation de la station d'épuration de Réghaia : | 45 |
| IV.3 Caractéristiques de la station : | 46 |
| IV.3.1 Les capacités nominaux de la STEP de Réghaia..... | 46 |
| IV.3.1.1 Capacité de la station 'charge hydraulique' | 46 |
| IV.3.1.2 Les valeurs nominales de paramètre de pollution 'les capacités nominales' | 46 |
| IV.3.1.3 Les seuils de quelque ratio (les objectives de la STEP) | 47 |

| | |
|---|----|
| IV.4 Principe de l'épuration biologique | 47 |
| IV.5 Fonctionnement de la station d'épuration : | 49 |
| IV.5.1 Dégrillage : | 49 |
| IV.5.2 Dessablage – déshuilage : | 49 |
| IV.5.3 Décantation primaire : | 50 |
| IV.5.4 Bassins d'aération : | 51 |
| IV.5.4.1 Chambre de répartition : | 51 |
| IV.5.4.2 Les agitateurs : | 51 |
| IV.5.4.3 Les pompes de recirculation interne : | 52 |
| IV.5.4.4 Les aérateurs de surface : | 52 |
| IV.5.4.5 Lame de débordement : | 53 |
| IV.5.4.6 Zone de dégazage : | 53 |
| IV.5.4.7 Contrôle et mesure de l'oxygène dissous : | 54 |
| IV.5.4.8 Déphosphatation simultanée : | 54 |
| IV.5.5 Décanteurs secondaires : | 55 |
| IV.5.5.1 Ouvrage de répartition : | 56 |
| IV.5.5.2. Mécanisme racleur : | 56 |
| IV.5.5.3 Goulotte des eaux décantées : | 56 |
| IV.5.5.4 Lames de débordement et paroi siphonide : | 57 |
| IV.5.5.5 Récupération des flottants : | 57 |
| IV.5.6 Filtration sur sable : | 57 |
| IV.5.7 Traitement des boues : | 58 |
| <u>Chapire V : Calcul des ratios & Interprétations des résultats</u> | |
| V.1 Introduction : | 60 |
| V.2 Interprétation des paramètres de pollution : | 60 |
| V.2.1 Evolution de débit d'eau à épurée : | 62 |
| V.2.2 Taux de dilution : | 63 |
| Méthodes de calcul du taux de dilution | 63 |
| V.2.3 Evolution des paramètres physico-chimiques : | 65 |
| V.2.3.1 Le potentiel hydrogène PH : | 65 |

| | |
|--|----|
| V.2.3.2 La conductivité électrique (CE) :..... | 66 |
| V.2.4 Les paramètres de la pollution particulaire :..... | 67 |
| V.2.4.1 Matières en suspension MES :..... | 67 |
| V.2.5 Evolution des paramètres de la pollution organique globale :..... | 68 |
| V.2.5.1 La demande chimique en oxygène (DCO) : | 68 |
| V.2.5.2 La demande biologique en oxygène (DBO5):..... | 69 |
| V.2.6 Evolution des paramètres de pollution dissoute | 70 |
| V.2.6.1 Le phosphore total : | 70 |
| V.2.6.2 Azote global (NGL) :..... | 71 |
| V.2.6.3 L'azote ammoniacal N-NH ₄ ⁺ :..... | 71 |
| V.2.6.4 L'azote nitrique (N-NO ₃ ⁻):..... | 72 |
| V.2.6.5 Azote nitreux N-NO ₂ ⁻ | 73 |
| V.3 Calcul et interprétation des ratios : | 73 |
| V.3.1 Ratios file eau :..... | 74 |
| V.3.1.1 Indice de biodégradabilité : Rapport DCO/DBO5..... | 74 |
| V.3.1.2 Rapport MES/DBO5 | 75 |
| V.3.1.3 NH ₄ /NTK..... | 76 |
| V.3.1.4 Le rapport DCO/NTK..... | 77 |
| V.3.1.5 DCO/Pt..... | 78 |
| V.3.1.6 Rapport nutritionnel : Rapport C/N/P : (Ratio DBO5/N-NH ₄ /P-PO ₄)..... | 78 |
| VI.3.2 File boues | 79 |
| VI.3.2.1 Indice de Mohlman (IM) :..... | 79 |
| VI.3.2.2 Taux de recirculation des boues :..... | 80 |
| VI.3.2.3 Quantité de boue réelle (T MS)/ Quantité polymère consommée kg :..... | 81 |
| VI.3.2.4 La matière organique par rapport à la matière sèche :..... | 82 |
| VI.3.2.5 La siccité des boues..... | 83 |
| VI.3.2.6 Consommation des polyméries : | 83 |
| V.3.3 File énergie :..... | 84 |
| V.3.3.1 Energie totale consommée..... | 84 |
| V.3.3.2 Efficacité énergétique hydraulique :..... | 85 |

| | |
|--|----|
| V.3.3.3 KWh total consommés /kg DCO éliminées..... | 85 |
| V.3.3.4 Efficacité énergétique épuratoire :..... | 86 |
| KWh total consommés /kg DBO5 éliminées..... | 86 |
| V.4 Discussion et recommandations : | 86 |
| V.4.1 Groupes électrogènes de secours :..... | 87 |
| V.4.2 Coûts énergétique | 87 |
| V.4.3 Coûts de ressources : | 88 |
| V.4.4 Le problème de l'Azote | 88 |
| V.5 Conclusion :..... | 88 |
| Conclusion général..... | 89 |
| Référence bibliographique..... | |
| Annexe..... | |

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 : valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels.....13

Tableau I.2 : les normes internationales des paramètres de rejets d'effluents liquides.....14

Chapitre II

Tableau II.1 : les différentes techniques extensives.....22

Tableau II.2 : classement des procédés par boues activées.....28

Tableau II.3 : les avantages et inconvénients de quelques techniques de traitement des boues.....31

Tableau II.4 : opérations élémentaires du traitement des boues.....32

Tableau II.5 : techniques de stabilisation.....32

Tableau II.6 : les avantages & inconvénients de chaque type de séchage.....33

Chapitre III

Tableau III.1 : autres indicateurs de performances et leur signification40

Tableau III.2 : indicateurs de performances, la limite de variation pour un effluent urbain...41

Tableau III.3 : valeurs seuil de l'indice de boue L'indice de boue est un outil indispensable.42

Chapitre V

Tableau V.1 : les paramètres de pollution pour eau usée et traitée la STEP de Réghaia.....61

Tableau V.2 : Consommation en énergie et en produit (STEP Réghaia).....62

Tableau V.3 : Taux de dilution et le volume d'eau claire parasite pour la station de Réghaia.....64

Tableau V.4 : Evaluation du ratio C/N/P.....79

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure I.1: dynamique de l'oxygène dissous dans le bouchon vaseux..... | 6 |
| Figure I.2: les différentes formes d'Azote..... | 8 |
| Figure I.3 : cycle de l'Azote..... | 9 |
| Figure I.4 : processus de décomposition lors de l'élimination de l'azote (Nitrification)..... | 10 |
| Figure I.5 : processus de décomposition lors de l'élimination de l'azote (dénitrification)..... | 10 |
| Figure II.1 : schéma de principe du procédé de traitement des eaux..... | 17 |
| Figure II.2 : le poste de prétraitement des eaux usée | 18 |
| Figure II.3 : les différents procédés de Traitements par voie microbiologique..... | 21 |
| Figure II.4 : schémas de principe de la filière..... | 23 |
| Figure II.5 : le lagunage naturel conception et réalisation, les règles de l'art..... | 23 |
| Figure II.6: les étapes de traitement disque biologique..... | 26 |
| Figure II.7: les étapes de traitement par la méthode lit bactérien..... | 26 |
| Figure II.8 : description des étapes de traitement par boues activée..... | 27 |
| Figure V.1 : évolution du débit d'entrée d'avril 2011 à décembre 2013 pour la STEP de Réghaia..... | 62 |
| Figure V.2 : taux de dilution de la charge hydraulique à l'entrée de la STEP de Reghaia..... | 65 |
| Figure V.3: évolution du pH d'avril 2011 à décembre 2013 pour la STEP de Réghaia..... | 65 |
| Figure V.4 : évolution de la conductivité d'avril 2011 à septembre 2013 pour la STEP de Réghaia..... | 66 |
| Figure V.5 : évolution de la concentration en MES d'avril 2011 à décembre 2013 pour la STEP de Réghaia..... | 67 |
| Figure V.6 : Evolution de la demande chimique en oxygène d'avril 2011 à décembre 2013 pour la STEP de Réghaia..... | 68 |
| Figure V.7 : évolution de la demande biologique en oxygène d'avril 2011 à décembre 2013 pour la STEP de Réghaia..... | 69 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure V.8: évolution de la concentration du phosphore total d'aout 2011 à décembre 2013 pour la STEP de Réghaia..... | 70 |
| Figure V.9 : évolution de la concentration en azote global d'août 2011 à décembre 2013 pour la STEP de Réghaia..... | 71 |
| Figure V.10 : évolution de la concentration d'azote ammoniacal de novembre 2011 à décembre 2013 pour la STEP de Réghaia..... | 71 |
| Figure V.11: évolution de la concentration d'azote nitrique de novembre 2011 à décembre 2013 pour la STEP de Réghaia..... | 72 |
| Figure V.12 : évolution de la concentration d'azote nitreux de novembre 2011 à décembre 2013 pour la STEP de Réghaia..... | 73 |
| Figure V.13 : variation de ratio DCO/DBO5 d'avril 2011 à décembre 2013 pour la STEP de Réghaia..... | 74 |
| Figure V.14 : la variation de ratio MES/DBO5 à l'entrée de la STEP de Réghaia pour la période février 2011 jusqu'à décembre 2013 | 75 |
| Figure V.15 : degré d'ammonification de l'effluent NH4/NTKV..... | 76 |
| Figure V.16 : évolution du rapport DCO/NTK de novembre 2011 à décembre 2013..... | 77 |
| Figure V.17 : fluctuation de ratio DCO/Pt pour l'effluent de la STEP de Réghaia..... | 78 |
| Figure V.18 : variation de l'indice de Mohlman de janvier 2012 à décembre 2013 pour la STEP de Réghaia..... | 79 |
| Figure V.19: la variation de la recirculation des boues de la STEP de Réghaia pour la période 2012-2013. | 80 |
| Figure V.20 : la fluctuation de ratio de la consommation en polymère pour la station d'épuration de Réghaia (janv-12 à déc-13)..... | 81 |
| Figure V.21: la variation de pourcentage MVS dans les boues par rapport à la matière sèche totale (janv-12 àDéc-13) | 82 |
| Figure V.22 : la fluctuation de la siccité des boues de la STEP de Réghaia..... | 83 |
| Figure V.23: l'évolution de la consommation des polymères pour la STEP de Réghaia de février 2011 à décembre 2013..... | 83 |
| Figure V.24: l'évolution de la consommation énergétique pour la station d'épuration de Réghaia..... | 84 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure V.25: évolution de l'efficacité énergétique hydraulique de la STEP de Réghaia..... | 85 |
| Figure V.26: évolution du ratio kWh total consommés par la station / kg DCO éliminées pour la STEP de Réghaia (février 2011 à Décembre 2013) | 85 |
| Figure V.27: évolution du ratio kWh total consommés par la station / DBO5 éliminés éliminés pour la STEP de Réghaia..... | 86 |
| Figure V.28 : présentation de nombre de coupures électriques et leurs durées pour la STEP de Réghaia..... | 87 |

Liste des photos

| | |
|---|----|
| Photo IV.1 : vue de dessus de la STEP | 45 |
| Photo IV.2 : dégrilleur, tapis roulant..... | 49 |
| Photo IV.3 : bassin de dessablage-déshuilage..... | 49 |
| Photo IV.4 : la remontée des graisses..... | 50 |
| Photo IV.5 : bassin de décantation primaire avant la mise en eau..... | 50 |
| Photo IV.6 : bassin de décantation primaire | 50 |
| Photo IV.7 : bassin d'aération..... | 51 |
| Photo IV.8 : bassin d'aération zone aérée..... | 52 |
| Photo IV.9 : bassin d'aération zone anoxie..... | 52 |
| Photo IV.10 : lame de débordement..... | 53 |
| Photo IV.11 : bassin d'aération zone de dégazage..... | 53 |
| Photo IV.12 : équipement d'injection de chlorure ferrique..... | 54 |
| Photo IV.13 : Décanteurs secondaires..... | 56 |
| Photo IV.14 : Filtration au sable..... | 57 |
| Photo IV.15 : Filtration au sable avec la mise en eau..... | 58 |
| Photo IV.16: centrifugeuse | 58 |
| Photo IV.17 : Boues déshydratées..... | 48 |

Abréviations utilisées

Cm : Charge massique

COT : Carbone organique total

DBO5 : Demande biochimique en oxygène

DCO : Demande chimique en oxygène

DTO : Demande totale en oxygène

EH : Equivalent habitant

IM : Indice de Molhman

MES : Matières en suspension

MM : Matières minérales

MS : Matière sèche

MVS : Matières volatiles en suspension

NGL : Azote global

NTK : Azote Kjeldahl

OMS : Organisation mondiale de la santé

PT : Phosphore total

SEAAL : Société des Eaux et de l'Assainissement Algérie

T MS : Tonne de matière sèche extraite

STEP : Station d'épuration des eaux usées

μS : Micro siemens

Introduction générale

La qualité de l'eau se dégrade à cause de développement des activités économiques et la croissance démographique.

Lorsque les rejets dépassent la capacité auto épuratoire l'eau elle sera déclarée polluée.

Pour rendre l'équilibre à cet environnement vers les années 1914, l'homme à essayer de copier la nature pour développer des stations d'épuration des eaux usées dans but d'améliorer la qualité des eaux avant le déversement dans la nature.

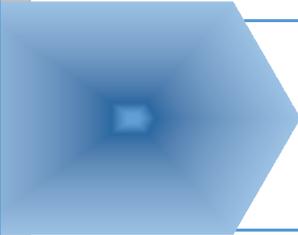
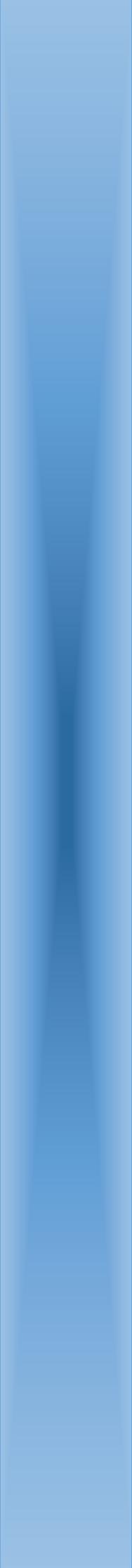
Ces techniques ne cessent d'évoluer dans le temps, afin de répondre aux exigences des normes qui sont devenues de plus en plus exigeantes, strictes pour répondre aux nouveaux défis environnementaux.

Aujourd'hui le traitement des eaux usées constitue le premier enjeu de la santé publique dans le monde entier. Des milliers d'enfants meurent chaque jour à cause des maladies à transmission hydrique liées à l'absence de traitement des eaux et l'absence d'hygiène.

La protection de l'environnement et les ressources naturelles est devenu aujourd'hui une préoccupation .L'eau est une source vulnérable et indispensable à l'être vivant,

Les stations d'épuration jouent un rôle important pour la préservation de l'environnement. La bonne gestion des stations d'épuration est un facteur essentiel pour assurer la bonne qualité de l'eau épurée avec un minimum de dépense.

Cette étude consiste à identifier, pour la station d'épuration de Réghaia, des indicateurs de suivi et d'optimisation en traitant les données disponibles des années antérieures. L'étude des indicateurs de performance permet proposer quelque recommandations afin d'améliorer l'efficacité de traitement et économiser les couts.



Chapitre I

Origines de la pollution, Paramètres & Normes de rejet

I.1 Introduction

En effet, la notion de qualité de l'eau varie en fonction de l'usage et quel que soit l'emploi fait de l'eau, il demeure essentiel que sa qualité soit préservée. Comme son contenu varie beaucoup, il s'agit de définir les valeurs moyennes des caractéristiques de la plupart des eaux naturelles et salubres.

I.2 L'origine de pollution des milieux aquatique

Les activités humaines sont la cause principale de la pollution des milieux aquatiques.

I.2.1 Pollutions organiques

Les matières organiques émanent essentiellement des activités agricoles et industriels et aussi particulières ou domestiques (excréments, ordures ménagères animales ou végétales pour les particuliers ; déjections animales pour les exploitations agricoles ; déchets végétaux ou animaux pour les industries comme la papeterie, la tannerie ou les industries agroalimentaires). Or ces déchets, notamment les excréments, contiennent des microbes : bactéries, virus... : cette pollution peut donc entraîner des maladies (pollution microbiologique) [1].

I.2.2 Pollutions chimiques

Permis les causes majeures de pollution des eaux souterraines et des eaux de surface nous distinguons l'agriculture (culture et élevage). Les engrais (nitrates, phosphates, mais aussi parfois métaux lourds et pesticides utilisés pénètrent dans le sol, puis dans l'eau. Les médicaments et compléments alimentaires donnés aux animaux d'élevage pourraient également être source de pollution [1].

Les particuliers, commerçants et artisans (eaux usées gérées par les villes) sont également à l'origine de pollutions des eaux.

Les produits chimiques utilisés (produits de nettoyage, pesticides, peinture...) sont le plus souvent rejetés dans les canalisations. Les résidus de médicaments (absorbés puis rejetés dans les eaux usées) constituent également une source de pollution.

Les activités industrielles constituent est autre source de pollution majeure, rejettent des métaux, des hydrocarbures, des acides... Elles peuvent provoquer le réchauffement des eaux ainsi que la dégradation de la faune et la flore dans le milieu récepteur.

Il existe d'autre causes de pollutions naturelles, comme : dissolution dans l'eau de matières organiques à cause de l'érosion ou de certains phénomènes naturels comme les éruptions volcaniques.

Pour lutter contre ces différentes pollutions et préserver les richesses nationales, les pouvoirs publics ont mis en place différents plans d'action ciblés, qui visent notamment à améliorer les connaissances sur les impacts de certains polluants (médicaments, micropolluants) sur le milieu aquatique (plan micropolluants, plan médicaments...) [2].

I.3 Les paramètres de pollution des eaux usées

I.3.1 Les paramètres physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques sont des paramètres simples à mesurer. On les mesure généralement sur le terrain.

I.3.1.1 La température

La température est un paramètre physique dont la détermination et le contrôle sont importants, elle est souvent négligée dans les collecteurs urbains, mais elle devrait être plus souvent mesurée surtout dans le cas de rejets industriels. En effet, elle joue un rôle très important dans la solubilité des sels et surtout des gaz, et la détermination du pH, elle a aussi une influence sur :

L'activité de la biomasse nitrifiante : les organismes nitrifiants se développent très lentement à basse température et leur taux de croissance dépend fortement de la température [3].

Les propriétés de décantation : quand la température augmente, l'indice de décantation augmente car la densité des floccs diminue [3].

La toxicité : l'effet toxique des substances chimiques est plus grand à température élevée [4].

La demande biologique en oxygène : une augmentation de la température conduit à une augmentation de la consommation de l'O₂ dissous [4].

La concentration de saturation de l'oxygène dissous : plus l'eau est chaude, plus cette concentration limite diminue et par conséquent, la réserve d'oxygène disponible pour les processus d'épuration est faible [5].

Les cinétiques de croissance de la biomasse : Pour des températures inférieures à leur température optimale, les microorganismes ralentissent leur activité métabolique et par la même la vitesse de dégradation de la pollution [3].

L'élimination biologique du phosphore : Une augmentation de la température favorise l'élimination biologique du phosphore. Trois raisons expliquent ce phénomène [6]

La demande biologique en oxygène : une augmentation de la température conduit à une augmentation de la consommation de l'O₂ dissous [2].

I.3.1.2 Le pH

Le potentiel Hydrogène, plus connu sous le nom de pH est un paramètre fondamental de caractérisation des eaux usées, permet de mesurer la concentration en ions H⁺ de l'eau, il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14.

Le pH joue un rôle primordial à la fois :

- Dans les propriétés physico-chimiques (acidité, alcalinité).
- Dans les processus biologiques dont certains exigent des limites très étroites de pH.
- Dans l'efficacité de certains traitements.

Il influence la plupart des mécanismes chimiques et biologiques dans les eaux, son rôle est capital pour la croissance des microorganismes qui ont généralement un pH optimum variant de 6,5 à 7,5. Lorsque le pH est inférieur à 5 ou supérieur à 8,5, la croissance des microorganismes est directement affectée.

Le pH diminue en présence des teneurs élevées en matière organique et augmente en période d'étiage [7].

I.3.1.3 L'oxygène dissous

L'oxygène dissous est en fait la quantité d'oxygène présente en solution dans l'eau à une température donnée.

L'oxygène dissous dans l'eau provient des échanges air-eau et résulte également de processus de photosynthèse (phytoplancton et macrophyte). L'oxygénation des eaux est également régulée par les conditions physiques et physico-chimiques du milieu : une hausse de la température ou de la salinité, un hydrodynamisme insuffisant sont autant de facteurs limitant cette oxygénation.

L'oxygène dissous est par ailleurs consommé par les organismes vivants d'une part (respiration), lors de la dégradation de la fraction organique présente et l'oxydation de substances chimiques réduites d'autre part. Ces deux derniers processus sont naturels. En revanche, depuis plusieurs décennies, les activités anthropiques ont augmenté de manière accrue les apports nutritifs (rejets industriels, urbains ou agricoles) engendrant des déficits en oxygène parfois très importants (eutrophisation des eaux et dégradation de la matière organique produite, oxydation directe de l'ammonium) [8].

Dynamique de l'oxygène dissous et rôle épurateur du bouchon vaseux

Dans la zone de turbidité maximale, processus de production et de consommation d'oxygène dissous coexistent (Figure 1). Les apports en oxygène se limitent quasiment aux échanges atmosphériques entre air et eau, du fait que toute production primaire est très limitée en raison de la faible transparence des eaux turbides. Plus l'agitation des eaux au cours des cycles de marée sera forte plus la ré-aération des eaux sera efficace [8].

En parallèle, la consommation d'oxygène dissous est très importante à cause de la respiration des bactéries présentes et de la dégradation de la matière organique présente dans ce milieu. Sont considérés deux types de respirations : la respiration « dissoute » réalisée par les bactéries libres et la respiration « particulaire » correspondant à la respiration des bactéries attachées aux particules en suspension. Cette dernière est dépendante de la concentration en MES. Le bouchon vaseux est donc une zone où se produit une très forte

dégradation de la matière organique particulaire (MOP) ou dissoute (MOD) présentes dans les eaux estuariennes d'origine naturelle ou anthropique [8].

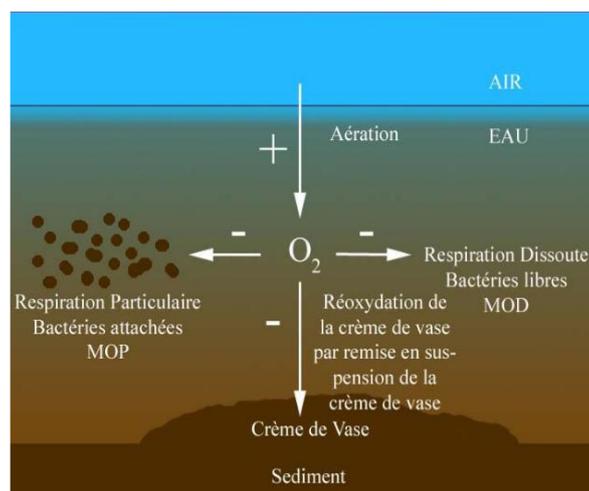


Figure I.1 : dynamique de l'oxygène dissous dans le bouchon vaseux

Parmi les conséquences de manque d'oxygène dans l'eau, l'eutrophisation

I.3.1.4 La conductivité

La conductivité électrique (EC) est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. La plupart des sels minéraux en solution sont de bons conducteurs. Par contre, les composés organiques sont de mauvais conducteurs. La conductivité électrique standard s'exprime généralement en milli siemens par mètre (mS/ m) à 20 °C. La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

L'estimation de la quantité totale de matières dissoutes peut être obtenue par la multiplication de la valeur de la conductivité par un facteur empirique dépendant de la nature des sels dissous et de la température de l'eau. La connaissance du contenu en sels dissous est importante dans la mesure où chaque organisme aquatique a des exigences propres en ce qui concerne ce paramètre. Les espèces aquatiques ne supportent généralement pas des variations importantes en sels dissous qui peuvent être observées par exemple en cas de déversements d'eaux usées [9].

I.3.1.5 La turbidité

La turbidité est la mesure de l'aspect plus ou moins trouble de l'eau; c'est l'inverse de la limpidité.

Techniquement, la turbidité correspond à la propriété optique de l'eau permettant à une lumière incidente d'être déviée (diffraction) ou absorbée par des particules plutôt que transmise en ligne droite [12]. Elle est causée par diverses matières particulaires ou colloïdales composées de limon, d'argile, de composés organiques ou inorganiques ainsi que du plancton et d'autres micro-organismes. Les sources de matières particulaires peuvent être d'origine naturelle (acides humiques, particules provenant de la dégradation des végétaux ou de l'érosion du sol) ou anthropique (rejets industriels, agricoles et urbains) [11].

Dans le réseau de distribution, après le traitement de l'eau, la turbidité peut s'accroître par la post-floculation de coagulants résiduels dissous, la recroissance de micro-organismes, la remise en suspension de la matière déposée dans les canalisations ainsi que par la corrosion de la tuyauterie [12].

I.3.2 Les paramètres de la pollution particulaire :

I.3.2.1 Matières en suspension (MES)

C'est la quantité de pollution organique et minérale non dissoute dans l'eau, ces particules minérales ou organiques sont présentes dans les eaux naturelles ou polluées. Elles sont exprimées en mg/l. [13]

Les M.E.S. comprennent:

- MM: matières minérales
- MVS: matières volatiles en suspension.

$$\text{MES} = \text{MM} + \text{MVS}$$

Les MES comprennent les matières décantables et colloïdes, mais pas les matières dissoutes. Elles incluent les argiles, les sables, les limons, les matières organiques et minérales de faible dimension, le plancton et autres micro-organismes de l'eau. Elles représentent la cause essentielle de la turbidité de l'eau.

Par leur effet obscurcissant, les MES présentes dans les eaux diminuent l'efficacité de la photosynthèse qui contribue à l'aération de l'eau. Les organismes vivants peuvent alors manquer d'oxygène ce qui baisse la productivité du milieu récepteur. Par ailleurs, les MES donnent à l'eau un aspect sale et trouble, elles peuvent aussi accumuler des quantités élevées

de matières toxiques (métaux, pesticides, huiles minérales, hydrocarbures aromatiques polycycliques...). [14]

I.3.3 Les paramètres de la pollution organique globale

I.3.3.1 Demande biochimique en oxygène (DBO)

Elle est définie comme étant la quantité d'oxygène consommée par des microorganismes pour assurer la dégradation par voie biologique de certaines matières organiques (biodégradables) [15].

Sa détermination consiste à mesurer la quantité totale de l'oxygène consommée par des processus biochimiques, au cours de l'oxydation des matières organiques dans un échantillon donné dans les conditions de l'essai (incubation à 20°C et à l'obscurité).

La DBO a été standardisée en DBO5, mesurée au bout de 5 jours, considérée comme une période significative du processus global de biodégradation qui prend des semaines.

Ce paramètre constitue un bon indicateur de la teneur en matières organiques biodégradables d'une eau, et donne une indication indirecte de l'activité bactérienne [16].

I.3.3.2 La demande chimique en oxygène (DCO) : [13,17]

La DCO est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières organiques y compris les matières biodégradables et non biodégradables par voie chimique. Vu la simplicité de mesure de DCO et sa précision, il s'est avéré nécessaire de développer des corrélations entre la DBO5 et la DCO ainsi le rapport DCO/ DBO5 des eaux usées urbaines est proche de 2 mg/l [13], le rapport DCO/ DBO5 des effluents domestiques est de 1,9 à 2,5 [17].

I.3.4 Les paramètres de la pollution dissoute :

I.3.4.1 Azote

L'azote présent dans l'eau se trouve sous deux formes :

Minérales et organique :

L'azote minéral est principalement sous forme d'azote moléculaire, (N₂), d'ion d'ammonium (NH₄⁺), d'ion nitrite (NO₂⁻) et d'ion nitrate (NO₃⁻).

L'azote organique est présent sous forme de

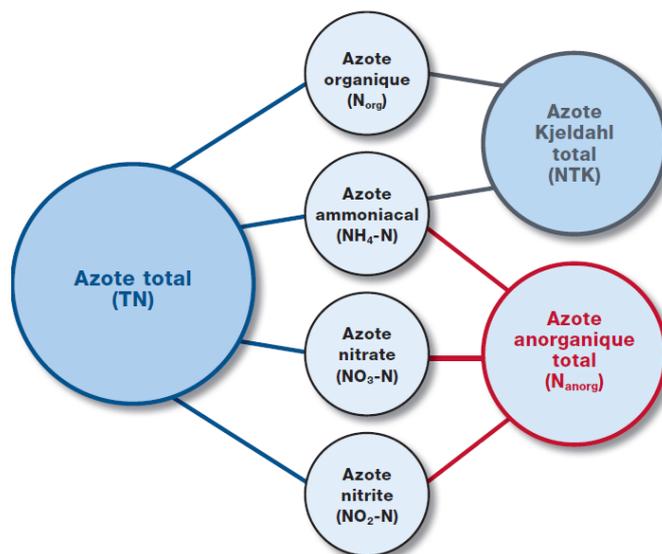
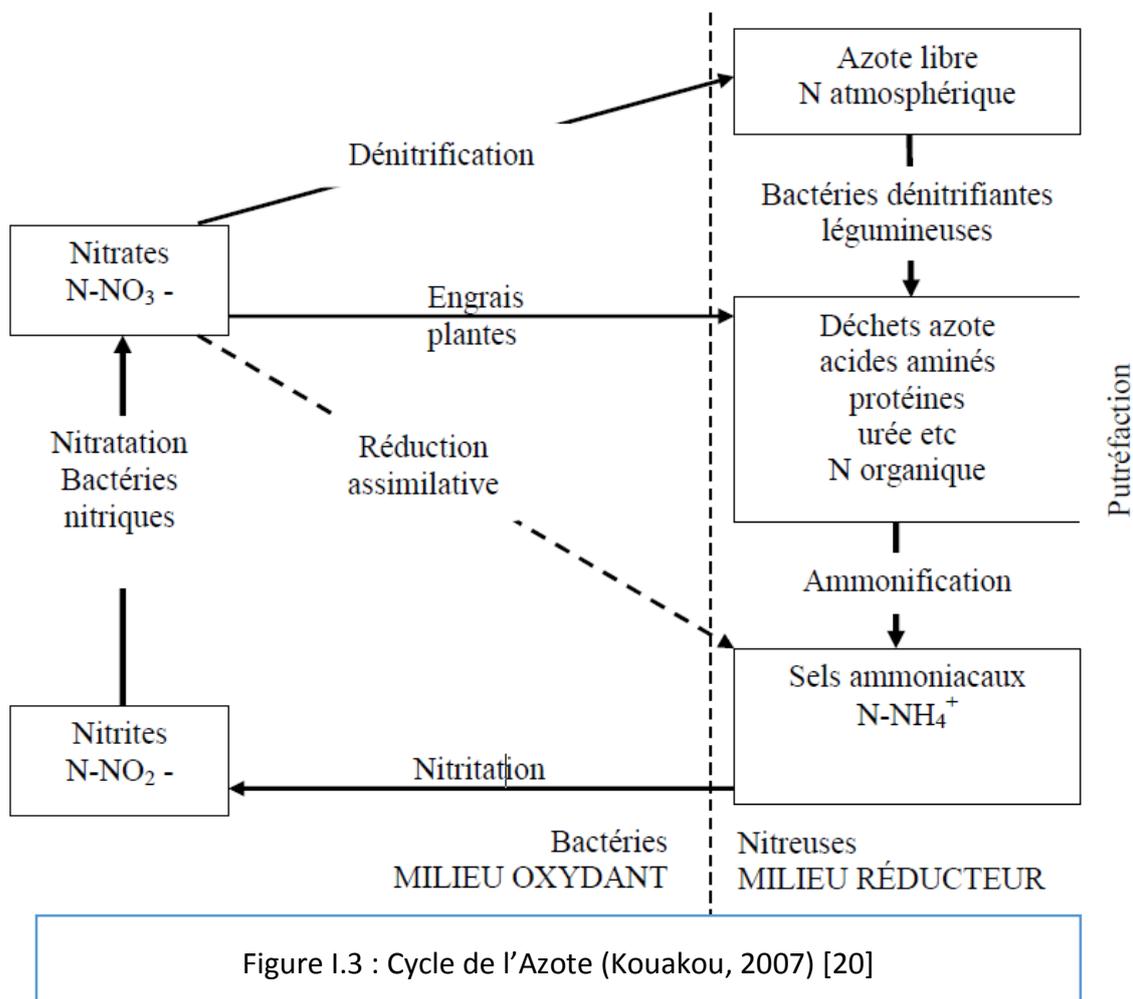


Figure I.2: les différentes formes d'Azote

protéines qui donnent par hydrolyse des acides aminés conduisant eux-mêmes par condensation aux peptides et polypeptides. Il se trouve également dans une grande variété d'autres combinaisons organique (urée, acide urique, créatinine etc...) [19]



L'impact des composés azoté sur le milieu aquatique

Les composés azotés ont des effets différents sur les eaux usées [18] :

Azote organique : abaisse considérablement la concentration en oxygène

NH₄⁺ : abaisse la concentration en oxygène, toxique pour les poissons lorsque le pH est supérieur à 8.

NO₃⁻ : favorise l'eutrophisation

NO₂⁻ : très toxique pour les poissons.

Elimination de l'azote [18]

Les eaux qui arrivent dans une station d'épuration contiennent majoritairement de l'azote organique (carbamide, albumine, etc.) et de l'azote ammoniacal. Le rapport entre les deux paramètres dépend entre autres de la longueur du réseau de canaux, car c'est là que commence la transformation de l'azote organique en $\text{NH}_4\text{-N}$. Dans la station d'épuration, l'ammonification se poursuit jusqu'à ce que l'azote à l'entrée du bassin des boues activées se présente principalement sous forme de $\text{NH}_4\text{-N}$

Nitrification (aérobie)

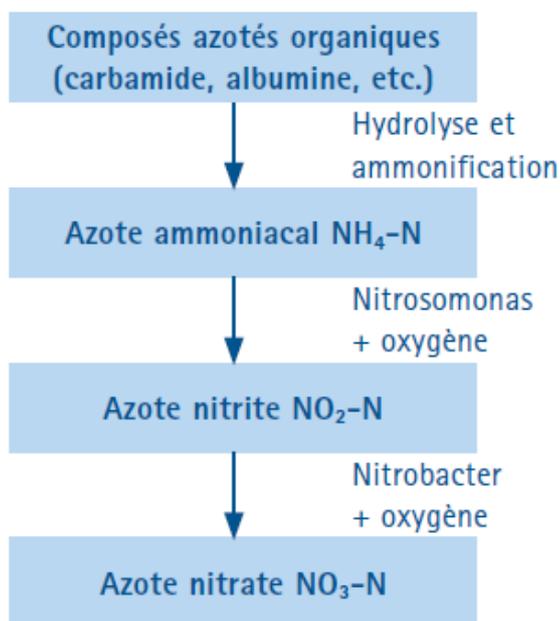


Figure I.4 : processus de décomposition lors de l'élimination de l'azote (Nitrification)

Dénitrification [18]

Dans des conditions anoxiques, la transformation du $\text{NO}_3\text{-N}$ en azote élémentaire s'effectue via les produits intermédiaires $\text{NO}_2\text{-N}$ et $\text{NO}/\text{N}_2\text{O}$. La dénitrification a lieu avant (en amont), pendant (simultanément) ou après (en aval, rarement) la purification biologique.

Pour cette étape, il est important de disposer d'une quantité suffisante de carbone (majoritairement du

Nitrification

Lors du traitement biologique des eaux usées, le $\text{NH}_4\text{-N}$ est transformé en $\text{NO}_2\text{-N}$ puis en $\text{NO}_3\text{-N}$ grâce à l'apport d'oxygène. Cependant, les microorganismes responsables de la nitrification (Nitrosomonas et Nitrobacter) sont très fragiles. Ils ont besoin de températures constantes (jamais inférieures à $12\text{ }^\circ\text{C}$), d'un rapport C/N/P favorable et d'une alimentation en oxygène suffisante. L'âge des boues doit être adapté à la lente croissance des nitrifiants. Si la nitrification s'interrompt, le processus mettra plusieurs jours à se stabiliser.

Dénitrification (anaérobie)

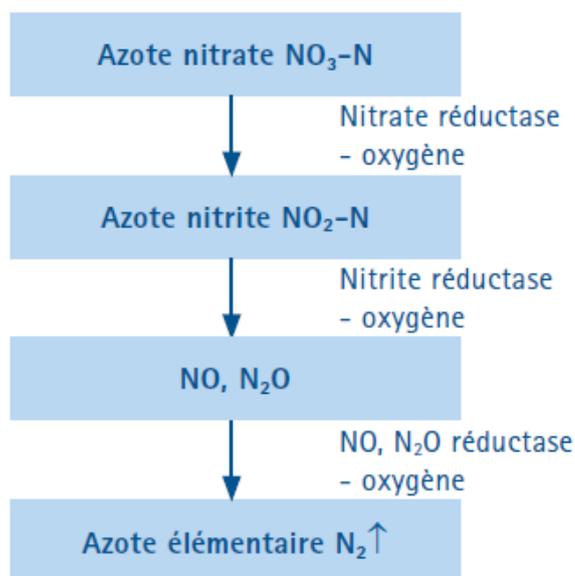


Figure I.5 : processus de décomposition lors de l'élimination de l'azote (dénitrification)

méthanol) facilement dégradable. Il ne doit rester aucune trace d'oxygène dissous.

I.3.4.2 Phosphore

Élément indispensable à la vie des algues, la présence de phosphore entraîne un risque d'eutrophisation du cours d'eau ou du lac, c'est-à-dire que celui-ci peut se voir envahi par un développement excessif de la population algale [21].

Comme l'azote, le phosphore se présente sous deux formes :

Minérales et organique

Le phosphore minéral est présent principalement sous formes d'ortho-phosphate (PO_4^{3-}), de phosphures, de diverses combinaisons minérales comme le triphosphate de sodium, le pyrophosphate tétra-sodique et l'héxamétaphosphate de sodium.

Le phosphore organique présent dans les combinaisons cellulaires organique soit en tant qu'élément de base de substances bien déterminées, soit en tant qu'élément 'mobile' du métabolisme cellulaire.

I.3.4.3 L'eutrophisation

L'eutrophisation est "l'asphyxie des eaux d'un lac ou d'une rivière" due à un apport exagéré de substances nutritives ' notamment le phosphore 'qui augmentent la production d'algues et de plantes aquatiques [1].

Les principales nuisances liées à l'eutrophisation sont :

- 1) une modification de l'équilibre carbonique et une élévation du pH le jour par accroissement de la photosynthèse, ce qui peut provoquer des phénomènes de toxicité aigüe par l'ammoniac;
- 2) une gêne pour la production d'eau potable du fait de la prolifération de phytoplancton, qui perturbe la décantation et la filtration, et du fait de la sécrétion de substances toxiques par certaines algues, qui confèrent un goût désagréable à l'eau;
- 3) un risque de relargage de substances indésirables ou toxiques (hydrogène sulfuré, métaux lourds, ...) par le dépôt de matière organique dans le lit des cours d'eau et le fond des lacs;
- 4) une toxicité pour le poisson dans les cas extrêmes, soit par colmatage direct des branchies, soit en raison des sécrétions des algues.

I.3.5 Les paramètres toxiques

La pollution toxique de l'eau a plusieurs origines : elle peut provenir des rejets ponctuels (industries, stations d'épuration urbaines...), de rejets ponctuels dispersés (DTQD : déchets

toxiques en quantités dispersées: rejets de nombreuses PMI, PME, artisans...) et/ou de rejets diffus moins bien connus (épandage de produits phytosanitaires en agriculture, retombées de micropolluants émis dans l'atmosphère, lessivages des voies routières et autoroutières,...).

On dénombre environ cent mille molécules chimiques commercialisées sous plus d'un million de formes différentes. Toutes ne sont pas toxiques, mais leurs produits de dégradation peuvent l'être.

Les substances toxiques peuvent être présentes dans le milieu naturel et dans les rejets sous plusieurs formes :

- dissoutes dans l'eau,
- adsorbées sur les matières en suspension et/ou les sédiments,
- accumulées dans les tissus des organismes aquatiques animaux ou végétaux [23].

I.3.6 Les paramètres microbiologiques

I.3.6.1 Protozoaires :

Ils sont présents dans les eaux usées à l'état de kystes. La principale forme pathogène pour l'homme est *Entamoebahistolytica*, agent responsable de la dysentérie amibienne [24].

I.3.6.2 Helminthes

Les helminthes sont rencontrés dans les eaux usées sous forme d'œufs et proviennent des excréta des personnes ou d'animaux infectés et peuvent constituer une source de réinfection par voie orale, respiratoire ou par voie cutanée [25].

I.3.6.3 Virus

Une eau fortement turbide protège les virus et augmente leur transmission. La coagulation chimique peut enlever entre 88 et 99.8 % des virus. La filtration enlève une quantité variable de virus. La meilleure méthode d'enlèvement des virus demeure la désinfection [26].

I.4 Méthode normalisée pour la mesure de pollution [22] :

DBO5 : norme NF T 90-103

DCO : norme NF T 90-101

MES : norme NF T 90-105 (2)

: norme NF EN 872

NTK : (azote Kjeldahl) qui correspond à la somme de l'azote sous forme ammoniacale et organique, norme EN 25663

NH4 : norme NF T 90-015

NO3 : norme NF T 90-045

PT : norme NF EN 1189

À côté de ces méthodes normalisées, il existe des méthodes « rapides » réalisées sur des volumes d'échantillons réduits et qui font souvent appel, en final, à une mesure par colorimétrie. Ces analyses rapides sont proposées par Hach, Merck, Hydrocure...

I.5 Norme de rejet

I.5.1 Normes des effluents en Algérie

D'après le décret exécutif nA 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels qui fixent les valeurs limites de rejets d'effluents liquides industriels et obligent toutes les installations générant des rejets d'effluents liquides industriels à assurer un traitement aboutissant à des rejets définies dans le tableau suivant

Tableau I.1: valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels

| PARAMETRES | VALEURS MAXIMALES | PARAMETRES | VALEURS MAXIMALES |
|--------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| Températures | 30 C° | Fer | 5 mg/l |
| PH | 6,5 à 8,5 | Manganèse | 1 mg/l |
| Mes | 30 mg/l | Mercure | 0,01 mg/l |
| DBO5 | 40 mg/l | Nickel | 5 mg/l |
| DCO | 120 mg/l | Plomb | 1 mg/l |
| Azote Kjeldahl | 40 mg/l | Cuivre | 3 mg/l |
| Phosphates | 02 mg/l | Zinc | 5 mg/l |
| Cyanures | 0,1 mg/l | Huiles et Graisses | 20 mg/l |
| Aluminium | 5 mg/l | Hydrocarbures | 20 mg/l |
| Cadmium | 0,2 mg/l | Phénols | 0,5 mg/l |
| Chrome 3+ | 3,0 mg/l | Solvant-organique | 20 mg/l |
| Chrome 6+ | 0,1 mg/l | Chlore actif | 1,0 mg/l |
| Détergents | 2 mg/l | PCB | 0,001 mg/l |
| Tensio-actifs anioniques | 10 mg/l | | |

I.5.2 Normes Internationale

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

| Caractéristiques | Normes utilisées (OMS) |
|------------------|------------------------|
| PH | 6,5-8,5 |
| DBO5 | <30 mg/l |
| DCO | <90 mg/l |
| MES | <20 mg/l |
| NH+4 | <0,5 mg/l |
| NO2 | 1 mg/l |
| NO3 | <1 mg/l |
| P2O5 | <2 mg/l |
| Température T | <30°C |
| Couleur | Incolore |
| Odeur | Inodore |

Tableau I.2: les normes internationales des paramètres de rejets d'effluents liquides.

I.6 Notion d'équivalent habitant

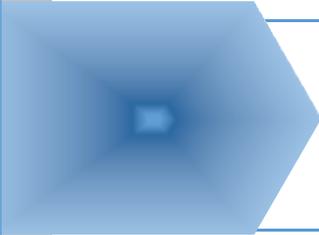
L'équivalent habitant (éq. h.) correspond à la quantité de pollution rejetée par un habitant quotidiennement.

L'arrêté du 10 décembre 1991 définit les quantités journalières suivantes pour chaque habitant

- 90 g de matières en suspension ;
- 57 g de matières oxydables ;
- 15 g de NTK ;
- 4 g de phosphore total.

Les matières oxydables (MO) correspondent à une moyenne pondérée de la DCO et de la DBO5, mesurées après une décantation de 2 h, suivant la formule :

$$MO = \frac{DCO + 2 * DBO5}{3}$$



Chapitre II

Les différents étapes & Procédés de traitement

II.1 Introduction

Les eaux usées sont chargées de déchets qui sont de nature à polluer les milieux dans lesquelles elles seront déversées. Dans un souci de respect de l'environnement, le traitement de ces eaux sont indispensables.

Ces traitements peuvent être réalisés de manière collective dans une station d'épuration ou de manière individuelle. La plupart des stations d'épuration fonctionnent selon les mêmes processus de base, mais des différences plus ou moins importantes peuvent exister dans la manière de mettre en place ces processus [27].

Il existe plusieurs filières, mais le choix d'un procédé de traitement doit être adéquat du point de vue climatique, des applications attendues et de l'investissement [28].

II.2 Étapes du traitement

Le traitement des eaux usées se fait par des stations d'épurations et nécessite une succession d'étapes faisant appel à des traitements physiques, physico-chimiques et biologiques.

En dehors des plus gros déchets présents dans les eaux usées, l'épuration doit permettre, au minimum, d'éliminer la majeure partie de la pollution carbonée.

Selon le degré d'élimination de la pollution et les procédés mis en œuvre, trois étapes de traitement sont définis [29]; ces étapes sont représentées sur (Figure II.1) :

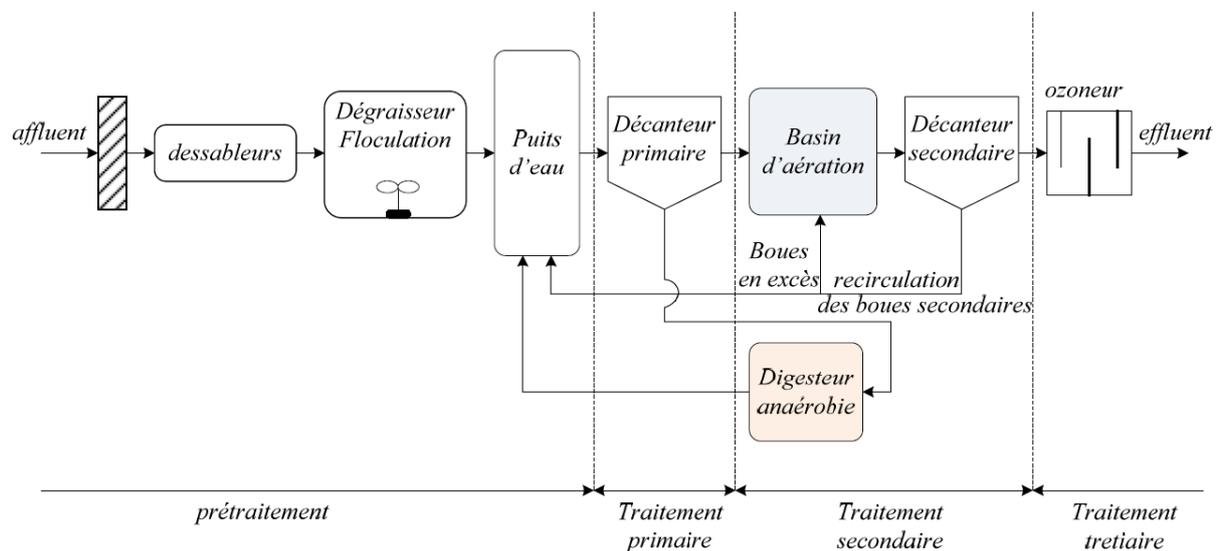


Figure II.1: schéma de principe du procédé de traitement des eaux

II.2.1 Prétraitement

Le prétraitement est une étape primordiale dans la chaîne d'épuration des eaux usées quelle que soit la taille de la station.

Le rôle de prétraitement est l'élimination des matières grossières et les éléments susceptibles d'endommager les filières ultérieures. Pour ce faire, l'effluent passe en premier lieu par un dégrilleur, destiné à séparer les éléments grossiers de l'effluent liquide, avant d'arriver dans un dessableur-dégraisseur qui sont des opérations physiques ou mécaniques.

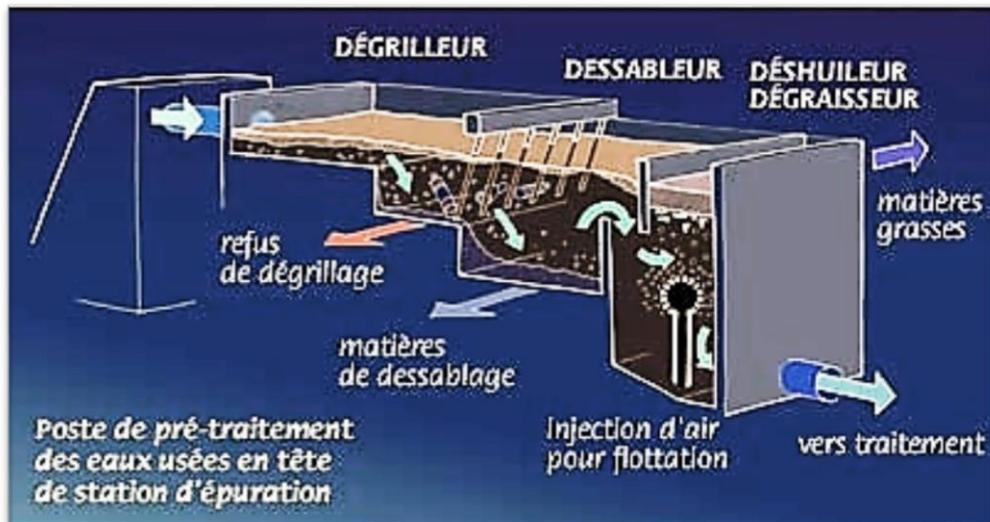


Figure II.2 : le poste de prétraitement des eaux usées

La défaillance de ces filières a une incidence négative sur le rendement épuratoire global. Même si ces équipements ont des rendements modestes en termes d'abattement de pollution, ils ont une fonction majeure de protection des équipements situés en aval [30].

II.2.1.1 Dégrillage

Cette étape consiste en fait à faire passer l'effluent à travers une grille de façon à le débarrasser de ces plus importants éléments en suspension.

Son rôle est une protection mécanique des pompes et permet de limiter aussi la présence de dépôts et filasses dans les ouvrages à l'aval [30].

Le dégrillage est classé en trois catégories selon l'écartement entre les barreaux de la grille:

- un dégrillage grossier : espacement de 30 à 100mm,
- un dégrillage moyen : espacement de 10 à 25mm,
- un dégrillage fin : espacement de 3 à 10mm [31].

Principe et technique

Déchets grossiers (taille)

- Dégrillage moyen (1 à 10 cm)
- Dégrillage fin (1-15 mm)

Vitesse écoulement suffisante: déchets appliqués sur les grilles : 0,5 -1,0 m/s

Distance entre barreaux : 0,1 à 10 cm,

Nettoyage des grilles

- Manuel: petites stations (peignes)
- Automatique: peignes automatiques (courbes, droits ou en chaîne continue) [32]

II.2.1.2 Déshuilage-dégraissage

Sa fonction consiste à faire remonter les matières grasses en surface de manière à permettre leur récupération et leur élimination.

Le dégraissage vise à réduire les risques de colmatage (par solidification des graisses), de flottation, de réduction des transferts d'oxygène notamment dans le bassin d'aération (par adsorption du floc et la création d'une pellicule en surface d'ouvrages) et le risque de moussage et de développement de bactéries filamenteuses (en constituant un substrat privilégié pour ces micro-organismes). En trop grandes quantités elles risquent également affecter les performances de la déshydratation [33] ; [34] ; [35].

II.2.1.3 Dessablage

Le dessablage a pour objectif de réduire le risque d'abrasion des conduites et pompes de la STEP dû au sable, il n'a donc pas une fonction de traitement mais de protection. En outre, il est inerte, non biodégradable et donc augmente la fraction non-active de matières en suspension dans le bassin d'aération, ce qui augmentera leurs coûts supplémentaire d'énergie, le dessablage se fait par sédimentation gravitaire.

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes les graviers, sables et particules minérales plus ou moins fines.

Le domaine usuel du dessablage porte sur les particules de granulométrie supérieure à 200 microns [36].

II.2.2 Traitement primaire ou décantation

Le traitement primaire est une séparation par décantation visant à éliminer une forte proportion de matières minérales ou organiques en suspension. A l'issue du traitement

primaire, seul 50 à 60 % des matières en suspension sont éliminées. Ces traitements primaires ne permettent d'obtenir qu'une épuration partielle des eaux usées [37].

C'est une prouesse physique naturelle d'où les particules en suspension, dont la densité est supérieure à celle de l'eau, sédimentent sous l'influence de leur propre poids et s'accumulent au fond de l'ouvrage. L'eau décantée est collectée en surface. Le moteur de cette séparation est donc la gravité.

Principe et technique

- Décantation de particules submillimétriques : 20 à 200 μm ,
- Particules grenues: limons,
- Particules de taille croissante: agrégation par floculation de la matière organique,
- Ecoulement très lent: temps de séjour hydraulique ≈ 1 heure,
- Boues récupérées en fosse [32].

II.2.3 Traitement secondaire

Les traitements secondaires recouvrent les techniques d'élimination des matières polluantes solubles (carbone, azote et phosphore). Ils constituent un premier niveau de traitement biologique. Le traitement secondaire est le niveau minimal de traitement qui doit être mis en œuvre dans les usines de dépollution [27].

Dans certains cas, des traitements tertiaires sont nécessaires, notamment lorsque l'eau épurée doit être rejetée en milieu particulièrement sensible. A titre d'illustration, les rejets dans les eaux de baignade, dans des lacs souffrant d'un phénomène d'eutrophisation (c'est la modification et la dégradation d'un milieu aquatique, lié en général à un apport excessif de substances nutritives, qui augmentent la production d'algues et de plantes aquatiques) ou dans des zones d'élevage de coquillages sont concernés par ce troisième niveau de traitement. Les traitements tertiaires peuvent également comprendre des traitements de désinfection. La réduction des odeurs peut encore être l'objet d'attentions particulières [38].

II.2.4 Traitements physicochimiques

Le principe de traitement physicochimique se base sur l'utilisation d'adjuvants chimiques pour éliminer la pollution colloïdale. Il comporte une phase de coagulation (agglomération des colloïdes par addition par exemple de sels de fer ou d'aluminium), une phase de floculation et une phase de décantation pour assurer la séparation entre solide et liquide suite à l'injection des agents floculants tel le charbon actif en poudre. Ces traitements acceptent les variations brutales de charges polluantes, mais ils sont très coûteux en exploitation selon les adjuvants chimiques utilisés.

La coagulation se réalise par l'utilisation essentiellement de sels de fer ou d'aluminium.

La floculation se réalise par l'ajout de polymères organiques (macromolécules à longues chaînes) [22].

II.2.5 Traitements biologiques

Le traitement biologique se base sur les activités des espèces des micro-organismes pour l'oxydation et la minéralisation de substances organique se trouvent dans les eaux polluées. La dégradation peut se réaliser par voie aérobie (en présence d'oxygène) ou anaérobie (en l'absence d'oxygène) [19].

Il existe plusieurs voies de traitement microbiologique qui sont les suivants :

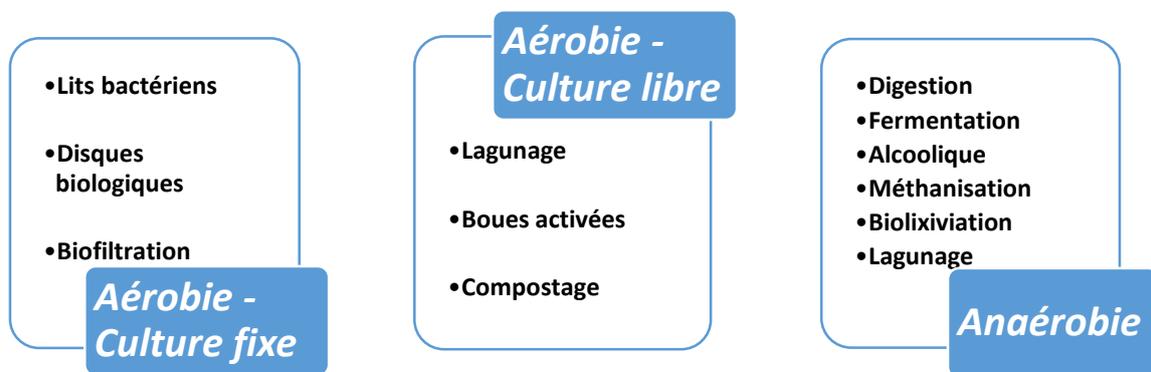


Figure II.3 : Les différents procédés de Traitements par voie microbiologique

II.3 Les différents procédés de traitement des eaux usées

Les techniques d'épuration, on évolue dans le temps, en fonction de degré de pollution et le volume d'eau à traiter.

Le traitement des eaux usées peut être effectué par divers méthodes d'épurations.

Tous les procédés reposent sur des phénomènes physiques, chimiques et biologiques, et chaque procédé à ses propres caractéristiques et performances ainsi ses domaines d'utilisation

II.3.1 Intensif et extensif

On distingue couramment les techniques dites intensives et d'autres dites extensives.

Concernant les techniques extensives, on reconstitue des écosystèmes artificiels simplifiés. Il s'agit de faire intervenir l'ensemble des processus de dégradation présents naturellement dans un écosystème ou tout simplement c'est copier la nature.

Avec les techniques extensives, on reproduit le principe de l'autoépuration, mais dans des écosystèmes artificiels optimisés, de façon à protéger l'écosystème naturel.

L'appellation « extensive » provient du fait que ces techniques nécessitent de grandes surfaces pour être pratiquées. Les charges appliquées par unité de surface sont par conséquent très faibles. La surface minimale requise est de 3 à 5 m²/EH.

Le système extensif offre des techniques d'épuration qui sont des solutions tout à fait adaptées aux collectivités rurales (moins de 2000 EH) et aux zones d'habitat dispersé.

Les techniques intensives visent à la maîtrise des mécanismes épuratoires : elles les isolent et les modélisent, de manière à permettre un contrôle des opérations. Les techniques intensives classiques, comme les boues activées, les disques biologiques et les lits bactériens, exploitent les propriétés de bactéries aérobies, soit libres dans des bassins munis d'aérateurs, soit fixées sur des supports.

Ces techniques sont particulièrement utilisées dans le traitement des effluents des agglomérations de plus de 2000 équivalents-habitants (EH). Elles se combinent à des procédés physico-chimiques qui utilisent notamment des techniques de décantation, filtration, flottation, coagulation et floculation [39].

II.3.2 Les techniques d'épuration extensives

Tableau II.1 : les différentes techniques extensives

| Filière Classique | Traitement primaire | Traitement secondaire Traitement tertiaire | |
|---|--|---|--|
| Infiltration - percolation | Décanteur digesteur | Infiltration – percolation | |
| Filtres plantés à écoulement vertical | Nécessaire (des filtres plantés à écoulement vertical peuvent être utilisés pour assurer ce traitement primaire) | Filtres plantés à écoulement vertical (1er étage) | Filtres plantés à écoulement vertical (2ème étage) |
| Filtres plantés à écoulement horizontal | Décanteur digesteur | Filtres plantés à écoulement horizontal | |
| Lagunage naturel | 1 ^{er} bassin de lagunage | 2 ^{ème} bassin de | 3 ^{ème} bassin de lagunage |
| Lagunage à macrophytes | Déconseillé | Déconseillé | Un ou plusieurs bassins |
| Lagunage aéré | Lagune aérée + lagune de décantation | | Lagune de finition |
| Systèmes mixtes, par exemple ... | 1 ^{er} bassin de lagunage, 2 ^{ème} bassin de lagunage | | Infiltration - percolation |
| | Lagune aérée + lagune de décantation | | Infiltration - percolation |
| | Filtres plantés à écoulement vertical + Filtres plantés à écoulement | | |

II.3.3 Le lagunage

Le lagunage naturel est un procédé simple dans sa conception mais complexe dans les processus biologiques mis en jeu [30].

Le lagunage naturel est le procédé qui se rapprochant le plus du procédé d'autoépuration naturelle présent dans les rivières. Après prétraitements les effluents sont dirigés dans des bassins étanches, à l'air libre. Sous l'action du soleil, les algues photo-synthétisent leur matière première en fournissant de l'oxygène à la population bactérienne.

La profondeur des lagunes naturelles est donc faible : de 1,2 à 0,4 m [19].

Les matières solides les plus lourdes décantent dans le fond des bassins et sont transformées par des microorganismes anaérobies (vivant en absence d'oxygène).

La microfaune et la flore qui se développent, contribuent à la dégradation de la pollution organique en favorisant la formation de boues minéralisées piégées dans le fond des ouvrages, ce qui nécessite un curage des bassins au bout d'une dizaine d'années environ.

Ce procédé est conseillé pour des agglomérations de 300 à 1 000 Equivalents-Habitants (EH) – possible à partir de 100 EH (de 100 à 300 EH : 2 bassins sont suffisants) et jusqu'à 2 000 voire 3 000 EH [40].

Performance :

Le rendement épuratoire peut attendre 70 % en moyenne sur la matière organique.

- performances d'abattement de l'azote variables selon les saisons (très bonnes en été et plus faible en hiver) et très bonne désinfection,

- bons abattements en phosphore lorsque le système est jeune ou vient d'être curé. Les abattements en phosphore diminuent progressivement d'année en année suite au relargage depuis les boues [39].

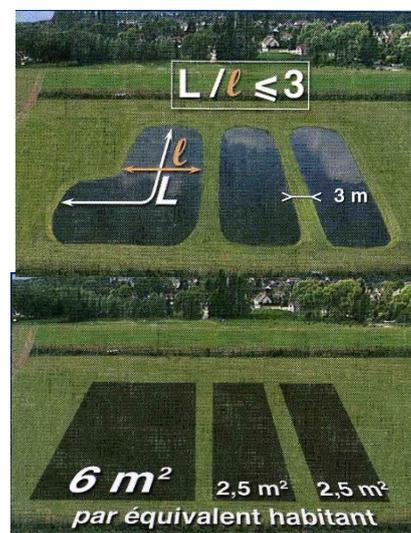


Figure II.5 : le lagunage naturel conception et réalisation, les règles de

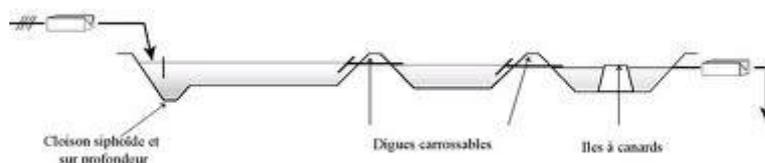


Figure II.4 : schémas de principe de la filière

Avantages et inconvénients de la filière

| Avantages | Inconvénients |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Bon abattement de la pollution bactériologique - Adapté à des effluents peu concentrés - Accepte des variations de charge polluantes et hydrauliques - Très faible consommation énergétique (sauf lagunage aéré) - Bonne intégration paysagère - Exploitation simplifiée du procédé épuratoire | <ul style="list-style-type: none"> - Performances épuratrices faibles. - Réseau séparatif à bannir - risques élevés d'odeur - Sensible aux effluents septiques et concentrés - Emprise foncière importante - Lutte contre les rongeurs - Faucardage des berges des bassins - Opérations de curage à prévoir tous les 10 ans - Assurer l'étanchéité des bassins selon la nature du sol - Risque d'altération du traitement avec l'apparition des lentilles d'eau dont il faut limiter le développement - Pas de maîtrise du processus épuratoire |

II.3.3 Le filtre à sable

Ce système épuratoire consiste à infiltrer des eaux usées prétraitées (traitement primaire par décanteur-digesteur, fosse toutes- eaux ou lagune de décantation) dans un milieu granulaire insaturé m² (présence d'oxygène) sur lequel est fixée la biomasse épuratoire. [40]

Avantages et inconvénients

| Avantages | Inconvénients |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - Excellentes performances sur la DBO₅, la DCO et les MES - Nitrification poussée - Décontamination bactériologique intéressante - Gestion des boues facilitée | <ul style="list-style-type: none"> - Peu adapté aux surcharges hydrauliques et organiques même passagères - Nécessité d'un ouvrage de décantation primaire efficace - Risque élevé de colmatage - Sensibilité au gel assez importante - Présence de nitrates en quantité importante au rejet - Nécessité d'un entretien régulier |

II.3.4 Le filtre planté de roseaux

Contrairement au filtre à sable, l'alimentation se fait directement avec des eaux usées brutes sur le 1er étage. Cette filière de traitement est généralement constituée de deux étages en série. Il se forme alors une accumulation de boues sur le 1er étage.

Le rôle principal des roseaux est d'empêcher la formation d'une couche colmatante en surface. Cette technique d'épuration repose, comme pour le filtre à sable, sur les mécanismes de filtration superficielle et d'oxydation de la pollution par les bactéries aérobies fixées sur le milieu granulaire [40].

II.3.5 La filtration membranaire

Cette technique est une variante du procédé des boues activées. Le réacteur, grâce à des membranes organiques avec des pores inférieurs à 0,05 µm (ultrafiltration), filtre les boues activées et remplace l'étape de clarification des traitements classiques [40].

Avantages et inconvénients

| Avantages | Inconvénients |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - Compacité des ouvrages (gain de génie-civil). - Barrière physique à la pollution physico-chimique et bactériologique (absence de bactéries et de matières en suspension). - Produit modulaire et extensible. - Fiabilité de la qualité du rejet. | <ul style="list-style-type: none"> - Coût d'exploitation élevée. - Maintenance importante. - Qualification du personnel supérieure. |

II.3.6 La bio-filtration

Le principe de la bio-filtration repose sur l'utilisation d'un matériau filtrant de type granulaire immergé (aéré ou non) sur lequel se développent des populations bactériennes qui vont dégrader la charge polluante apportée par l'effluent. Cette technologie, caractérisée par son extrême compacité et sa modularité, est adaptée aux stations d'épurations implantées en zone fortement urbanisée [40].

Avantages et inconvénients

| Avantages | Inconvénients |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - Compacité de l'ensemble des ouvrages de traitement facilitant l'intégration dans un bâtiment et la mise en œuvre d'une désodorisation centralisée ; - Très bonne réactivité aux variations de charge ; - Technologie permettant un pilotage industriel de l'épuration ; - Production de boues primaires propice à la mise en place d'une digestion anaérobie des boues et à la production de biogaz | <ul style="list-style-type: none"> - Forte consommation énergétique ; - Mauvaise aptitude de cette technologie au traitement de l'azote global : la dénitrification poussée des nitrates nécessite l'ajout, en cours de traitement, d'un complément carboné (méthanol) ; - Gestion très automatisée nécessitant des compétences spécifiques |

II.3.7 Les disques biologiques

Une autre technique faisant appel aux cultures fixées est constituée par les disques biologiques tournants. Les micro-organismes se développent et forment un film biologique

épurateur à la surface des disques. Les disques étant semi-immergés, leur rotation permet l'oxygénation de la biomasse fixée.

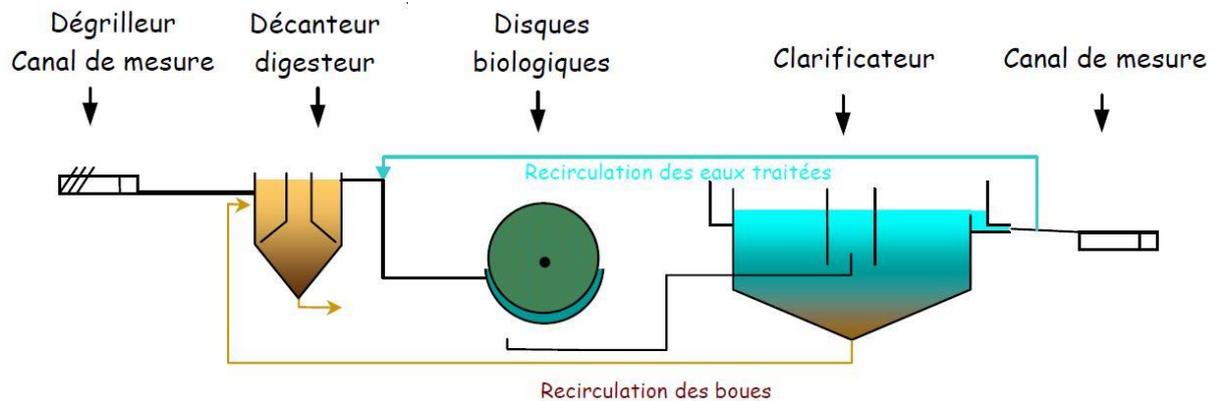


Figure II.6: les étapes de traitement disque biologique

Il convient, sur ce type d'installation, de s'assurer : de la fiabilité mécanique de l'armature (entraînement à démarrage progressif, bonne fixation du support sur l'axe), du dimensionnement de la surface des disques (celui-ci doit être réalisé avec des marges de sécurité importantes) [41].

II.3.8 Le lit bactérien

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

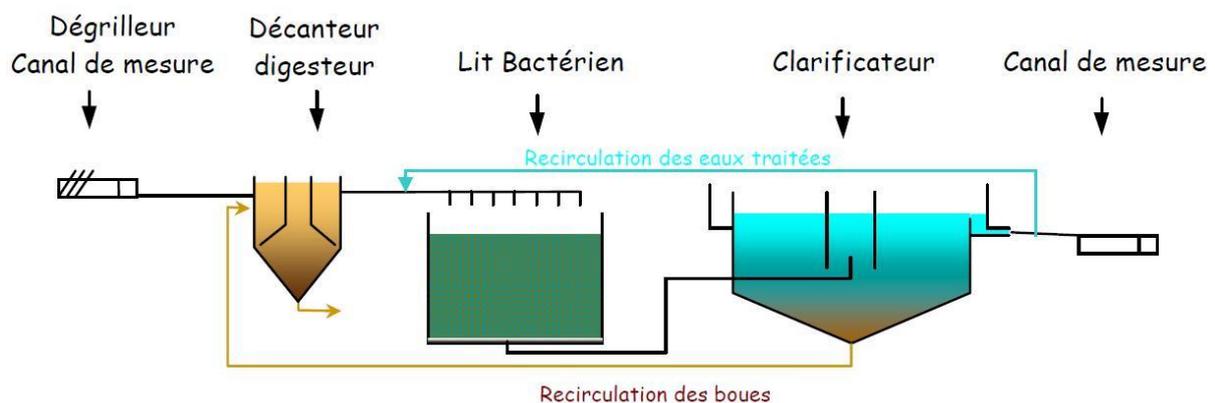


Figure II.7: les étapes de traitement par la méthode lit bactérien

Une aération est pratiquée soit par tirage naturel soit par ventilation forcée. Il s'agit d'apporter l'oxygène nécessaire au maintien des bactéries aérobies en bon état de fonctionnement. Les matières polluantes contenues dans l'eau et l'oxygène de l'air diffusent, à contrecourant, à travers le film biologique jusqu'aux micro-organismes assimilateurs. Le film biologique

comporte des bactéries aérobies à la surface et des bactéries anaérobies près du fond. Les sous-produits et le gaz carbonique produits par l'épuration s'évacuent dans les fluides liquides et gazeux [42].

II.3.9 Procédé de traitement par boues activées :

La plupart des stations d'épuration utilisent le procédé « boues activées » pour traiter les eaux usées. Il est apparu à la fin du 19^{ème} siècle, notamment grâce aux travaux de Pasteur sur la meilleure compréhension du rôle des bactéries dans la dégradation de la matière organique. Des scientifiques anglais présentent pour la première fois un système de bassin d'aération en 1914 : mise en contact aérée de l'eau usée et de la biomasse (Cemagref, 2002). On parle alors de « boues activées ». Une représentation typique d'une station d'épuration à boues activées est donnée sur la figure suivante

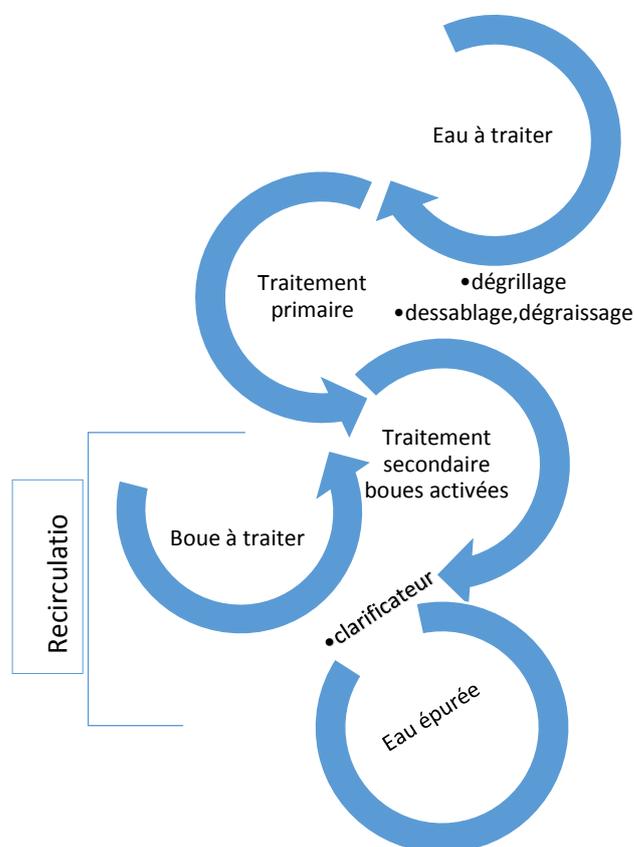


Figure II.8 : Description des étapes de traitement par boues activée

Comme on a vu précédemment le procédé à boue activée est l'une des techniques biologiques d'épuration des eaux usées. Il représente une alternative efficace et relativement écologique sans utilisation de produits chimiques.

Principe de la boue activée

Le procédé “boues activées” 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. Ensuite, les phases “eaux épurées” et “boues épuratrices” sont séparées [43].

La boue activée se compose principalement d'organismes hétérotrophes, c'est-à-dire qui utilisent des matières organiques et acquièrent de l'énergie par oxydation ou respiration. Ces organismes prélèvent alors dans la solution les matières ayant des caractéristiques nutritives. Ils construisent des substances organiques à partir de substances inorganiques et libèrent de l'oxygène. Afin de dégrader par oxydation tous les substances organiques et inorganiques [44].

L'eau résiduaire pré clarifiée est introduite dans le bassin d'aération, où elle est aérée pendant environ quatre heures jusqu'à l'obtention des exigences minimales pour le rejet dans l'émissaire ou pour passer à la phase de traitement tertiaire. L'aération est théoriquement de 1 à 3 g/l. L'eau résiduaire traverse le bassin de décantation secondaire où la boue se dépose. Une partie de la boue déposée est réintroduite dans le bassin à boues activées. La boue excédentaire produite est pompée hors du bassin de décantation secondaire et amenée vers le traitement des boues.

Tableau II.2 : classement des procédés par boues activées

| Caractéristiques | Aération prolongée | Faible charge | Moyenne Charge | Forte charge | Très forte charge |
|---|----------------------------------|-------------------------------|----------------|--------------|-------------------|
| Charge massique [kg DB0 ₅ / (kg MEST.j)] | < 0,08 | 0,08 à 0,25 | 0,25 à 0,5 | 0,5 à 1 | > 1 |
| Charge volumique [kg DB0 ₅ / (m ³ . j)] | < 0,32 | <0,4 | 0,8 à 1 | 1 à 1,5 | > 5 |
| Âge des boues (j) | > 18 | 13 à 18 | 3 à 7 | 1 à 3 | 0,3 à 0,7 |
| Concentration des boues (kg/m ³) | 4 à 6 | 3 à 5 | 3 à 4 | 2 à 3 | < 3 |
| Rendement d'élimination de la DB0 ₅ | > 90 % nitrification possible | 90% Nitrification possible | 80 à 90 % | < 80 % | |

Performance

Le procédé à boues activées est actuellement le procédé le plus valable d'épuration biologique des eaux résiduaires. Ses grands avantages sont :

- sécurité en ce qui concerne le degré d'épuration des eaux traitées, du fait que les facteurs d'influence les plus importants, par exemple apport d'eau résiduaire, et de masse bactérienne (boue activée), sont contrôlables,
- une plus grande efficacité qu'avec d'autres méthodes de traitement, du fait que ce procédé est beaucoup moins dépendant de la température,
- une phase de démarrage plus courte (moins de deux semaines),
- absence totale d'odeurs et de mouches.

Ce procédé permet de traiter les eaux résiduaires de 100 000 à 200 000 équivalents habitant [45].

Avantages et inconvénients de la filière

| Avantages | Inconvénients |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> – Procédé éprouvé permettant d'obtenir les performances de traitement les plus élevées, – Procédé adapté aux charges organiques importantes, – Procédé adapté au traitement poussé du phosphore, – Procédé adapté pour les réseaux séparatifs ou unitaires associés à un bassin d'orage, – Emprise foncière limitée. | <ul style="list-style-type: none"> – Exploitation rigoureuse (suivi électromécanique), – Coût d'exploitation élevé en particulier pour les petites installations, annuellement de 4 à 8 % du coût d'investissement, – Formation du personnel pour l'exploitation, – Production de boues conséquente nécessitant un traitement adapté suivant la capacité des ouvrages, – Coût énergétique plus élevé que pour une filière rustique. |

II.4 Traitement tertiaire ou les traitements complémentaires

Lorsque l'eau usée vient des zones industrielles ou l'eau traitée déversent dans un environnement délicat, le traitement tertiaire est nécessaire. On retrouve le traitement par : désinfection, dénitrification, déphosphatation. Notamment lorsque l'eau épurée doit être rejetée en milieu particulièrement sensible à l'eutrophisation. Les traitements tertiaires peuvent également comprendre des traitements de désinfection. La réduction des odeurs peut encore être l'objet d'attentions particulières.

II.5 Systèmes combinés (association des filières extensives - cultures libres ou fixées)

L'association de plusieurs systèmes naturels, en cultures libres ou fixées, en série ou en parallèle, est parfois mise en œuvre pour permettre d'adapter le traitement à un but spécifique (qualité du rejet, intégration des eaux de pluie, influent particulier...).

En traitement principal, les expériences sont encore très peu nombreuses et leurs performances réelles difficiles à évaluer. Certaines études [46] sur des MHEA® (Mosaïques Hiérarchisées d'Ecosystèmes Artificiels) montrent des potentialités intéressantes sans définir des bases écrites de dimensionnement.

L'usage de filtres verticaux et horizontaux en série semble être une solution intéressante pour permettre un traitement plus poussé de l'azote et du phosphore suivant le type de support utilisé [47]. Un premier étage de filtres verticaux permet une bonne réduction des MES, de la DBO5 ainsi qu'une nitrification quasi complète. Un second étage de filtres horizontaux affine le traitement sur les MES et la DBO5, et permet une dénitrification ainsi qu'une adsorption du phosphore si le support choisi comporte de bonnes caractéristiques.

Des configurations plus complexes sont souvent utilisées pour affiner des traitements secondaires ou tertiaires.

Après des traitements de type lagune aérée ou lagunage naturel, des lagunes à macrophytes émergents permettraient de s'affranchir du risque de rejets temporaires de qualité médiocre.

Des systèmes de lagunes facultatives suivies de lagunes à macrophytes émergents sont souvent utilisés pour le traitement des eaux de pluie [48].

Lorsque la gamme de population atteint une valeur proche de 4.000 EH, il convient de bien comparer les coûts d'investissement et de gestion avec des procédés réputés plus intensifs. Les contraintes de gestion dues à des surfaces importantes ne sont pas à négliger.

Une multitude de configurations est possible suivant la volonté de reproduire les divers systèmes naturels de zone humide. Il faut néanmoins penser que l'accroissement de la complexité d'une station d'épuration de ce type se fait au détriment de sa simplicité de gestion, pourtant souvent recherchée. De plus, l'état actuel des connaissances scientifiques sur le fonctionnement des zones humides nous pousse le plus souvent à essayer de simplifier la configuration afin de mieux contrôler l'épuration [41].

II.6 Traitement des boues

Tout traitement d'épuration conduit à la production de déchets. Ceux-ci sont collectés :

- au niveau du prétraitement : refus de dégrillage, déchets du dégraissage et du dessablage
- au niveau des décanteurs primaires, secondaires, voire tertiaires : il s'agit des boues [22].

La composition exacte des boues varie en fonction de l'origine des eaux usées, de la période de l'année et du type de traitement et de conditionnement pratiqué dans la station d'épuration [28].

Le traitement des boues a évolué dans le temps et aujourd'hui il existe plusieurs procédés de traitement des boues le choix d'une méthode repose sur plusieurs critères et voici une présentation des différentes techniques de traitement et les avantages et les inconvénients dans le tableau suivant :

| Procédé | Avantages | Inconvénients |
|-----------------------|---|---|
| Epaississeur statique | -Simplicité & facilité d'exploitation Faible -consommation énergétique Investissement réduit | -Importante emprise au sol -Performance médiocre pour boues biologiques -Nuisances olfactives possibles |
| Flottateur | -Simplicité & facilité d'exploitation -Surface réduite & nuisances contrôlées | -Faible adaptabilité -Consommation électrique élevée |
| Table d'égouttage | -Simplicité & facilité d'exploitation -Compacité & nuisances contrôlables | -Main d'œuvre, eaux de lavage -Polymère indispensable |
| Centrifugeuse | -Compacité & souplesse d'utilisation -Nuisances contrôlées | -Texture de boues médiocre -Maintenance & entretien spécialisés, coût élevé -Consommation électrique élevée |

Tableau II.3: les avantages et inconvénients de quelques techniques de traitement des boues

L'objectif du producteur de boues confronté à l'épandage est donc d'obtenir une boue de qualité « produit », même si celle-ci demeure au sens du législateur un déchet. La boue traitée devra donc présenter une ou plusieurs des propriétés suivantes :

- un état stabilisé objectivement apprécié par un critère lié à son aptitude à générer des nuisances olfactives, l'appréciation subjective ne pouvant tenir lieu de critère de mesure ;
- un état hygiénisé mesuré par un niveau de contamination en germes types (entérovirus, salmonelles, œufs d'helminthes) ;
- une texture solide permettant sa tenue en tas à 30 °C en vue d'un entreposage sur site ou en bout de champ. [19]

Le tableau suivant regroupe les opérations de traitement des boues ainsi l'objectif de chaque étape.

Tableau II.4 : Opérations élémentaires du traitement des boues

| Opération | Objectif |
|--|---|
| Stabilisation | – Limiter les nuisances potentielles (odeurs) |
| Concentration | – Réduire le volume d'eau pour faciliter le transport |
| Stockage Homogénéisation Reprise Conditionnement | – Optimiser la gestion du traitement des boues (extraction / évacuation) Fabriquer un produit de qualité relativement constante –Evacuation |
| Déshydratation | – Modifier les caractéristiques de la boue afin de faciliter la séparation des 2 phases solide/liquide-Augmenter la siccité pour obtenir une meilleure qualité de boues (pâteuses ou solides) |

Les boues constituent les principaux déchets à traiter sur une station d'épuration. La production des boues variées dans chaque étape de traitement et elle est estimée comme suit :

- Au niveau de la décantation primaire la teneur en MES des boues est de 50 à 60 g/l.
- Les boues secondaires présentent une teneur en MES variant entre 5 et 10 g/l seulement.

Nous remarquons également une variation dans la production des boues en fonction de la méthode de digestion aérobie ou anaérobie [32].

Le tableau suivant regroupe des différentes techniques de stabilisation des boues.

Tableau II.5: Techniques de stabilisation

| Voie | Effet | En phase liquide | En phase pâteuse |
|------------|---|--|------------------|
| Biologique | dégrade les matières organiques selon un bioprocédé contrôlé | digestion anaérobie, stabilisation aérobie thermophile | compostage |
| Chimique | inhibe la dégradation incontrôlée (putride) des matières organiques | stabilisation aux sels de nitrites | Chaulage |
| Physique | inhibe la dégradation incontrôlée (putride) des matières organiques | | Séchage |
| | détruit les matières organiques par oxydation thermique | oxydation par voie humide (OVH) | Incineration |

Bien entendu, à côté de l'objectif qualité, il convient de diminuer la quantité de boues produites. La réduction du volume des boues d'épuration est nécessaire car les quantités importantes posent des problèmes de réutilisation et de stockage ; Il faut noter qu'une dévolution autre qu'agricole ne soustrait pas totalement à ces obligations : la mise en centre de stockage de déchets ménagers impose une siccité minimale de 30 %. [44]

Diminution de volume

- Séchage: naturel (lits pendant 3-6 semaines) ;
- Epaissement: décantation, flottation, centrifugation ;
- Filtration: à bande presseuse (continu), à plateaux, sous vide ;
- Incinération après séchage: 750 à 900°C cendres.

Le tableau suivant explique les avantages & inconvénients de chaque type de séchage
Tableau II.6: les avantages & inconvénients de chaque type de séchage

| | Avantages | Inconvénients |
|------------------|--|---|
| Séchage direct | <ul style="list-style-type: none"> - technologie simple - bonne granulation - vitesse de séchage | <ul style="list-style-type: none"> - équipements périphériques - sensibilité aux variations de qualité de boue |
| Séchage indirect | <ul style="list-style-type: none"> - équipe périphériques simples ; - meilleure sécurité d'utilisation ; - effluent résiduaire gazeuse faible | <ul style="list-style-type: none"> - technique complexe ; - capacité réduite - vitesse de séchage lente - réglementation spécifique |

En général, le séchage complet le traitement de déshydratation par centrifugation ou par filtre presse. Le coût énergétique est très élevé, il est de l'ordre de 800 à 1200 kWh/T d'eau évaporée.

En terme d'électricité, à partir d'une boue avec une siccité de 25 %, il faut 30 kWh/T MS pour obtenir une siccité de 35 % (séchage partiel) et de 50 kWh/T MS pour obtenir une siccité de 95 % (séchage total) [44]. Les polymères : les polymères permettent d'améliorer le traitement des boues. Ils sont en général organiques et de type cationique. Ils sont bien adaptés à la déshydratation sur grille d'égouttage, filtre bandes, centrifugeuses et, pour certaines applications, pour les filtres presses. Le rôle des polyélectrolytes est double :

- d'une part ils permettent une floculation plus facile en raison des longues chaînes ramifiées et une action coagulante est obtenue pour les composés cationiques.
- d'autre part, la boue floculée présente une forte diminution à la résistance spécifique et une augmentation à l'hydrophilie particulière et du coefficient de compressibilité [44].

On peut valoriser la boue traitée dans différents domaines.

Citons par exemple :

- Épandage liquide en champs ;
- Compostage avec déchets organiques (bois, paille, ordures ménagères) ;
- Mise en décharge contrôlée: interdite, sauf pour déchets «ultimes » ;
- Utilisation des boues en reconstitution de sols et “végétalisation” ;
- Utilisation des boues en sylviculture et sur taillis à courte ou très courte rotation ;
- Fabrication et commercialisation de matières fertilisantes à partir de boues d'épuration.

Le traitement de la boue est un poste clé dans le dimensionnement des stations d'épuration.

Pour avoir une amélioration significative de la qualité des boues il faut avoir :

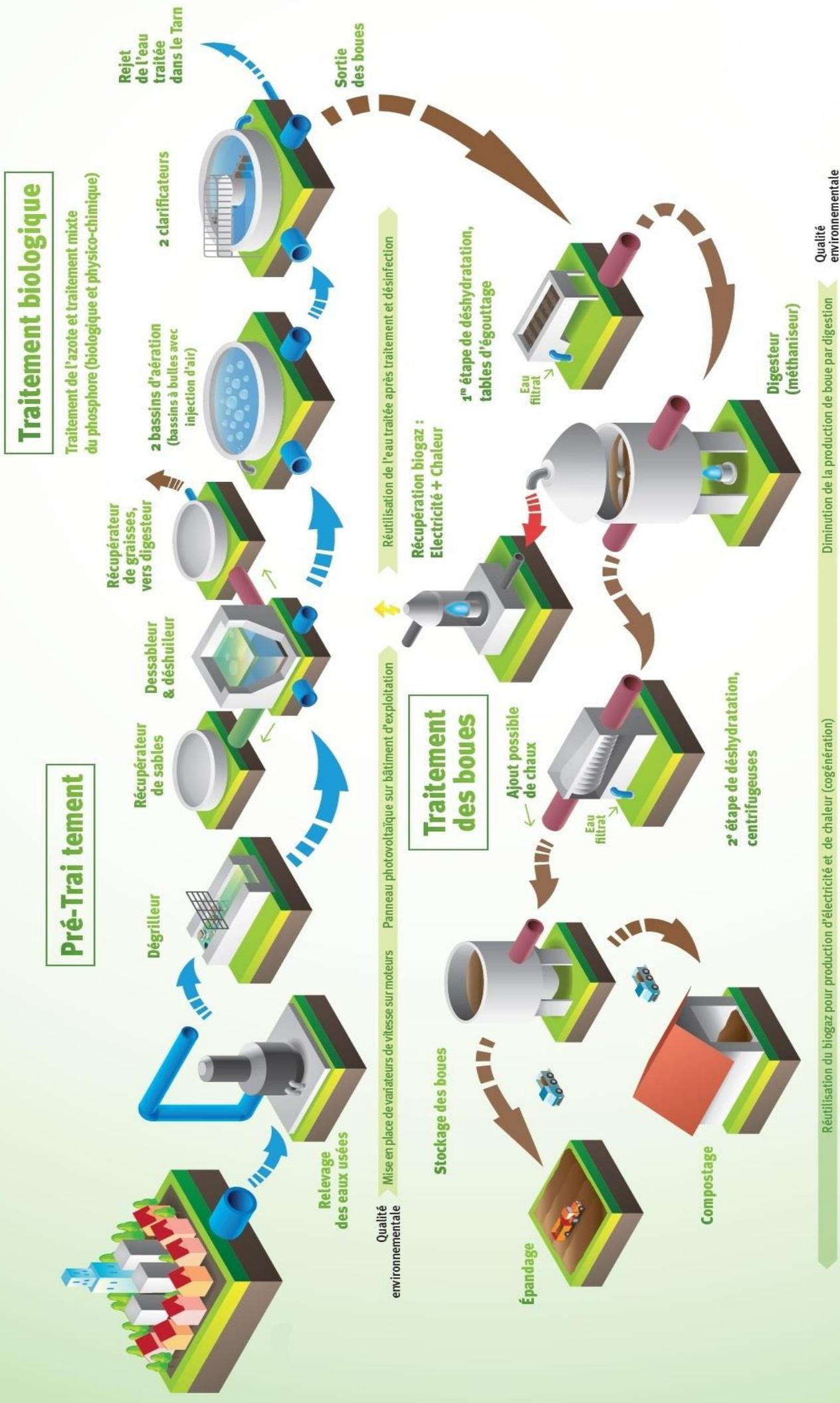
- la mise en place de traitements sur site industriel;
- Chasse aux rejets de toxiques “Sécurité alimentaire”.

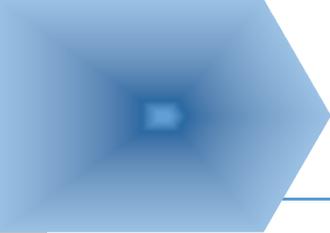
Pour qu'on puisse utiliser cette dernière comme engrais «gratuit» pour épandage tous les 5 - 10 ans [32].

II.7 La consommation énergétique des stations d'épuration

Les stations d'épuration de type boues activées disposent de nombreux équipements électromécaniques dont le fonctionnement entraîne une consommation d'électricité par quantité de pollution éliminée qui décroît avec l'augmentation de la taille du dispositif. Les stations d'épuration rustiques ont une consommation d'électricité faible (voire nulle) en raison des procédés épuratoires utilisés (filtres plantés de roseaux, lagunages naturels...).

Schéma récapitulative des étapes de traitement des eaux usées :





Chapitre III

Les indicateurs de performance & Ratios de diagnostic

III.1 Introduction

Les indicateurs de performance sont des outils d'aide à la décision et de suivi facile à utiliser et elle nous permis de évalué et diagnostiqué pour assurer un progrès continu.

III.2 Rapport DCO/DBO5 [51]

Le rapport DCO/DBO5 a une importance pour la définition de la chaine d'épuration. Il permet d'évaluer la biodégradabilité de la matière organique d'un effluent donné .En effet, une valeur faible du rapport DCO/DBO5 implique la présence d'une grande proportion de matières biodégradables ce qui permet d'envisager un traitement biologique. Inversement, une valeur importante de ce rapport indique qu'une grande partie de la matière organique n'est pas biodégradable et, dans ce cas, il est préférable d'envisager un traitement physico-chimique.

- $DCO/DBO5 < 3$ effluent facilement biodégradable
- $3 < DCO/DBO5 < 5$ effluent moyennement biodégradable
- $DCO/DBO5 > 5$ effluent difficilement biodégradable, voire non biodégradable.
(Rodier, Analyse de l'eau).

Le rapport DCO/DBO5 permet d'indiquer si les eaux usées rejetées directement dans le milieu récepteur ont des caractéristiques des eaux usées domestiques (rapport DCO/DBO5 inférieur à 3) [50]. Le rapport DCO/DBO5 permet de déduire si les eaux usées rejetées directement dans le milieu récepteur ont des caractéristiques des eaux usées domestiques (rapport DCO/DBO5 inférieur à 3) [49]. Les résultats de ce rapport constituent une indication de l'importance des matières polluantes peu ou pas biodégradables [50].

III.3 Rapport MES/DBO5

Le rapport MES/DBO5 indique la répartition de la pollution particulaire représentée par la MES et de la pollution dissoute représentée par la DBO5.

Les valeurs de ce ratio varient en fonction du phénomène de sédimentation-érosion au sein du réseau ainsi qu'au lessivage du sol (d'après Chebbo 1992), des valeurs importantes pour ce rapport sont observées suite à des événements pluvieux importants, en effet plusieurs études montrent que le flux de MES rejeté par temps de pluie dans les milieux récepteurs proviennent majoritairement de la remise en suspension des dépôts accumulés (dépôts et biofilms) dans le collecteur.

III.4 Rapport DBO5 / N-NH₄⁺ / P-PO₄³⁻

Le rapport DBO5 / N-NH₄⁺ / P-PO₄³⁻ exprime l'équilibre nutritionnel, le métabolisme bactérien s'accompagne de besoins azotés sous forme d'azote ammoniacal et de besoins phosphorés sous forme d'ortho phosphates dans des proportions bien précises.

Toute déviation signifie un déséquilibre en nutriments qui constitue un handicap au niveau du traitement biologique [52].

III.5 Rapport MVS/MES

Ce rapport représente la proportion de la matière volatile en suspension par rapport à la matière en suspension, Ce facteur aura une incidence importante sur [53] :

- La production de boues biologiques en excès,
- La qualité mécanique des boues activées,
- Le taux de MVS dans le réacteur biologique,
- Le dimensionnement du réacteur biologique tant pour le traitement de la pollution carbonée que pour la nitrification et la dénitrification simultanée (dans le même bassin),
- Le dimensionnement du clarificateur,
- Le dimensionnement de la filière boues (directement par l'influence sur la production de boues).

III.6 Rapport DCO/PT et DBO5/PT

Le rapport DCO/PT indiquera la mixité relative de l'effluent ainsi que les possibilités et la faisabilité d'un traitement biologique du phosphore.

En effet la composition de l'eau usée influence de manière prépondérante l'efficacité du processus de déphosphatation biologique. Cette influence est pratiquement aussi importante que la présence ou l'absence d'oxygène dans le milieu. L'acétate et le propionate sont les substrats de choix pour une élimination maximale de phosphore [54].

III.7 Rapport NH₄⁺/NTK

Le rapport NH₄⁺/NTK caractéristique de la pollution azotée apportée par l'effluent. Il indique le degré d'ammonification durant le transfert de l'effluent dans le réseau Plus la valeur de ce ratio est élevée, plus l'azote organique est transformé en azote ammoniacal soluble (ammonification importante) donc une grande partie de la pollution azotée se trouve sous forme d'ions ammoniumNH₄⁺ [55].

III.8 Rapport DBO5/ NTK

Ce rapport est lié à la cinétique de dénitrification, une valeur faible de ce ratio désigne l'efficacité du procédé d'élimination de l'azote organique, induisant une nitrification importante. La majorité de l'azote organique sera donc transformée en nitrates sous l'action des bactéries nitrifiantes, la quantité de nitrates ainsi disponibles influence la cinétique de dénitrification [55].

III.9 Rapport DCO/NTK

Le rapport DCO/NTK influence la cinétique de nitrification et donc le degré d'abattement de l'azote global. Plus ce rapport est faible, plus la vitesse de nitrification est élevée [55].

III.10 Rapport DBO5 / N à dénitrifier

Ce rapport indiquera la cinétique de la réaction de dénitrification, plus ce rapport diminue, plus le processus de dénitrification est ralenti.

En effet, la dénitrification est d'autant plus rapide que la quantité de carbone disponible est importante et que ce carbone est rapidement biodégradable. La vitesse de dénitrification est une fonction croissante de la pression de carbone exercée sur la biomasse, donc de la charge appliquée [55].

III.11 Production des boues primaires / production des boues primaires théoriques

Ce rapport indiquera l'efficacité de la décantation physique des boues au niveau du décanteur primaire, plus le rapport est petit moins la décantation est bonne, ce qui est dû à la fermentation des boues, On constate des remontées de boue noirâtres et malodorantes en surface du décanteur primaire, la flottation de ces boues s'explique par la présence de microbulles internes qui diminuent la densité apparente des boues. Ces bulles sont la résultante d'une activité de fermentation anaérobie au sein de la boue [55].

III.12 Rapport MS (extraites)/DCO

Ce ratio indique le taux d'extraction des boues :

Les variations de ce rapport sont dues un problème au niveau du poste de déshydratation des boues : si une panne se produit avec l'une des centrifugeuses, la quantité de MS extraite sera plus faible et le ratio plus petit [56].

III.13 Rapport Polymère /MS (déshydratées)

Ce ratio permet de vérifier l'efficacité de l'injection du polymère. Les quantités de polymère englobent également la quantité de polymère utilisée pour le graissage des canalisations (pompes gavage), et la quantité réellement utilisée pour la déshydratation des boues.

Un problème au niveau des centrifugeuses ou des pompes d'injection du polymère peut être une cause de variation de ce ratio [56].

Le tableau suivant donne quelques indicateurs de performances, la limite de variation pour un effluent urbain ainsi que la signification et l'intérêt du ratio [56].

Tableau III.1 : autre indicateurs de performances et leur signification

| Ratio | Signification |
|---|--|
| NTK/DBO5 | Estimation de la cinétique de dénitrification : <ul style="list-style-type: none"> ◆ NTK/DBO5 > 0.5 : k=1.7 mg N-NO3/g MVS.h ◆ NTK/DBO5 < 0.5 : k=2.1 mg N-NO3/g MVS.h ◆ NTK/DBO5 < 0.4 : k=2.4 mg N-NO3/g MVS.h ◆ NTK/DBO5 < 0.3 : k=2.7 mg N-NO3/g MVS.h ◆ NTK/DBO5 < 0.2 : k=3 mg N-NO3/g MVS.h |
| DBO5/NO₃⁻ | Indiquera les possibilités et la faisabilité de la réaction de dénitrification. <ul style="list-style-type: none"> ◆ DBO5/NO₃⁻ > 2 bonne dénitrification (technique de l'ingénieur, épuration de l'eau) |
| MS/DCO (éliminée) | Indiquera le taux d'extraction des boues biologiques. |
| Polymère/MS (extraites) | Permet de vérifier l'efficacité de l'injection du polymère. <ul style="list-style-type: none"> ◆ Boues primaire : Polymère /MS = [3-5] ◆ Boues mixtes Polymère /MS = [6-8] ◆ Boues biologiques : Polymère /MS = [8-12] |
| Energie consommée sur DBO₅ ou DCO | Optimisation de la consommation énergétique |

| Ratio | Effluent urbain strict | Signification |
|--|------------------------|---|
| DCO / DBO₅ | 2,2 -2,4 | Evaluation de la biodégradabilité de la matière organique : ♦ DCO/DBO ₅ < 2 : facilement biodégradable ♦ 2 < DCO/DBO ₅ < 3 : biodégradable (a dominante domestique) ♦ DCO/DBO ₅ > 3 : non biodégradable |
| DBO₅ / N-NH₄⁺ /P-PO₄²⁻ (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 | ce ratio indiquera l'organicité de l'effluent et les possibilités de son traitement. |
| DCO/Pt | 44-50 | DCO/Pt > 40 à 45 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 |
| DBO₅/NTK | 4-5 | ♦ Indiquera la mixité de l'effluent ♦ Influencera le taux d'abattement de l'azote. |
| Production des boues primaires /production des boues primaires théoriques | 0,8 | Efficacité de la décantation physique dans le décanteur primaire |

Tableau III.2 : indicateurs de performances, la limite de variation pour un effluent urbain

III.14 Indice de boue ou l'indice de Molhman

L'indice de boue est utilisé pour apprécier l'aptitude d'une boue à la décantation (cf. fiche technique 2 « Outils de suivi et de diagnostic » Indice de boue). Une dérive croissante doit alerter l'exploitant sur un développement de bactéries*fi lamenteuses2

| | |
|--|---|
| IB < 100 mL.g ⁻¹ de MES | Condition idéale : les boues sédimentent facilement et sont le plus souvent bien minéralisées (MVS < 65 %) |
| 100 < IB < 150 mL.g ⁻¹ de MES | Condition acceptable pour des installations fonctionnant dans le domaine de faible charge – aération prolongée. |
| IB > 150 mL.g ⁻¹ de MES | Difficultés possibles de décantation liées au développement de bactéries* filamenteuses |

Tableau III.3 : Valeurs seuil de l'indice de boue L'indice de boue est un outil indispensable

L'indice de boue est un outil indispensable pour l'exploitant. Il sert à :

- suivre l'évolution de la qualité des boues à titre préventif ou après la mise en œuvre de solutions curatives ;
- gérer la concentration de boue sur les petites stations dans la mesure où l'indice reste stable dans le temps ;
- caractériser les boues en vue de leur déshydratation. En effet, la déshydratation est généralement facilitée par des indices de boue faibles et les doses de réactifs plus faibles ;
- vérifier les limites hydrauliques du clarificateur [30].

III.14.1 Charge massique & l'âge des boues [30] :

La charge massique (Cm) paramètre clé du traitement détermine l'âge de la biomasse (ou âge de boue en jours). Ainsi, plus la charge massique est élevée, moins le niveau de traitement sera élevé

La charge massique correspond à la charge organique reçue par jour, rapportée à la masse de MVS présente dans le bassin.

$$C_m = \text{kg de DBO}_5/\text{kg de MVS}$$

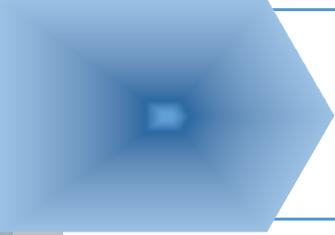
$$\hat{\text{Âge de la boue}} = 1 / (C_m \times P_{SB})$$

P_{SB} = Production spécifique de boue (en kg de MVS.kg-1 de DBO5)

L'âge de boue s'exprime en jours et il est inversement proportionnel à la charge massique. Il se définit, par ailleurs, ainsi :

Âge de la boue = Quantité totale de boue dans le système/Quantité de boue produite/ jour.
[30]

La stabilité de la charge massique dans le temps passe par une bonne gestion de la masse de boue dans le système (extractions régulières). C'est un facteur essentiel pour une bonne décantabilité de la boue (MES de 2 à 4 g.L-1 et Cm de 0,07 à 0,15 DBO5.kg MVS-1.j-1' domaine de la faible charge ').



Chapitre IV

Présentation de la station d'épuration de Réghaia

IV.1 Localisation

La station est située dans la wilaya d'Alger, à l'Est, non loin de la mer méditerranéenne. L'installation est construite sur la rive gauche du lac de Réghaia sur un terrain relativement plat. Le site choisi est largement suffisant pour la station projetée et une éventuelle extension dans le futur



Photo IV.1: vue de dessus de la STEP

IV.2 Présentation de la station d'épuration de Réghaia

La station d'épuration de Réghaia créée en 1997 est située dans la wilaya d'Alger, à l'Est, non loin de la mer méditerranéenne, l'installation est construite sur la rive gauche du lac de Réghaia, avec une surface de 18 hectares sur un terrain relativement plat.

Elle est prévue pour traiter une partie des eaux usées de l'agglomération algéroise. Plus précisément des eaux résiduaires mixtes urbaines et industrielles. Pour cela elle se base sur le principe de l'épuration biologique.

La STEP de Réghaia a pour mission de réduire la charge polluante et de rejeter une eau bien épurée répondant à des normes précises et cela grâce à des procédés physico-chimique et biologique.

IV.3 Caractéristiques de la station

La STEP de Réghaia est de type boues activées fonctionnant en faible charge ($C_m=0,17$ kg DBO/kg MVS/Jour), associée à une dénitrification en tête et une déphosphatation simultanée par injection du chlorure ferrique avec une capacité nominale de 400 000 Equivalents habitants. Elle est dimensionnée pour recevoir une quantité d'eau estimée à $80\,000\text{ m}^3/\text{j}$.

Les eaux usées reçues dans cette station d'épuration sont d'origines industrielles et urbaines. Elles proviennent des régions suivantes: Rouiba, Réghaia, Bordj EL Kiffan, Bordj EL Bahri, Ain-Taya, Heuraoua et EL Marsa.

IV.3.1 Les capacités nominaux de la STEP de Réghaia

IV.3.1.1 Capacité de la station 'charge hydraulique'

| Paramètres | Entrée |
|---|--------|
| Débit nominal (m^3/j) | 80 000 |
| Débit moyen horaire (m^3/h) | 3 333 |
| Débit de pointe de temps sec (m^3/h) | 5 022 |
| Débit de pointe de temps de pluie (m^3/h) | 8 118 |

IV.3.1.2 Les valeurs nominales de paramètre de pollution 'les capacités nominales en charges polluantes'

| Paramètres | Entrée | | Sortie | |
|------------------|----------------------|------------|----------------------|------------|
| | Concentration (mg/L) | Flux (T/j) | Concentration (mg/L) | Flux (T/j) |
| DCO | 356,3 | 28,5 | 50,0 | 4,0 |
| DBO5 | 197,5 | 15,8 | 15,0 | 1,2 |
| MES | 248,8 | 19,9 | 20,0 | 1,6 |
| Azote | 23,7 | 1,9 | 10,0 | 0,8 |
| Phosphore global | 6,3 | 0,5 | 3,0 | 0,2 |

IV.3.1.3 Les seuils de quelque ratio (les objectives de la STEP)

| Ratio | Entrée | |
|-------------------------------------|--------|-----|
| | Min | Max |
| Production boues réelle / théorique | 0,8 | 1,2 |
| Consommation polymère | 10,0 | / |
| KWh / kg DBO5 | 4,0 | / |

IV.4 Principe de l'épuration biologique

- La station fonctionne sur la base du procédé de boues activées à faible charge avec une dénitrification séparée.
- Le traitement biologique des effluents, il est fait généralement appel aux processus aérobies par lesquels les bactéries provoquent une oxydation directe des matières organiques des eaux usées à partir de l'oxygène dissous dans l'eau.
- Si l'âge de boues est suffisamment élevé, les bactéries provoquent aussi une oxydation directe de l'ammonium dissous qui est donc transformé en nitrate.
- La dégradation est un phénomène complexe générateur de l'énergie nécessaire à la vie des micro-organismes et à ses manifestations, etc.
- Le traitement biologique des rejets organiques utilise des micro-organismes hétérotrophes qui emploient le carbone organique comme source d'énergie ainsi que pour la synthèse cellulaire.
- Ce procédé peut se passer dans un environnement aérobic, qui est caractérisé par la présence d'oxygène dissous et dans un environnement anoxique, qui est caractérisé par l'absence d'oxygène dissous mais en présence de nitrate.
- Le procédé de dégradation de matière organique provoque le développement de bactéries qui, par des actions physico-chimiques retiennent la pollution organique et s'en nourrissent.
- Si ce procédé se passe dans un environnement aérobie, il consomme de l'oxygène. Sous des conditions anoxiques, le procédé consomme l'oxygène des nitrates et conduit à un dégagement d'azote gazeux. Ce procédé est appelé « dénitrification ».
- Si l'âge de boues est élevé, des micro-organismes autotrophes se développent. Ils effectuent la transformation de l'ammonium en nitrate, c'est-à-dire « la nitrification ». Les micro-organismes autotrophes emploient le dioxyde de carbone dissous pour la synthèse cellulaire. L'énergie requise pour cette synthèse provient de la réaction chimique de transformation de l'ammonium en nitrate qui se fait en deux phases : La première phase est appelée « nitritation » et consiste d'une transformation d'ammonium en nitrite. La deuxième phase est appelé « nitratisation » et consiste d'une transformation de nitrite en nitrate.

L'ensemble des deux transformations est appelé «nitrification ». La nitrification est caractérisée par une consommation forte d'oxygène et requiert un environnement strictement aérobie.

Le procédé de boues activées proposé pour la STEP de Réghaia consiste en deux réacteurs à boues activées, ayant chacun quatre compartiments. Dans ces réacteurs, on provoque le développement d'une culture bactérienne dispersée sous forme flocons appelés bio flocons.

Chaque réaction est alimentée en eau polluée et le mélange eau usée – bios flocons est appelé liqueur mixte.

La liqueur mixte est maintenue dans un régime turbulent par des agitateurs (compartiment 1) et par un système d'aération (aérateurs de surface dans les compartiments 2,3 et 4).

Dans les compartiments 2,3 et 4 de l'oxygène dissous et ainsi introduit dans la masse de la liqueur mixte, lequel est nécessaire pour la respiration et le développement des micro-organismes aérobies (hétérotrophes et autotrophes).

Après un temps de contact suffisant, la liqueur mixte est envoyée dans un clarificateur mécanisé appelé aussi décanteur secondaire.

Durant cette phase, une séparation solide/liquide s'effectue par gravité, améliorée par un mécanisme de raclage.

Afin de maintenir une quantité suffisante de micro-organismes (matière active), une grande partie des boues décantées est recyclée à l'entrée du réacteur biologique. Le maintien d'une concentration de matière active adéquate dans le bassin d'aération permet d'optimiser l'apport d'oxygène et l'élimination de la pollution. Avec les boues de retour, une grande partie des nitrates qui sont produits dans les compartiments aérés par l'activité des micro-organismes autotrophes sont réintroduit dans le bassin à boues activées. Ainsi, l'environnement dans le compartiment 1 des bassins à boues activées devient anoxique et permet de la dénitrification.

Le carbone organique facilement biodégradable et suffisant par l'apport d'eau brute.

Afin de pouvoir augmenter la charge en nitrate recyclée et donc la performance de la dénitrification, la plupart des systèmes comparables prévoient une recirculation interne entre les compartiments aérés et le compartiment anoxique.

Les boues biologiques en excès seront transférés vers les décanteurs primaires pour être mélangées aux boues primaires : le mélange de ces boues constitue les boues mixtes qui sont ensuite envoyées au traitement des boues (épaississement et stockage, puis déshydratation sur filtres à bandes et stabilisation avec de la chaux).

Afin de ne pas perturber le bon fonctionnement de la station d'épuration par des matières lourdes, volumineuse ou difficilement biodégradables, les traitements biologiques sont précédés de prétraitements adéquats, déjà existants :

- Dégrillage ;
- Dessablage déshuilage ;
- Décantation primaire.

IV.5 Fonctionnement de la station d'épuration

Des réseaux du type mixte acheminent les eaux usées qui sont de provenance communale et industrielle vers les installations de traitement. Un déversoir d'orage a été installé à la STEP de Réghaia pour la réception des eaux usées qui surpassent le débit limite d'entrée de la station de $8.118\text{m}^3/\text{h}$. Il existe aussi un By-pass total des installations par manœuvre d'un batardeau contrôlant l'entrée générale de la station.

Le comptage des eaux brutes se fait dans deux canaux venturi existants. Les eaux usées sont admises directement au dégrillage.

IV.5.1 Dégrillage

Le dégrillage est une opération qui s'effectue grâce aux deux dégrilleurs automatiques fins, du type à champ courbe, montés dans des canaux de 1 m de large. Elle consiste à extraire les gros déchets dans l'effluent tel que le papier, bois, plastique et les chiffons. Ces refus sont par la suite évacués par convoyeur à bande vers une benne.



Photo IV.2 : dégrilleur, tapis roulant

IV.5.2 Dessablage – déshuilage

Le dessablage retient par sédimentation : les graviers, le sable et les particules minérales plus ou moins fines de façon à éviter les dépôts dans les canaux et les conduites et, à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion. Le dessablage consiste à faire circuler l'eau dans une chambre avec une vitesse constante qui permet le dépôt de la majeure partie du sable.



Photo IV.3 : bassin de dessablage-déshuilage

Le déshuilage, favorise la flottaison des huiles et graisses entraînées à la surface par leur poids spécifique plus légères que l'eau et aidées par des bulles d'air fixées à ces matières, qui sont séparées par raclage en surface. Chaque dessableur - déshuileur a une longueur de 28m et une largeur de 4m.



Photo IV.4 : la remontée des graisses

IV.5.3 Décantation primaire

A la sortie de l'ouvrage de dessablage-déshuilage, les effluents prétraités sont répartis sur deux décanteurs primaires.

La décantation primaire est constituée de deux décanteurs de 12 m de diamètre et d'une hauteur d'eau cylindrique de 2,6 m.

Dans cette décantation primaire à peu près 30% de la pollution en carbone organique, contenue dans les eaux brutes, sont retenus.

Les boues décantées au fond de chaque ouvrage sont dirigées à l'aide des racleurs vers un puits central de collecte. Elles sont reprises par une tuyauterie les acheminant vers la bêche de pompage des boues mixtes.

Les flottants pouvant se trouver à la surface des décanteurs primaires sont repris par une lame de surface du racleur qui les guidera progressivement vers un puits de reprise des flottants. Les eaux décantées sont recueillies par surverses dans une rigole périphérique pour être dirigées vers le traitement nouveau à boues activées.



Photo IV.5 : bassin de décantation primaire



Photo IV.6 : bassin de décantation primaire

IV.5.4 Bassins d'aération

Les eaux décantées arrivent, Le traitement biologique se fait selon le principe de boues activées à faible charge associée à une dénitrification en tête et à une déphosphatation simultanée par injection d'un sel métallique. Le débit d'eau transféré vers le traitement biologique est indiqué et enregistré en salle de contrôle.

Chaque bassin d'aération est cloisonné en quatre compartiments en série, trois d'entre eux sont chacun équipé d'un aérateur.



Photo IV.7 : bassin d'aération

IV.5.4.1 Chambre de répartition

La chambre de répartition où arrivent et les eaux décantées et les boues de retour comprend deux rigoles en béton. Chacune d'elles est liée directement à un bassin d'aération et équipée de deux lames déversantes pivotables qui permettent d'ajuster individuellement les débits dirigés vers chacun des bassins à boues activées.

IV.5.4.2 Les agitateurs

Le premier compartiment des bassins à boues activées servant comme zone de dénitrification est équipé d'un agitateur. Du type submersible à axe horizontal et à vitesse de rotation lente.

L'agitateur est dimensionné pour un brassage optimal des eaux décantées, du sel ferrique pour l'élimination du phosphore, des boues de retour et des boues de recirculation interne de la liqueur mixte.

L'agitateur assurera un brassage complet, avec une vitesse moyenne au fond du bassin suffisante et une consommation spécifique de brassage très basse de 1 W/m^3 .

IV.5.4.3 Les pompes de recirculation interne

Installées à l'extrémité de chaque zone de dégazage, la pompe de recirculation interne permet de recirculer du nitrate formé dans les compartiments aérée dans le compartiment de dénitrification. Le positionnement prévu assure une recirculation minimale d'oxygène dissous dans la zone de dénitrification strictement anoxique.

La pompe de recirculation interne est du type submersible à axe horizontale avec une hélice autonettoyante. Elle est équipée d'un variateur de fréquences, le débit de nitrate recirculé par la pompe de recirculation interne est automatiquement adapté à la capacité effective de dénitrification. Ceci est déterminé par l'intermédiaire du débit en entrée ou la concentration en nitrate en aval des bassins à boues activées.

Chaque bassin de gazage est équipé d'une pompe de recirculation interne. Une troisième pompe du même type est stockée en atelier. La pompe permet un taux de recirculation interne de 50% par rapport au débit moyen du temps sec, permettant un taux de recirculation totale (recirculation interne plus recirculation des boues de retour) de 250%.

IV.5.4.4 Les aérateurs de surface

Du type à axe vertical et à vitesse de rotation lente, chaque aérateur est monté sur une passerelle en béton armé avec garde-corps. Les passerelles reposant sur 4 poteaux en béton armé. Les aérateurs sont constitués d'un groupe d'entraînement et d'une turbine en rotation à la surface du liquide.

La conception de ces turbines à faces minces soudées sur une partie centrale, réalisées en acier au carbone assure une valeur élevée du taux de transfert d'oxygène, ainsi qu'une bonne mise en suspension des boues, Les turbines sont grenillées puis époxytées.

Le groupe d'entraînement est maintenu sur la passerelle par des plaques en acier métallisé, tiges filetées et boulons.

Le moteur est doté d'une sonde thermique pour la protection contre les échauffements ainsi que d'un jeu de résistances chauffantes localisées dans le bobinage. Ces résistances s'enclenchent à l'arrêt du moteur et maintiennent le moteur à une température plus élevée que l'air ambiant évitant ainsi toute condensation dans le moteur, particulièrement pendant la période hivernale.



Photo IV.8 : bassin d'aération zone aérée



Photo IV.9 : bassin d'aération zone

En cas de défaut détecté par la sonde thermique du moteur, l'aérateur de surface s'arrêtera et une alarme sonore sera enclenchée.

De même, au niveau de chaque passerelle, un arrêt d'urgence du type « coup de poing » est prévu qui arrête l'ensemble des aérateurs d'un bassin.

Le compartiment 2,3 et 4 de chaque bassin d'aération est équipé d'un aérateur de surface.

La conception des ouvertures des cloisons entre les compartiments est tel qu'il forment un système de chicanes, permettant une meilleure circulation de l'eau mélangé aux boues de recirculation, de diminuer les courts circuits hydrauliques, et d'assurer une oxygénation minimum lorsque tous les aérateurs ne fonctionnent pas en même temps (charge faible et/ou pendant la nuit où le débit est réduit). Le démarrage et l'arrêt des aérateurs de surface seront organisés autour d'horloges cadence durée programmables.

IV.5.4.5 Lame de débordement



Photo IV.10 : lame de débordement

Du dernier compartiment du bassin à boues activées, la liqueur mixte déborde dans la zone de dégazage.

Le seuil déversoir est en acier inoxydable nuance AISI 316 L et réglable en hauteur, permettant ainsi de faire varier l'immersion des aérateurs de surface et d'optimiser l'énergie consommée.

IV.5.4.6 Zone de dégazage

La zone de dégazage est un bassin où des fines bulles d'oxygène, et surtout d'azote gazeux peuvent s'échapper. Le dégazage contrôlé assure que la présence des fines bulles gazeuses dans les clarificateurs, qui ont le potentiel de s'adhérer aux boues et de les faire flotter, est réduit à un minimum, assurant une décantation satisfaisante et une production d'écumes réduite.

Les extrémités de la zone dégazage se terminent dans une tuyauterie DN 1600(bassin N°1) et DN 2200v (bassin N°2) vers l'ouvrage de répartition en amont des décanteurs secondaires.



Photo IV.11 : bassin d'aération zone de dégazage

IV.5.4.7 Contrôle et mesure de l'oxygène dissous

Les bassins d'aération sont chacun dotés d'une mesure de l'oxygène dissous, pour le pilotage du fonctionnement des aérateurs de surface.

La mesure d'oxygène au dernier compartiment du bassin à boues activées permet d'optimiser l'oxygénation de faire des économies d'énergie. Il n'est pas nécessaire de mesurer d'une manière contenue et de prévoir une régulation avec une sonde à l'entrée de bassins, car l'expérience montre que les premiers aérateurs fonctionneraient tout le temps. Un point de mesure de l'oxygène dissous est constitué des éléments suivants :

- Une sonde de mesure d'oxygène dissous localisée à la fin de la cellule.
- Une porte sonde.
- Un transmetteur avec indication locale de la teneur en oxygène.

Ce transmetteur délivre un signal 4 à 20 mA vers le TGBT où le signal servira à piloter les séquences Marche/Arrêt des aérateurs de surface en fonction de la teneur en oxygène mesurée et à réafficher cette valeur au niveau du synoptique. Les valeurs de l'oxygène seront réaffichées sur le système de gestion de la station.

Les aérateurs peuvent également fonctionner manuellement ou par minuteries.

IV.5.4.8 Déphosphatation simultanée

Pour l'élimination simultanée du phosphore soluble par voie chimique, il a été prévu l'utilisation d'une solution de 40 % de chlorure ferrique. Le produit est livré sous forme liquide par un camion et stocké dans une cuve de 25 m³ qui permet une autonomie de 10 jours calendaires de réactif. La station de stockage et dosage du chlorure ferrique dispose de tout équipement nécessaire pour un fonctionnement automatiquement et en continu.



Photo IV.12 : l'équipement d'injection chlorure ferrique

Afin d'assurer la sécurité du personnel, la cuve de stockage sera installée dans un bassin de rétention en béton revêtu résistant au réactif de 5,0 x 5,0 x 1,2 m qui permet de stocker 1,2 fois le volume maximal de contenance de la cuve. En cas de fuite de la cuve, la mesure de niveau installée dans le bassin de rétention transmettra une alarme à la commande centralisée de la STEP. La mesure de niveau et la cuve de stockage seront le seul équipement installé dans le bassin de rétention.

La réception du chlorure ferrique se fait d'un camion qui sera vidé avec une pompe de transfert et un tuyau flexible de dépotage. Ce système de dépotage fait partie de la station de stockage et dosage laquelle est supervisé par un coffret de commande local qui contrôle le niveau dans la cuve de stockage pendant son remplissage. En cas de niveau haut, la pompe de transfert est arrêtée automatiquement, assurant la sécurité du personnel. Le niveau dans la cuve de stockage peut également être contrôlé visuellement par l'intermédiaire d'un indicateur du niveau.

Le coffret de commande local contrôle également le dosage du réactif dans les bassins à boues activées. Le système de dosage consiste en trois pompes de transfert, dont une en secours, et deux tuyauteries, reliant la station de stockage et dosage qui est installé à côté du bassin à boues activées No .1, aux deux zones dénitrification. La zone de dénitrification a été choisie comme point d'injection, car elle dispose d'un agitateur à opération continu qui assure un bon mélange du réactif. Le point d'injection du sel sera le plus proche que possible de l'entrée du mélange eaux et boues activées.

La pompe de transfert du chlorure ferrique sera du type à entraînement magnétique et réalisée en PP ce qui lui confère un caractère résistant à la corrosion. Le débit maximal sera 1 m³/h.

Les pompes de dosage seront du type à membrane et réalisée en PVC. Le système de dosage sera montré sur un skid de dosage qui dispose d'un bassin de rétention avec contrôle de niveau.

IV.5.5 Décanteurs secondaires

Le but de la décantation secondaire ou clarification est la séparation de l'eau épurée des boues qu'elle contient. L'ouvrage est de forme cylindro-conique. La liqueur mixte est introduite en son centre, l'eau clarifiée déborde en périphérie dans une double goulotte de reprise et les boues se déposent sur le radier. L'alimentation centrale se fait par l'intermédiaire d'une jupe cylindrique et un système de diffusion des effluents, assurant une alimentation régulière et équitablement répartie dans le bassin sans perturbation du lit de boue.

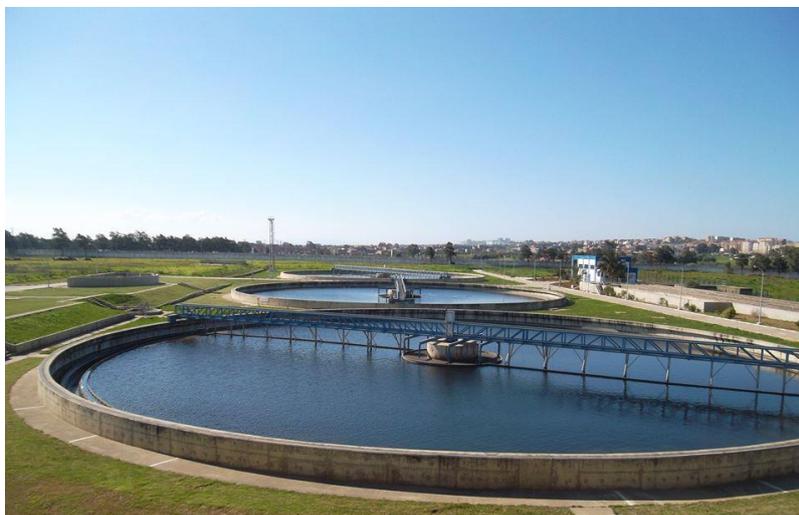


Photo IV.13 : décanteurs secondaires

IV.5.5.1 Ouvrage de répartition

Les clarificateurs sont alimentés à partir de l'ouvrage de répartition en aval des bassins à boues activées via une tuyauterie DN 1200. Cet ouvrage de répartition assure l'équipartition des débits entre les clarificateurs et fonctionne selon le même principe que l'ouvrage de répartition en amont des bassins à boues activées, mais avec trois compartiments. L'ajustement individuel des débits dirigés vers chacun des clarificateurs est réalisé avec des lames pivotables de débordement.

IV.5.5.2. Mécanisme racleur

Le racleur équipant le décanteur avec double traction périphérique est doté de racles de fond et de surface.

La double goulotte périphérique est munie de lames débordement crantées et d'une paroi siphonoïde. Les flottants sont raclés en surface et poussés vers un puisard annexe via un dispositif de récupération.

Les boues décantées sont raclées vers le centre de l'ouvrage où elles s'épaississent légèrement. Elles sont collectées dans un puisard centrale conique dont les parois sont inclinées de 60° sur l'horizontale. La capacité du puisard est environ 500 m³.

Les racles sont munies de bavettes en caoutchouc avec réglage par boutonnières. L'accès au pont se fera par une échelle montée latéralement. La protection contre la corrosion de toutes les parties en contact avec l'eau composant la machine est assurée par leur réalisation en acier inoxydable nuance AISI 316L. Toutes les autres parties composant la machine sont protégées, après sablage au métal blanc, par galvanisation par immersion.

La protection contre les surcharges sur la moto réductrice est assurée par un limiteur de couple électronique déclenchant une alarme et arrêt du pont en cas de blocage. Un arrêt d'urgence embarqué sur le pont et un autre près de l'ouvrage permet d'arrêter le mécanisme de régale en cas de besoin.

IV.5.5.3 Goulotte des eaux décantées

Les eaux qui se déversent dans la goulotte sont des eaux décantées, aménagée de manière à avoir une charge d'eau optimum sur le déversoir décrit au paragraphe suivant. Les dimensions de cette goulotte en acier inoxydable nuance AISI 316L, sont environ 1000x1000 mm. L'accès à cette goulotte est possible sur toute sa longueur avec une échelle montée sur le pont racleur.

Une brosse nylon montée également sur le pont racleur et entraînée par un électromoteur assure le nettoyage automatique et en continu de la goulotte.

IV.5.5.4 Lames de débordement et paroi siphonide

Sont exécutées à partir de tôles d'acier inoxydable nuance AISI 316 L, elles sont fixées à la goulotte de débordement par clames et boulons. Ce dispositif permet le réglage en hauteur et de l'horizontalité des lames. La goulotte est du type double afin de maintenir une charge hydraulique la plus faible même en temps de pluie.

Dans le cas de 10 à 15 cm de la lame débordement, la paroi est fixée à la goulotte de débordement au moyen d'entretoises. Les lames de la paroi siphonide sont exécutées à partir de tôle en acier inoxydable nuance AISI 316 L suivant DIN 19558.

IV.5.5.5 Récupération des flottants

Les flottants sont repris dans un canal collecteur d'écumes monté sur chaque pont racleur qui les dirige vers un puits équipé d'une pompe submersible. Celui-ci est également monté sur chaque pont racleur et relié par une tuyauterie avec la bache de stockage des boues épaissies en amont des filtres à bandes presseuses. Ainsi, toute recirculation des écumes pouvant causer leur accumulation dans le système à boues activées est évitée.



Photo IV.14 : filtration au sable

IV.5.6 Filtration au sable

Les eaux traitées biologiquement et ayant subi la décantation secondaires subissent une filtration sur sable afin de réduire la contamination microbiologique et notamment les œufs d'Helminthes.

L'admission de l'eau sur chaque filtre se fera par l'intermédiaire d'une vanne murale de dimension 500 x 500 mm à commande électrique.

Après le passage de la vanne, l'eau se déversera dans les filtres. Les déversoirs ont pour but d'assurer une répartition régulière sur chaque filtre (type WABAG).

L'eau qui a traversé le milieu filtrant et la dalle filtrante sera collectée et évacuée vers le réservoir d'eau de lavage des filtres.

Pour assurer un niveau constant sur la couche filtrante, un système de réglage du niveau est prévu pour chaque filtre.

Ce système permet :

- Une isolation du filtre du canal d'eau traitée pendant son lavage.
- Le maintien d'un niveau constant pendant la filtration.



Photo IV.15 : filtration au sable avec la mise en eau

IV.5.7 Traitement des boues

La station d'épuration de Reghaia produit

deux types de boues :

- Des boues primaires issues de la décantation primaire.
- Des boues biologiques issues de la décantation secondaire.



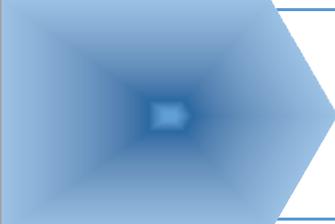
Photo IV.16 : centrifugeuse

Les boues biologiques en excès sont acheminées vers les décanteurs primaires pour y être mélangées avec les boues primaires formant ainsi ce qu'on appelle des boues mixtes. Ces boues subissent trois traitements successifs :

- Un épaissement puis, un stockage dans une bache de stockage.
- Une déshydratation mécanique sur filtres à bandes presseurs.
- Une stabilisation chimique par ajout de chaux.



Photo IV.17 : boues déshydratées



Chapitre V

Calcul des ratios & Interprétations des résultats

V.1 Introduction

On ne peut pas atteindre les performances souhaitées sans l'identification des problèmes qui causent des dysfonctionnements. Nous allons suivre une démarche qui se fonde sur l'interprétation des données disponibles. Par suite on calcule des ratios pour détecter les points noirs de la station d'épuration de Réghaia, afin que l'on puisse proposer des solutions adéquates pour chaque problème et aussi suggérer des recommandations pour optimiser le fonctionnement de la station d'épuration.

Le diagnostic de la station d'épuration permet non seulement d'évaluer les performances épuratoires, mais aussi de détecter les dysfonctionnements au niveau de chaque poste de traitement.

La période d'études s'étale, en fonction des données disponibles, sur 36 mois, de mars 2011 jusqu'à décembre 2013.

V.2 Interprétation des paramètres de pollution

Le tableau suivant regroupe les valeurs extrêmes minimales et maximales ainsi que les valeurs moyennes pour les différents paramètres de pollution.

| paramètres | valeurs minimales | | valeurs moyennes | | valeurs maximales | | Rendement (%) |
|--|-------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|---------------|
| | Eau brute | Eau épurée | Eau brute | Eau épurée | Eau brute | Eau épurée | |
| Débit (m ³ /j) | 33270 | Absence de débitmètre | 56614,50 | Absence de débitmètre | 88126,52 | Absence de débitmètre | / |
| Température (°C) elle n'est pas mesurée sur site & l'O2 dissous(BA) manque de donnée | | | | | | | / |
| pH | 7,16 | 7,00 | 7,50 | 7,48 | 8,32 | 8,00 | / |
| Conductivité (µS/cm) | 1325,63 | 1147,50 | 1754,43 | 1659,02 | 2326,00 | 2207,00 | / |
| MES (mg/l) | 158,72 | 7,39 | 278,63 | 16,38 | 442,00 | 42,00 | 93,84 |
| MES (kg/j) | 6051,00 | 301,00 | 13167,85 | 786,60 | 22172,96 | 2723,57 | |
| DCO (mg/l) | 230,47 | 27,45 | 411,64 | 45,43 | 625,00 | 91,00 | 88,61 |
| DCO (kg/j) | 1117,00 | 1031,00 | 19641,28 | 2172,89 | 30758,15 | 4988,51 | |
| DBO ₅ (mg/l) | 103,67 | 3,10 | 195,20 | 9,48 | 316,00 | 18,67 | 92,78 |
| DBO ₅ (kg/j) | 3492,00 | 213,00 | 9500,54 | 436,18 | 16768,61 | 1293,59 | |
| NTK (mg/l) | 26,83 | 3,32 | 40,14 | 16,73 | 54,88 | 31,51 | 59,31 |
| NTK (Kg/j) | 1558,09 | 239,88 | 2362,81 | 980,00 | 3371,01 | 2193,69 | |
| NGL (mg/l) | 28,09 | 11,53 | 43,64 | 22,51 | 92,00 | 36,00 | 47,36 |
| NGL (kg/j) | 582,00 | 438,12 | 2289,34 | 1157,43 | 3766,66 | 2047,43 | |
| N-NH ₄ ⁺ (mg/l) | 10,45 | 0,21 | 20,69 | 13,36 | 30,86 | 30,04 | / |
| NH ₄ ⁺ (mg/L) | 13,47 | 0,27 | 26,69 | 17,23 | 39,81 | 38,75 | / |
| N-NO ₃ ⁻ (mg/l) | 0,50 | 0,09 | 2,20 | 3,07 | 14,45 | 13,20 | / |
| NO ₃ ⁻ (mg/l) | 2,22 | 0,41 | 9,76 | 13,62 | 64,03 | 58,49 | / |
| N-NO ₂ ⁻ (mg/l) | 0,11 | 0,03 | 0,43 | 0,37 | 1,24 | 1,73 | / |
| NO ₂ ⁻ (mg/l) | 0,35 | 0,10 | 1,40 | 1,23 | 4,07 | 5,67 | / |
| P _T (mg/l) | 2,32 | 0,20 | 3,89 | 0,71 | 6,03 | 2,43 | 80,88 |
| P _T (kg/j) | 74,00 | 13,94 | 219,56 | 42,02 | 435,00 | 175,00 | |

Tableau V.1: Les paramètres de pollution pour eau usée et traitée la STEP de Réghaia

Les Données mensuelle pour les différents paramètres sont présentées dans l'annexe 1.

Le tableau ci-dessous donne la consommation d'autres produits.

| Valeurs Paramètres | Valeurs minimales | Valeurs moyennes | Valeurs maximales |
|----------------------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| Consommation électrique (KWh /j) | 13592 | 18537,9743 | 24685 |
| Polymère (kg/j) | 32,29 | 93,78 | 129,17 |

Tableau V.2: Consommation en énergie et en produit (STEP Réghaia)

V.2.1 Evolution de débit d'eau à épurée

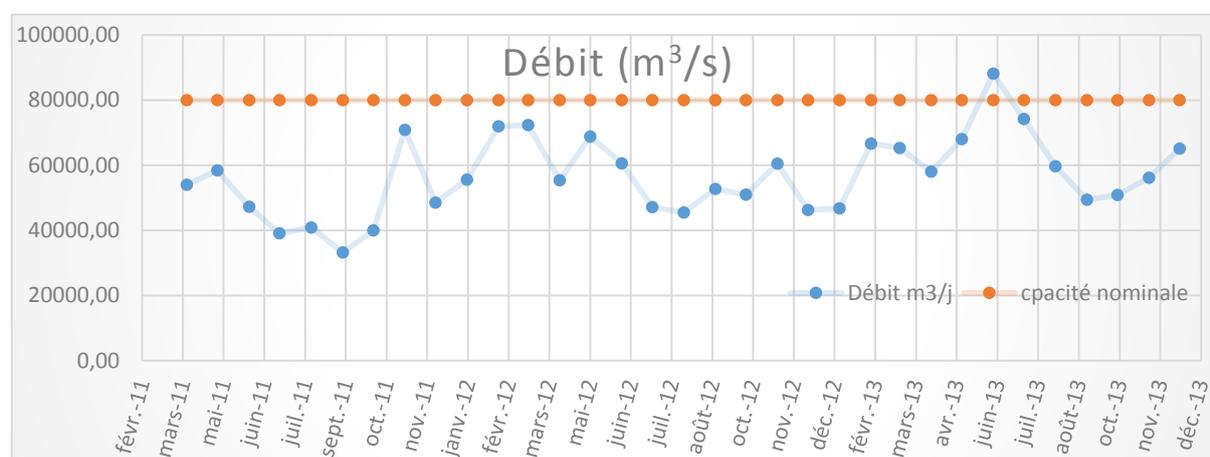


Figure V.1 : Evolution du débit d'entrée février 2011 à décembre 2013 pour la STEP de Réghaia

On remarque une variation importante du débit d'eau à traiter à l'entrée de la station d'épuration de Réghaia qui va de 32 70,00 m³ /s en septembre 2011 à 88 126,52 m³ /s en juin 2013, dépassant ainsi la capacité nominale de la station.

La valeur moyenne de 56 614,50 m³/j représentant 70,77 % du débit nominal, ayant pour cause principale un taux de raccordement élevé de la région (sept communes) au réseau d'assainissement, ainsi que les activités industrielles qui ont un débit assez conséquent et permanent dans le temps.

V.2.2 Taux de dilution

Evaluation de l'impact des eaux claires parasites.

Les eaux claires parasites ont une influence négative sur le fonctionnement des systèmes d'assainissement :

- sur les réseaux : diminution de la capacité de transit des eaux usées entraînant des surcharges hydrauliques dans les collecteurs et les postes de relèvement, générant une augmentation des durées de pompage et des consommations d'énergie ainsi qu'une usure mécanique prématurée des équipements,
- pour les stations, la surcharge hydraulique peut provoquer des rejets d'eaux non traitées dans le milieu naturel. La dilution des effluents peut être à l'origine d'une baisse du rendement épuratoire et des temps de séjour. [57]

Méthodes de calcul du taux de dilution

La présence d'eaux claires parasites peut être appréhendée par le calcul du taux de dilution et par l'observation des concentrations en DCO.

1^{ère} méthode de calcul du taux de dilution (méthode usuelle)

Elle se base sur la concentration en DCO : Taux de dilution = $(700 - [\text{DCO}]) / [\text{DCO}] \times 100$

Avec : $[\text{DCO}]$ = concentration DCO moyenne annuelle pour les STEP en auto-surveillance ou concentration DCO moyenne de plusieurs années pour les STEP sans auto-surveillance,

$$[\text{DCO}] = (\text{charge moyenne annuelle}) / (\text{volume moyen annuel}) \times 1\,000.$$

2^{ème} méthode de calcul du taux de dilution [58]

Une autre méthode de calcul du taux de dilution se base sur le débit minimum :

- un bilan journalier est choisi sur l'année 2012 pour chaque station, en fonction de la représentativité de la courbe des débits sur 24 heures et d'une période de temps sec,
- le volume minimum (V_{mini}) et le débit journalier sur 24h (Q_j) sont extraits du bilan
- le débit minimum corrigé (Q_{ecp}) est calculé de la façon suivante :

$$Q_{\text{ecp}} = (V_{\text{mini}} \times 24) - (k \times Q_j) / (1 - k)$$

avec $k=0.25$, coefficient permettant de retirer la part résiduelle d'eaux usées

$$\text{Taux de dilution} = Q_{\text{ecp}} / (Q_j - Q_{\text{ecp}}) \times 100$$

Le tableau suivant montre le taux de dilution de l'effluent pour des valeurs supérieures à 400%

| Date | Eau Brute m ³ /j | Charge entrante kgDBO5/j | Charge entrante DBO5 mg/l | Charge entrante(EH) 1EH=60g DBO5/j | Volume d'eaux domestiques 150l/EH/j | Volume d'eaux claires parasites m ³ /j | Taux de Dilution % |
|------------|--------------------------------|-----------------------------|------------------------------|--|---|---|--------------------------|
| 20/01/2012 | 51 379,0 | 5 651,7 | 110,0 | 94 194,8 | 14 129,2 | 37 249,8 | 263,6 |
| 30/01/2012 | 70 259,0 | 8 431,1 | 120,0 | 140 518,0 | 21 077,7 | 49 181,3 | 233,3 |
| 04/02/2012 | 80 255,0 | 4 815,3 | 60,0 | 80 255,0 | 12 038,3 | 68 216,8 | 566,7 |
| 05/02/2012 | 70 163,0 | 6 314,7 | 90,0 | 105 244,5 | 15 786,7 | 54 376,3 | 344,4 |
| 07/02/2012 | 74 134,0 | 8 154,7 | 110,0 | 135 912,3 | 20 386,9 | 53 747,2 | 263,6 |
| 08/02/2012 | 71 928,7 | 6 473,6 | 90,0 | 107 893,1 | 16 184,0 | 55 744,8 | 344,4 |
| 13/02/2012 | 91 364,0 | 4 568,2 | 50,0 | 76 136,7 | 11 420,5 | 79 943,5 | 700,0 |
| 14/02/2012 | 90 568,0 | 7 245,4 | 80,0 | 120 757,3 | 18 113,6 | 72 454,4 | 400,0 |
| 22/02/2012 | 94 867,0 | 5 692,0 | 60,0 | 94 867,0 | 14 230,1 | 80 637,0 | 566,7 |
| 23/02/2012 | 83 886,0 | 5 033,2 | 60,0 | 83 886,0 | 12 582,9 | 71 303,1 | 566,7 |
| 25/02/2012 | 62 354,0 | 4 364,8 | 70,0 | 72 746,3 | 10 912,0 | 51 442,1 | 471,4 |
| 08/03/2012 | 83 674,0 | 4 183,7 | 50,0 | 69 728,3 | 10 459,3 | 73 214,8 | 700,0 |
| 12/03/2012 | 72 295,1 | 8 675,4 | 120,0 | 144 590,3 | 21 688,5 | 50 606,6 | 233,3 |
| 15/03/2012 | 72 295,1 | 5 060,7 | 70,0 | 84 344,3 | 12 651,7 | 59 643,5 | 471,4 |
| 23/03/2012 | 50 850,0 | 3 051,0 | 60,0 | 50 850,0 | 7 627,5 | 43 222,5 | 566,7 |
| 13/04/2012 | 85 787,0 | 7 720,8 | 90,0 | 128 680,5 | 19 302,1 | 66 484,9 | 344,4 |
| 14/04/2012 | 109 736 | 6 584,2 | 60,0 | 109 736,0 | 16 460,4 | 93 275,6 | 566,7 |
| 16/04/2012 | 97 997,0 | 3 919,9 | 40,0 | 65 331,3 | 9 799,7 | 88 197,3 | 900,0 |
| 17/04/2012 | 81 241,0 | 4 062,1 | 50,0 | 67 700,8 | 10 155,1 | 71 085,9 | 700,0 |
| 19/04/2012 | 68 226,0 | 5 458,1 | 80,0 | 90 968,0 | 13 645,2 | 54 580,8 | 400,0 |
| 22/04/2012 | 67 023,0 | 4 691,6 | 70,0 | 78 193,5 | 11 729,0 | 55 294,0 | 471,4 |
| 04/05/2012 | 58 137,0 | 4 651,0 | 80,0 | 77 516,0 | 11 627,4 | 46 509,6 | 400,0 |
| 13/05/2012 | 61 791,0 | 4 325,4 | 70,0 | 72 089,5 | 10 813,4 | 50 977,6 | 471,4 |
| 25/05/2012 | 71 941,0 | 7 913,5 | 110,0 | 131 891,8 | 19 783,8 | 52 157,2 | 263,6 |
| 19/06/2012 | 48 943,0 | 2 936,6 | 60,0 | 48 943,0 | 7 341,5 | 41 601,6 | 566,7 |
| 03/11/2012 | 62 427,0 | 6 867,0 | 110,0 | 114 449,5 | 17 167,4 | 45 259,6 | 263,6 |
| 06/12/2012 | 40 522,0 | 4 052,2 | 100,0 | 67 536,7 | 10 130,5 | 30 391,5 | 300,0 |
| 27/12/2012 | 44 702,0 | 3 129,1 | 70,0 | 52 152,3 | 7 822,9 | 36 879,2 | 471,4 |
| 12/01/2013 | 40 202,0 | 2 010,1 | 50,0 | 33 501,7 | 5 025,3 | 35 176,8 | 700,0 |
| 13/01/2013 | 45 697,0 | 4 112,7 | 90,0 | 68 545,5 | 10 281,8 | 35 415,2 | 344,4 |
| 25/01/2013 | 43 266,0 | 2 596,0 | 60,0 | 43 266,0 | 6 489,9 | 36 776,1 | 566,7 |
| 12/02/2013 | 90 044,0 | 4 502,2 | 50,0 | 75 036,7 | 11 255,5 | 78 788,5 | 700,0 |
| 13/02/2013 | 87 093,0 | 7 838,4 | 90,0 | 130 639,5 | 19 595,9 | 67 497,1 | 344,4 |
| 21/05/2013 | 67 470,0 | 4 048,2 | 60,0 | 67 470,0 | 10 120,5 | 57 349,5 | 566,7 |
| 23/05/2013 | 133 422 | 9 339,5 | 70,0 | 155 659,0 | 23 348,9 | 110 073,2 | 471,4 |
| 14/11/2013 | 63 061,0 | 4 414,3 | 70,0 | 73 571,2 | 11 035,7 | 52 025,3 | 471,4 |
| 17/11/2013 | 74 023,0 | 8 142,5 | 110,0 | 135 708,8 | 20 356,3 | 53 666,7 | 263,6 |

Tableau V.3: Taux de dilution et le volume d'eau claire parasite pour la station de Réghaia

D'après le tableau3, l'effluent admis sur la station est en majorité fortement dilué. Cette situation traduit l'impact significatif des eaux claires parasites sur le réseau d'assainissement de la région (réseau unitaire) qui à relier aussi à des événements pluvieux importants.

La courbe suivante représente le taux de dilution pendant la période d'étude.

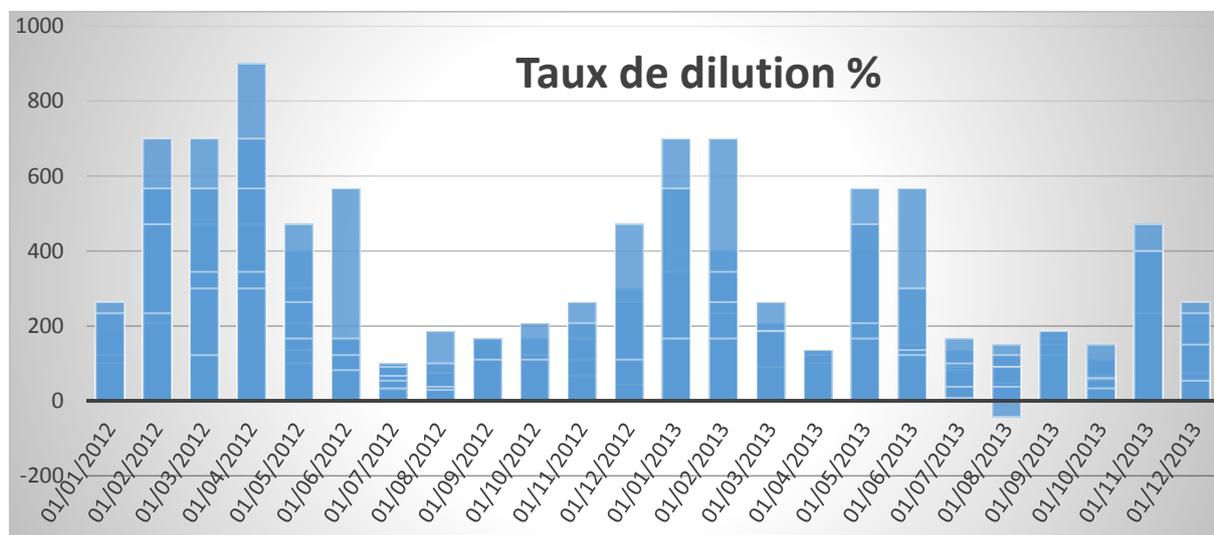


Figure V.2: Taux de dilution de la charge hydraulique à l'entrée de la STEP de Reghaia (Janvier 2012 à Décembre 2013)

Le graphe regroupe le taux de dilution en % durant toute la période d'étude et montre que les fortes dilutions surviennent durant des périodes pluvieuses.

V.2.3 Evolution des paramètres physico-chimiques

V.2.3.1 Le potentiel hydrogène PH

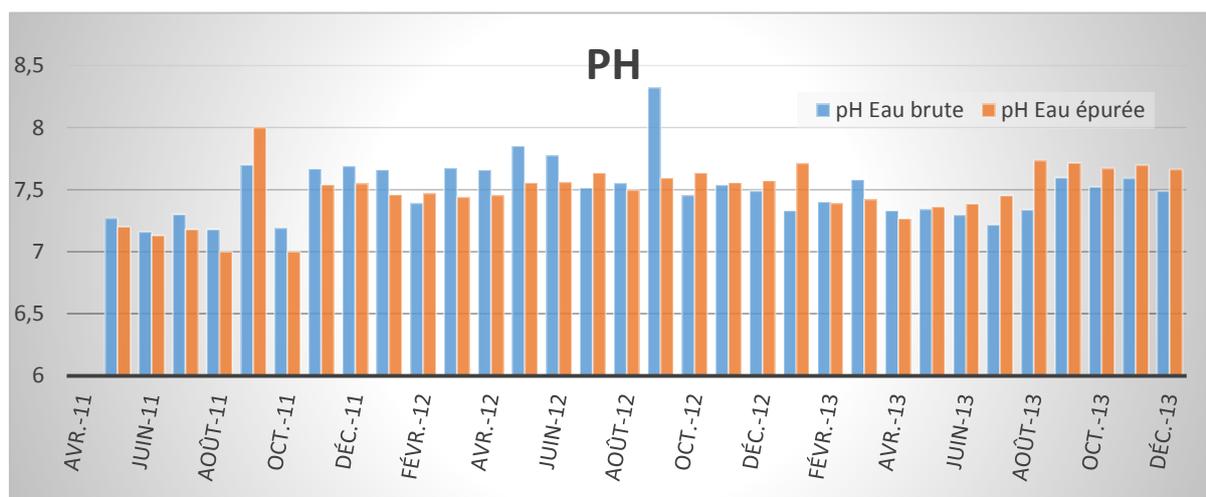


Figure V.3: Evolution du pH d'avril 2011 à décembre2013 pour la STEP de Réghaia

Les valeurs du pH mesurées à l'entrée de la STEP varient entre 7,16 et 8,32 avec une moyenne de 7,49. Par contre en sortie de station, on remarque des valeurs approchées et inférieures à celles de l'entrée, à l'exception du mois de septembre 2011 avec un petit dépassement de 0.3 par rapport à l'entrée.

Le pH de l'effluent est directement relié au phénomène de corrosion au niveau des canalisations, les normes fixées par l'OMS concernant le pH sont délimitées par l'intervalle [6,5 - 7,5], en général, le pH est proche de la neutralité voire légèrement basique.

On remarque que la moyenne mensuelle pour les eaux brutes ou épurées dépasse la norme pour les mois de sept 2012 pour les eaux brutes et sept 2011 pour les eaux épurées ; cela est dû à l'implantation de la zone industrielle à l'aval de la STEP.

Ce dépassement aura un impact direct sur le milieu récepteur car lorsque le $\text{PH} > 8$, l'ammoniac se présente sous forme de NH_3 (ion ionisé), très toxique pour la vie aquatique [59].

V.2.3.2 La conductivité électrique (CE) :

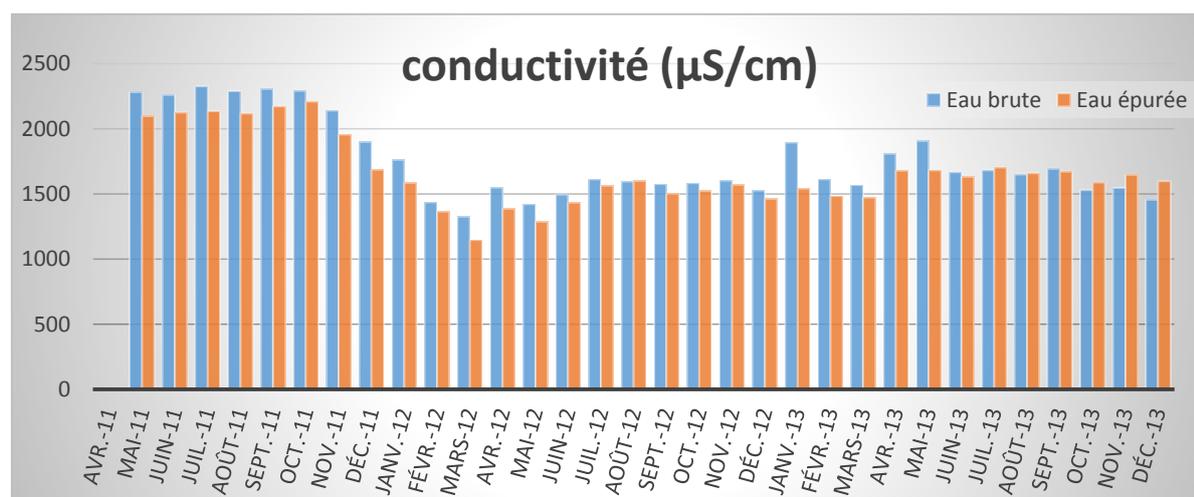


Figure V.4: Evolution de la conductivité d'avril 2011 à septembre 2013 pour la STEP de Réghaia

La conductivité électrique à l'entrée de la STEP, durant la période d'avril 2011 jusqu'à septembre 2013, varie de 1 325,62 à 2326 µS/cm, avec une moyenne de 1754,42 µS/cm, Après traitement on remarque une faible diminution de la conductivité avec une moyenne de 1 147,5 µS/cm.

Ces résultats mettent en évidence une forte minéralisation des eaux usées due probablement aux rejets industriels métallurgiques.

De même, ces valeurs moyennes sont inférieures à $2700\mu\text{S}/\text{cm}$, considérée comme valeur limite de rejet direct dans le milieu récepteur [60]. Néanmoins La comparaison des valeurs de conductivité électrique enregistrées avec les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation permet de les classer dans la classe 3 : $750\mu\text{S}/\text{cm}$ - $2250\mu\text{S}/\text{cm}$, représentant des eaux à haute salinité qui ne devrait pas être utilisées dans les sols où le drainage est faible. De plus, ce type d'eau ne doit pas servir à irriguer les plantes sensibles aux sels même sur les sols ayant un bon drainage. [61,62]

V.2.4 Les paramètres de la pollution particulaire

V.2.4.1 Matières en suspension MES

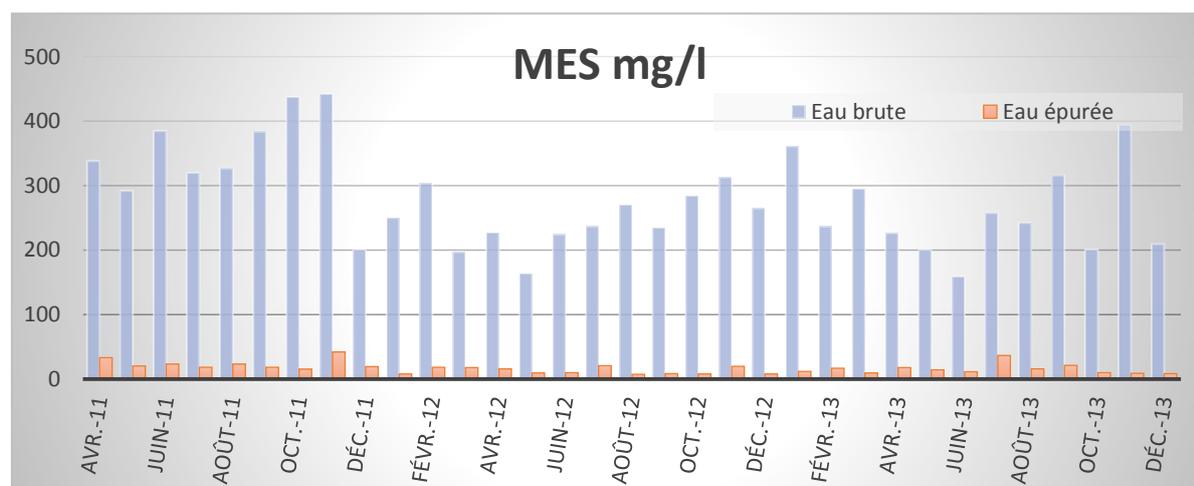


Figure V.5 : Evolution de la concentration en MES d'avril 2011 à décembre2013 pour la STEP de Réghaia

À l'entrée de la STEP, la concentration moyenne est de $278,62\text{ mg}/\text{l}$ en MES, avec une valeur maximale de $442\text{ mg}/\text{l}$ et une concentration minimale de $158,72\text{ mg}/\text{l}$. Les valeurs enregistrées sont, en moyenne, supérieures à la valeur nominale de la STEP qui est de $248,8\text{ mg}/\text{l}$. Ceci est à relier à l'augmentation du flux de MES par temps de pluie qui provient majoritairement une remise en suspension des dépôts accumulés (dépôts et biofilms) dans le collecteur [63].

À la sortie de la STEP on a un rendement remarquable qui attendre $93,84\%$ en moyenne, et une concentration moyenne de MES en sortie égale à $16,38\text{ mg}/\text{l}$. Cependant il ya parfois dépassement de la valeur nominale de la STEP qui est de $20\text{mg}/\text{l}$ par exemples : avr 2011 MES = $33\text{ mg}/\text{l}$, nov2011 MES = $42\text{ mg}/\text{l}$, et juil2013 MES = $36\text{ mg}/\text{l}$

V.2.5 Evolution des paramètres de la pollution organique globale

V.2.5.1 La demande chimique en oxygène (DCO)

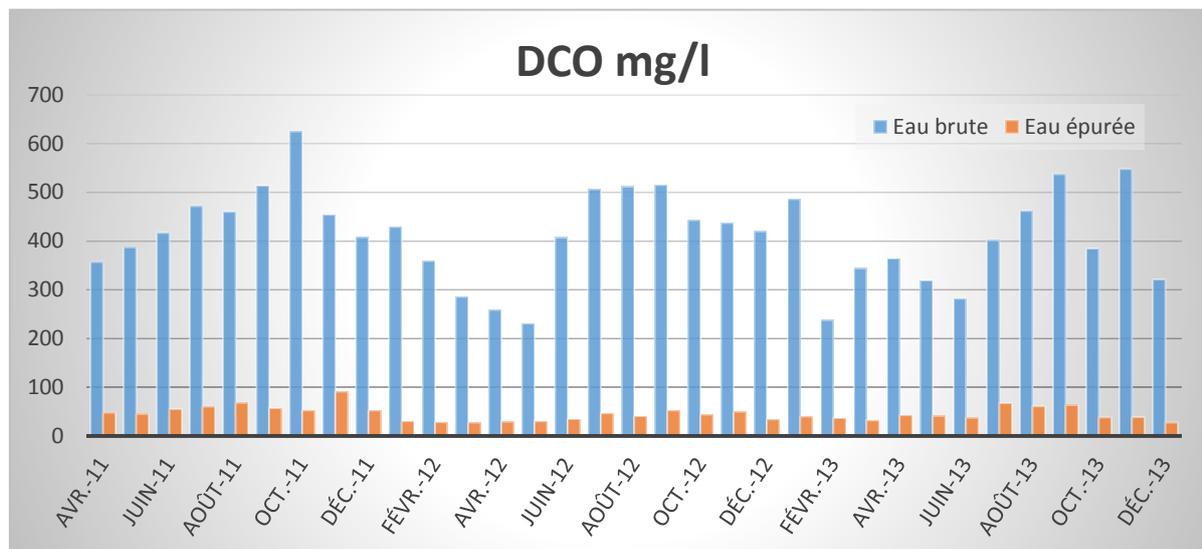


Figure V.6 : Evolution de la demande chimique en oxygène d'avril 2011 à décembre 2013 pour la STEP de Réghaia

À l'entrée de la STEP, les concentrations de la DCO varient entre 230,5 mg/l et 650 mg/l, par contre à la sortie les valeurs ne dépassent pas 91 mg/l comme valeur maximum et se limitent à 27,45 mg/l comme valeur minimum.

Le graphe montre des rendements importants avec une moyenne de 88 % ; La valeur moyenne de la DCO est de 411,64 mg/l pour les eaux brutes et de 45,43 mg/l pour les eaux épurées, cependant ces moyennes dépassent la capacité nominale de la STEP. Ces valeurs sont égales à 356,3 mg/l à l'entrée et 50 mg/l à la sortie.

Ces dépassements sont marqués à cause de la pollution industrielle (une forte concentration en DCO dure qui ne peut pas être métabolisée par les bactéries).

V.2.5.2 La demande biologique en oxygène (DBO5)

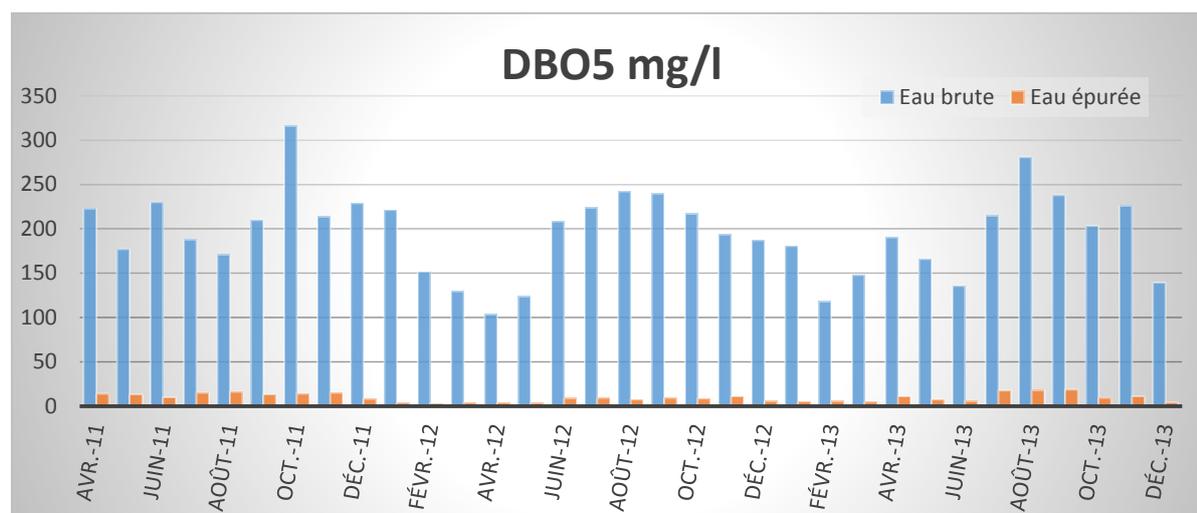


Figure V.7 : Evolution de la demande biologique en oxygène d’avril 2011 à décembre 2013 pour la STEP de Réghaia

Les valeurs moyennes de la DBO5 enregistrées au sein de la station d’épuration de Réghaia sont 195,20 mg/l à l’entrée et 9,48 mg/l à la sortie. Ces concentrations sont inférieurs à la capacité nominale 197,5 mg/l à l’entrée et 15 mg/l en sortie.

À l’entrée de la station, les valeurs de la DBO5 se situent entre 103,67 mg/l et 316 mg/l comme valeurs extrêmes, et en sortie de la STEP on a 3,09 mg/l comme valeur minimale et 18,67 comme valeur maximale.

L’efficacité d’abattement de la DBO atteint les 98,18 % comme rendement maximal et un rendement moyen de 92,78 %.

Les valeurs de la DBO5 en sortie de la STEP sont inférieures à 30 mg/l respectant ainsi la norme fixée par l’OMS, également ces valeurs restent au-dessous de la norme algérienne qui fixe à 35 mg/l la valeur extrême.

V.2.6 Evolution des paramètres de pollution dissoute

V.2.6.1 Le phosphore total

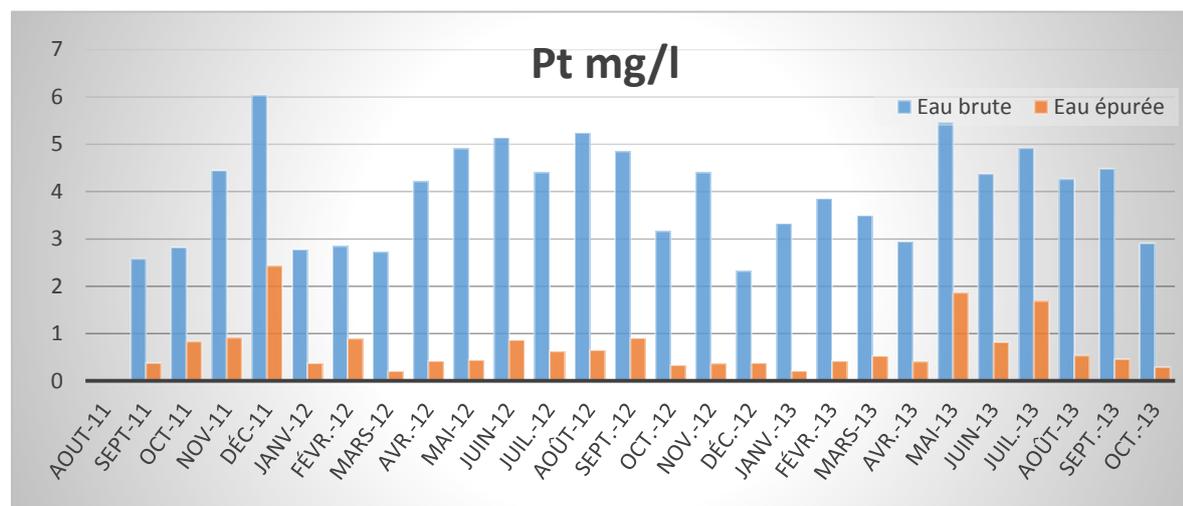


Figure V.8: Evolution de la concentration du phosphore total d'août 2011 à décembre 2013 pour la STEP de Réghaia

À l'entrée de la STEP, la concentration moyenne en phosphore total est de 3,89 mg/l, avec une concentration maximale de 6,03 mg/l enregistrée en déc2011 et une concentration minimale de 2,32 mg/l.

Les valeurs enregistrées sont en moyenne inférieures à la valeur nominale de la STEP qui est de 6,3 mg/l.

Les concentrations de phosphore sont relativement faibles par rapport à la capacité nominale de la station d'épuration de Réghaia, et ne nécessitent donc pas l'utilisation de la filière du traitement chimique du phosphore. Le traitement biologique est largement suffisant.

A la sortie de la STEP nous enregistrons une valeur moyenne de Pt égale à 0,71 mg/l qui est largement inférieure à la valeur nominale de Pt en sortie de STEP de 3 mg/l, ainsi des concentrations de 0,20 mg/l et 2,43 mg/l comme valeurs minimale et maximale respectivement. En général, on rencontre rarement de problèmes liés au dépassement de phosphore [52] ; Le rendement d'abattement est de 81,61 % en moyenne.

V.2.6.2 Azote global (NGL)

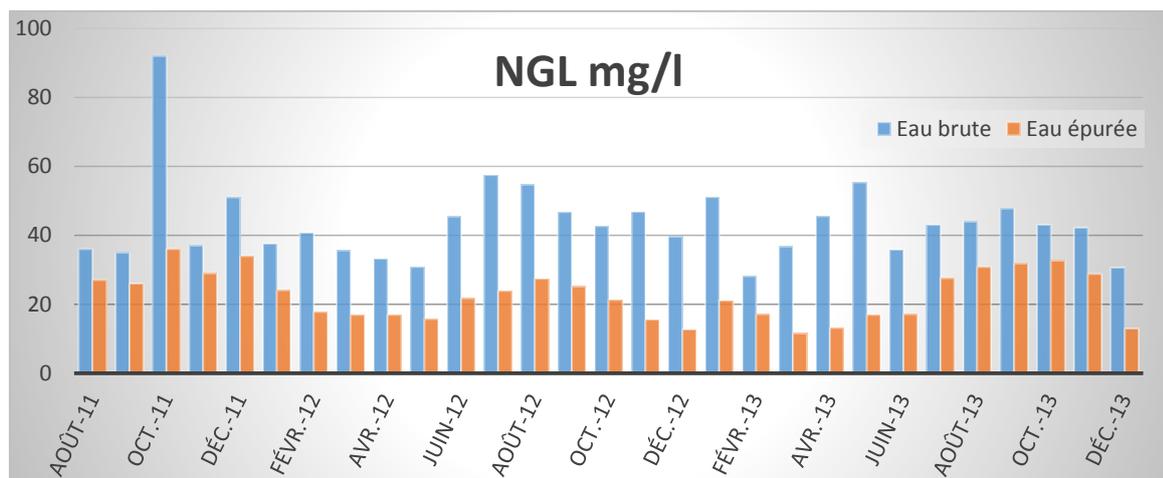


Figure V.9: Evolution de la concentration en azote global d’août décembre 2013 pour la STEP de Réghaia

D’après le graphe on remarque des valeurs très élevées de l’azote total (NGL), en entrée de la station, variant entre 28, 1 et 92 mg/l avec une moyenne de 43,64 qui dépasse largement la capacité nominale de la STEP à l’entrée qui est de 23,7 mg/l.

A la sortie de la station la concentration de l’Azote oscille entre 11,52 et 36mg/l et une moyenne de 22.5 mg/l est supérieure à la capacité nominale de qui est de 10 mg/l après traitement. Ce dépassement aura un impact direct sur le milieu récepteur ; Le degré d’abattement de l’Azote est de 47,36 % ce rendement ne répond pas au objectif de la station.

V.2.6.3 Azote ammoniacal N-NH4+

Sachant que 1,29 mg NH4 + sont équivalents à 1 mg d’azote ammoniacal N-NH4+

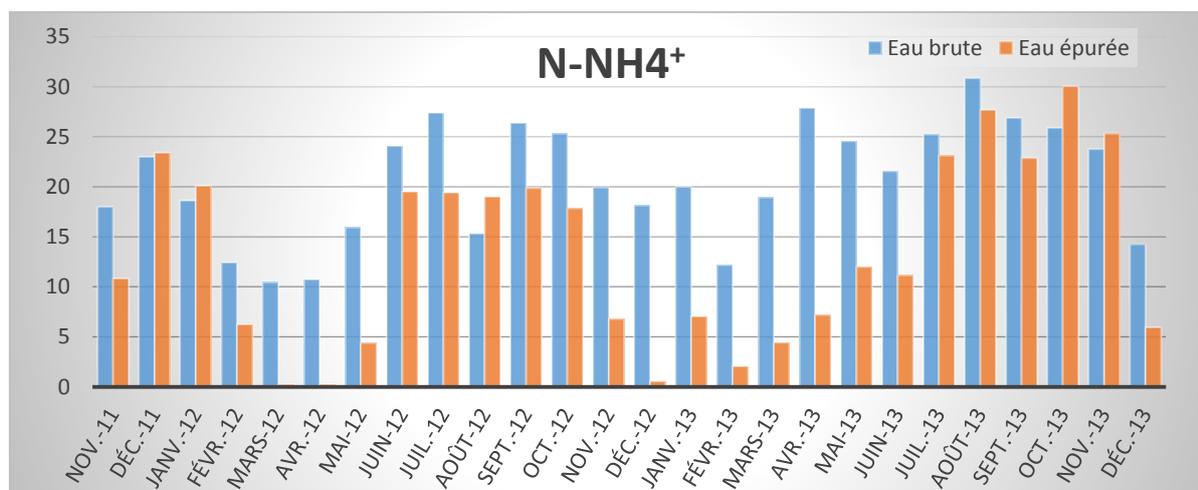


Figure V.10 : Evolution de la concentration d’azote ammoniacal de novembre 2011 à décembre 2013 pour la STEP de Réghaia.

À l'entrée de la station, les concentrations d'azote ammoniacal varient entre 10,45 mg/l et 30,86 mg/l avec une moyenne de 20,69 mg/l.

En sortie de station des valeurs enregistrées en oct2013 varient entre 0.21mg/l et 30.04 mg/l, ces dernières ayant pour origine la forte charge organique enregistrée pour ce mois en tête de STEP. Cela est responsable de l'inhibition du processus de nitrification avec une moyenne d'environ 13,36 mg/l. Cette valeur est supérieure à 5 mg /l fixée par l'OMS.

V.2.6.4 L'azote nitrique (N-NO₃⁻)

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

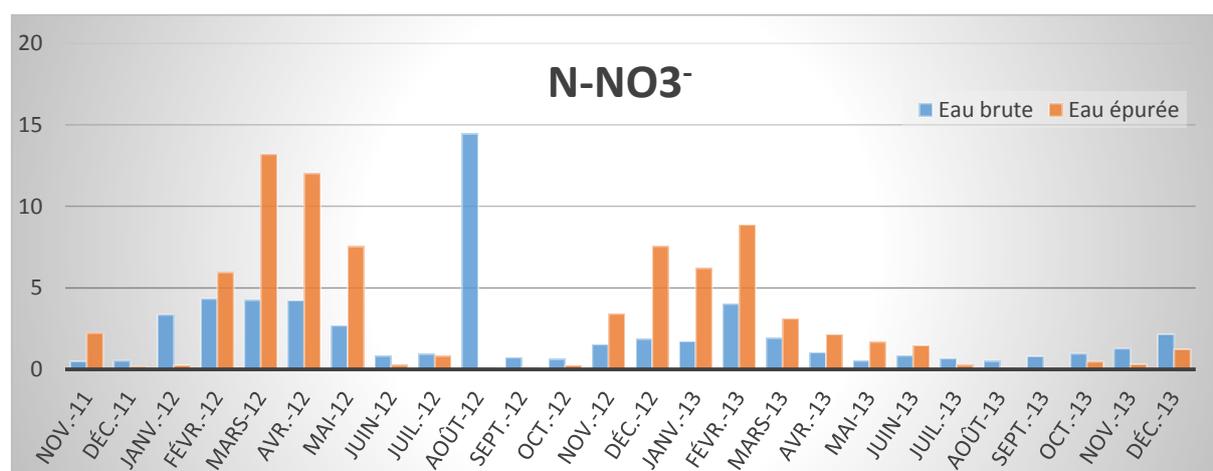


Figure V.11: Evolution de la concentration d'azote nitrique de novembre 2011 à décembre 2013 pour la STEP de Réghaia

La concentration azote nitrique durant la période d'étude varie entre 0,5 et 14,5 mg/l à l'entrée de la STEP et 0,09 et 13,2 mg/l pour l'eau épurée avec une moyenne de 2,2 et 3,07mg/l, pour l'eau brute et l'eau épurée respectivement.

L'observation des données sur la concentration de l'azote nitrique montre une augmentation de la concentration remarquable de l'eau épurée par rapport à la brute ; cette augmentation peut être expliquée par la forte aération dans le BA, la zone anoxie devaient une zone aérobie ce qui empêche le processeur de dénitrification.

On remarque aussi que ce dépassement est constaté durant les périodes pluvieuses.

V.2.6.5 Azote nitreux N-NO₂-

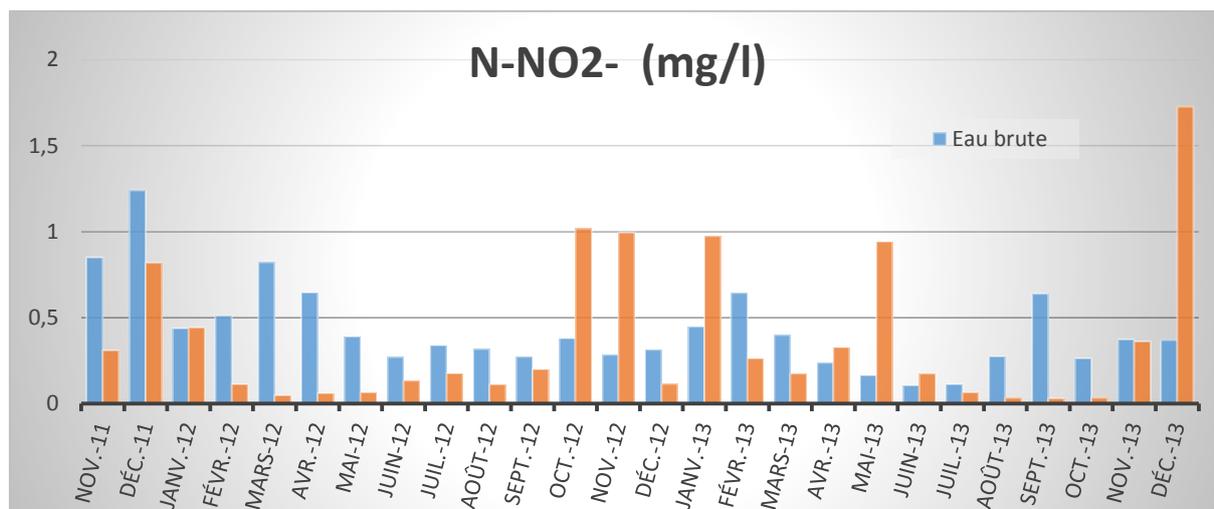


Figure V.12: Evolution de la concentration d'azote nitreux de novembre 2011 à décembre 2013 pour la STEP de Réghaia

La concentration en nitrate de l'eau brute est comprise entre 0.11 et 1,24 mg/l avec une moyenne de 0,43 mg/l. Après l'épuration ces valeurs oscillent entre 0.03 et 1,73 mg/l avec une moyenne de 0,37 mg/l ; on remarque pour les mois oct. nov2012 et janv. mai et déc2013 une augmentation de la concentration de N-NO₂- de l'eau épurée par rapport à l'eau brute.

Cette augmentation est due à un dysfonctionnement au niveau de la nitrification-dénitrification.

V.3 Calcul et interprétation des ratios

Après avoir interpréter les données disponibles de différente paramètre de la station d'épuration de Réghaia dans cette partie on va calculer les ratios pour différente fils afin qu'on puisse détecter les déficiences et leurs cause.

V.3.1 Ratios file eau

V.3.1.1 Indice de biodégradabilité : Rapport DCO/DBO5

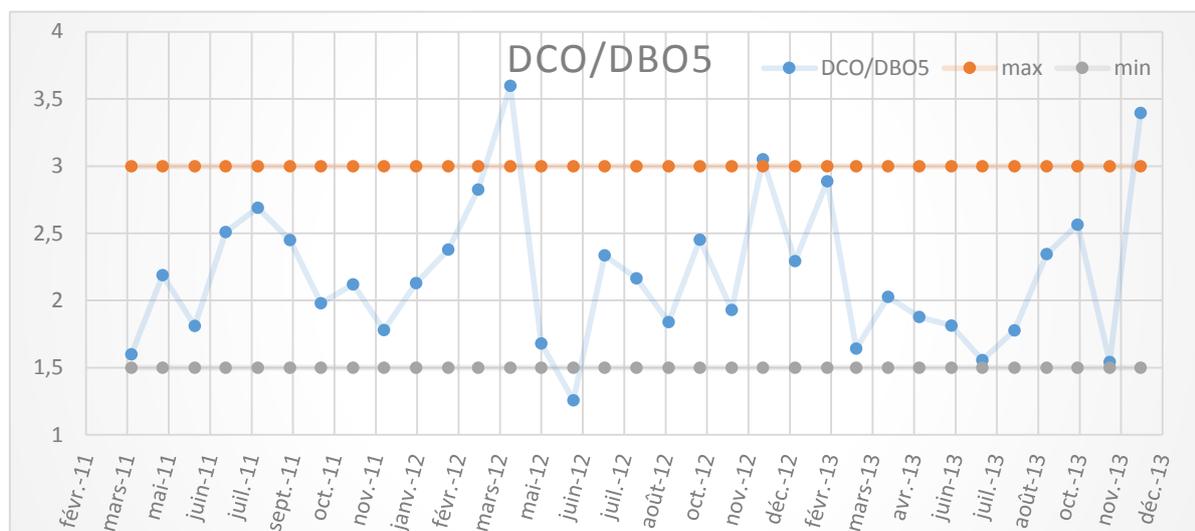


Figure V.13: variation de ratio DCO/DBO5 d'avril 2011 à décembre 2013 pour la STEP de Réghaia

Le rapport DCO/DBO5 qui caractérise la biodégradabilité de des eaux usées est important à l'entrée de la station, le ratio DCO/DBO5 variant de 1,25mg/l à 3,59 mg/l avec une moyenne de 2,2 mg/l, conforme avec celui des eaux usées urbaines à dominance domestique présentant un rapport DCO/DBO5 inférieurs à 3 [60]. On peut donc conclure que même si les eaux usées de ce rejet urbain présentent une charge organique élevée, elles sont facilement biodégradables.

L'examen de ce rapport souligne bien le caractère biodégradable des eaux usées mélangées à des rejets industriels liquides. Le rapport est plus élevé quand la part de matières oxydables non biodégradables est importante.

Un pic de 3,59 de ce ratio est enregistré pendant le mois d'avril 2012. Cela peut être lié à un flux de rejet industriel riche en métaux lourds et en matières minérales difficilement biodégradables.

D'après ces résultats de l'indice de biodégradabilité est inférieur à 2,5, on peut conclure que l'effluent est conforme au traitement biologique.

V.3.1.2 Rapport MES/DBO5

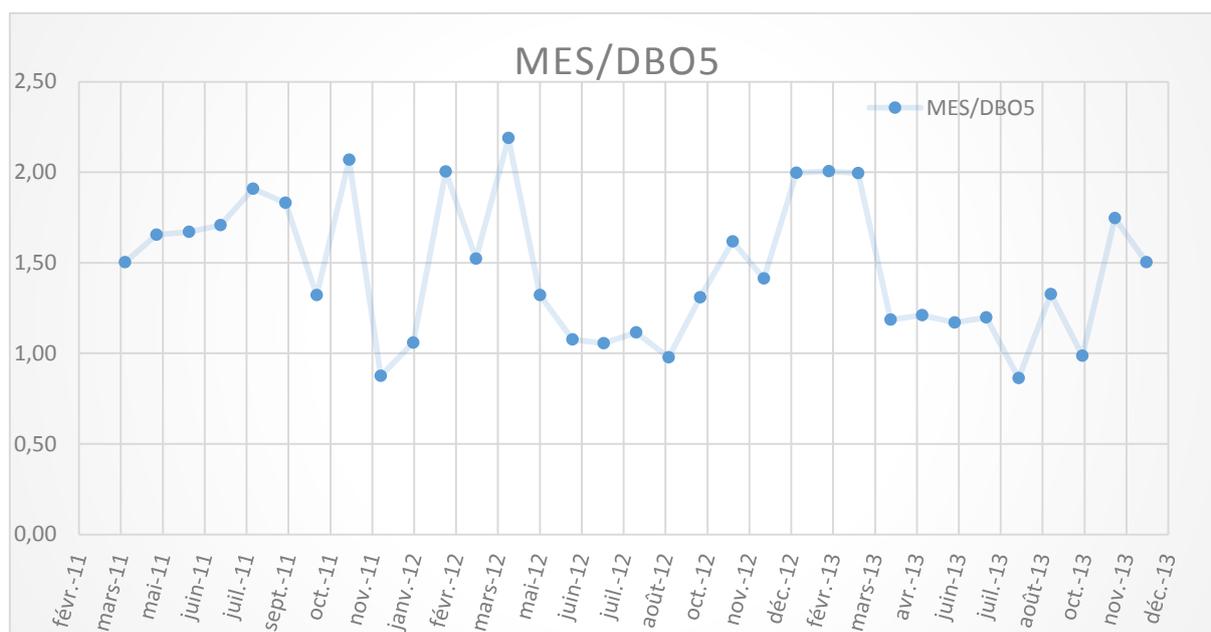


Figure V.14 : variation de ratio MES/DBO5 à l'entrée de la STEP de Réghaia pour la période févr-11 jusqu'à déc-13

Le ratio MES/DBO5 de valeur moyenne 1,5 est proche des valeurs usuelles, bien que présentant une variabilité.

Le graphe montre une variation importante comprise entre 2,19 et 0,86 comme valeur maximum et minimum respectivement,

La STEP de Réghaia est caractérisée par une pollution d'origine particulaire, cette pollution augmente pendant les événements pluvieux pouvant perturber l'efficacité de traitement, mais en dépit de cela, les rendements épuratoires concernant les matières en suspensions sont très élevés, ce qui traduit un prétraitement assez efficace contre ce genre de problème [64].

V.3.1.3 NH₄/NTK

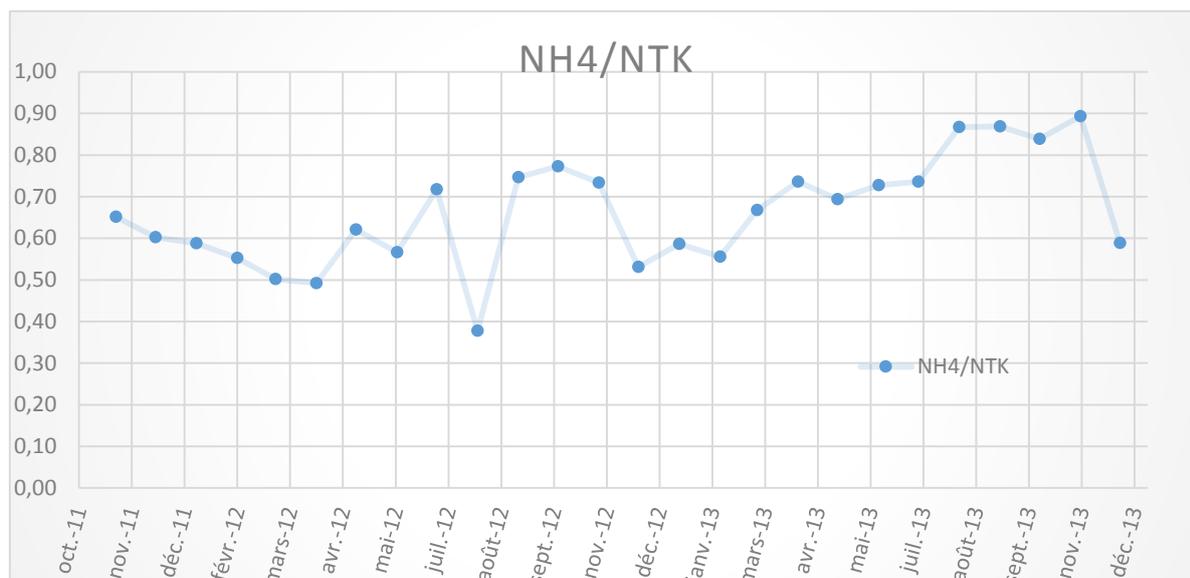


Figure V.15 : Degré d'ammonification de l'effluent NH₄/NTK

L'azote des effluents à traiter arrive dans le réseau principalement sous forme organique. Son transit dans le réseau modifie les proportions en faveur de la forme ammoniacale selon le temps de séjour et la température, ce degré d'ammonification est donné par le ratio NH₄⁺/NTK [65].

Afin de caractériser la pollution azotée apportée par l'effluent, nous déterminons son degré d'ammonification. Celui-ci est donné par le ratio NH₄⁺/NTK. Plus la valeur de ce ratio est élevée, plus l'azote organique a été transformé en azote ammoniacal soluble. Pour un effluent urbain classique, cette valeur est comprise entre 0,6 et 0,8.

La transformation de l'azote organique en NH₄⁺ est un processus automatique

D'après le graphe on remarque que toutes les valeurs du ratio NH₄⁺/NTK présentent une forte variation allons de 0.38 en juil.2012 jusqu'à 0.89 nov.2013 ; ces résultat sont liée à la concentration importante de NH₄⁺ de l'effluent émanant de la zone industrielle.

Les valeurs faibles de ce ratio (inférieur à 0.55) présentent une partie importante de l'azote organique, dépassent la limite de traitement biologique.

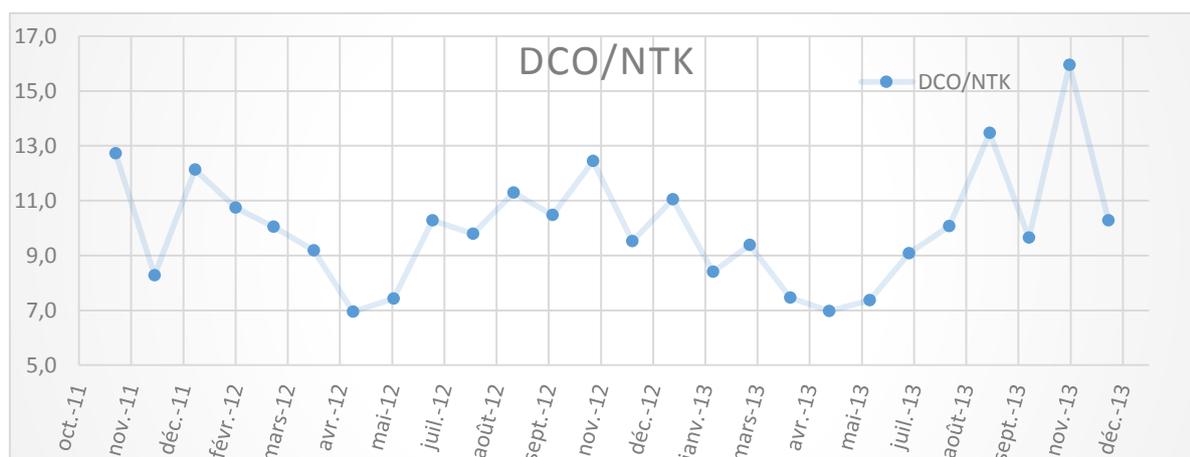
V.3.1.4 Le rapport DCO/NTK


Figure V.16: évolution du rapport DCO/NTK de novembre 2011 à décembre 2013.

Les résultats du ratio DCO/NTK qui représente l'efficacité de la nitrification "plus ce ration est faible plus la vitesse de nitrification est élevée" oscillent entre 7 et 16 avec une moyenne de 10. Rappelons que pour un effluent urbain la valeur du ratio DCO/NTK est d'environ 4 à 5 pour permettre une nitrification dans des bonnes conditions,

On remarque que toutes les valeurs de ce ratio sont supérieures à 7.

Les valeurs les plus faibles sont enregistrées dans les périodes sèches avec une température plus au moins faible 'mai et avr. 2012 et 2013, sachant que la température idéale pour une bonne nitrification est de 30 °C à 36.

La température optimale pour les Nitrosomonas se situe entre 30° et 36°. Pour Nitrobacter elle est de 28°. La température a un effet important sur les vitesses de croissance [66]. Entre 23° et 30° le taux de croissance maximal est multiplié par 4 pour Nitrosomonas. Ce dernier augmente d'environ 6% par degré centigrade pour Nitrobacter.

Le taux de dégradation des matières peut diminuer de moitié pour une diminution de 10°.

L'oxygène est un facteur de la réaction d'oxydation : il peut donc apparaître comme un facteur limitant. Or les constantes de demi-saturation par rapport à l'oxygène dissout vont de 0,25 à 1, 3mg/l pour Nitrosomonas, et de 0,5 à 1mg/l pour Nitrobacter selon la température [67]. Ceci indiquerait qu'il n'est pas nécessaire de maintenir des concentrations élevées en oxygène dissout dans les systèmes nitrifiants : 4mg/l seraient suffisant.

D'après les résultats, les conditions ne sont pas conformes pour une bonne nitrification, et cela justifie les faibles rendements d'abattement d'azote ; Si on n'a pas une bonne nitrification il aura une mauvaise dénitrification car presser d'abattement de l'azote est une chaine :

Nous pouvons déjà conclure sur cette base que l'apport de carbone est théoriquement insuffisant pour assurer une bonne dénitrification de l'effluent.

Malheureusement la température et l'oxygène dissout ne sont pas mesurée sur site, ce qui est un handicap pour avoir une bonne gestion de bassin d'aération et améliorée le rendement d'abattement d'azote car les bactéries nitrifiantes sont très sensibles aux conditions du milieu.

V.3.1.5 DCO/Pt

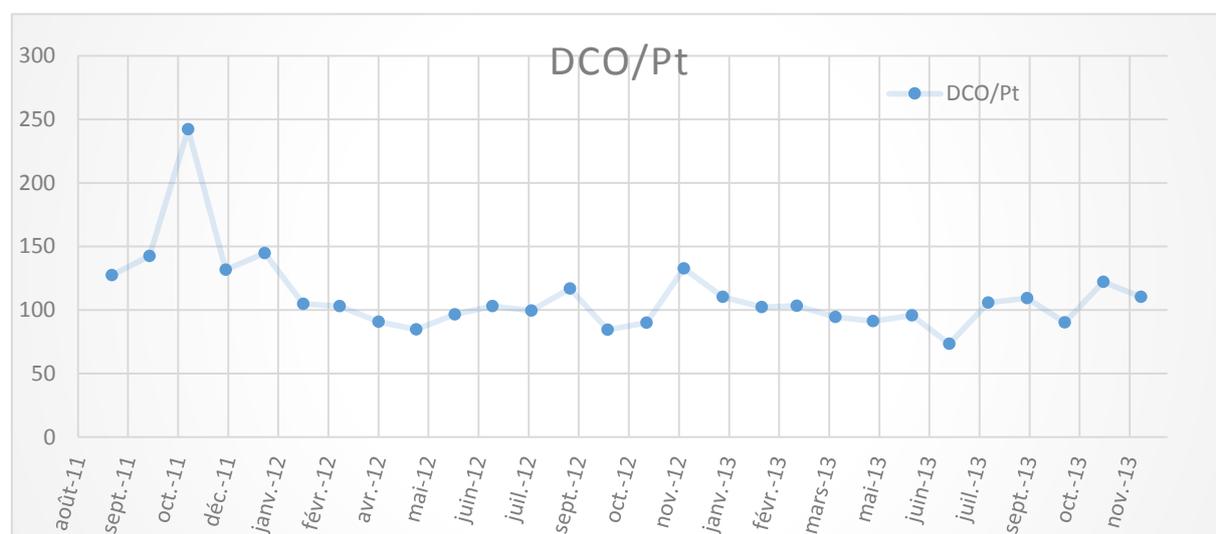


Figure V.17: fluctuation de ratio DCO/Pt pour l'effluent de la STEP de Réghaia

DCO/PT Indiquera la mixité relative de l'effluent ainsi que les possibilités et la faisabilité d'un traitement biologique du phosphore.

D'après le graphe toutes les valeurs de ratio DCO/Pt sont supérieures à 55 ; ce qui indique une bonne aptitude au traitement biologique du phosphore.

On remarque une variation relativement stable de ce ratio sauf au mois nov-2011.Ce ratio atteint 242, valeurs qui peut être justifié la forte charge de la DCO (454 mg/l) et un fort débit de 70849 m³ enregistrée durant ce mois.

Comme déjà vu au début de ce chapitre, les concentrations de phosphore sont relativement faibles, ne dépassant pas la capacité nominale de la STEP, que ce soit pour l'effluent ou pour l'affluent. Durant la période d'étude le rendement d'abattement est de 80,88 %

V.3.1.6 Rapport nutritionnel : Rapport C/N/P : (Ratio DBO5/N-NH4/P-PO4)

En théorie, les bactéries dans les systèmes de traitement par boues activées ont besoin de 5 kg d'azote et de 1 kg de phosphore pour éliminer 100 kg de DBO, quantités qu'on désigne habituellement par un ratio, soit le ratio DBO/N/P de 100/5/1.

| | C/N/P | | |
|----------|-------|-------|------|
| juin-12 | 100 | 11,55 | 0,40 |
| juil.-12 | 100 | 12,23 | 0,38 |
| août-12 | 100 | 6,33 | 0,33 |

Tableau V.4 : Evaluation du ratio C/N/P

Le tableau ci-dessus regroupe les valeurs de l'équilibre nutritionnel ou le besoin métabolique des bactéries ($DBO_5/N - NH_4^+ / P PO_4^{3-}$). Ces valeurs sont plus au moins acceptable pour répondre au besoin du métabolisme bactérien.

Ces valeurs donnant une image idéale sur la spécificité de l'effluent, faible charge en phosphore (sup. à 1) et une forte concentration en Azote (inf. à 5)

L'activité bactérienne dépend de plusieurs paramètres, citons la température, l'oxygène dissout et la nourriture c-à-dire la matière carbonée.

VI.3.2 File boues

VI.3.2.1 Indice de Mohlman (IM)

L'indice de Mohlman exprime la bonne ou la mauvaise disponibilité des boues dans le bassin d'aération (dans le cas idéal le volume des boues représentent 1/3 de volume de bassin d'aération)

Les valeurs de cet indice restent <100 ml/g qui est l'intervalle idéal : les boues sédimentent facilement et sont le plus souvent bien minéralisées (MVS < 65 %) [30].

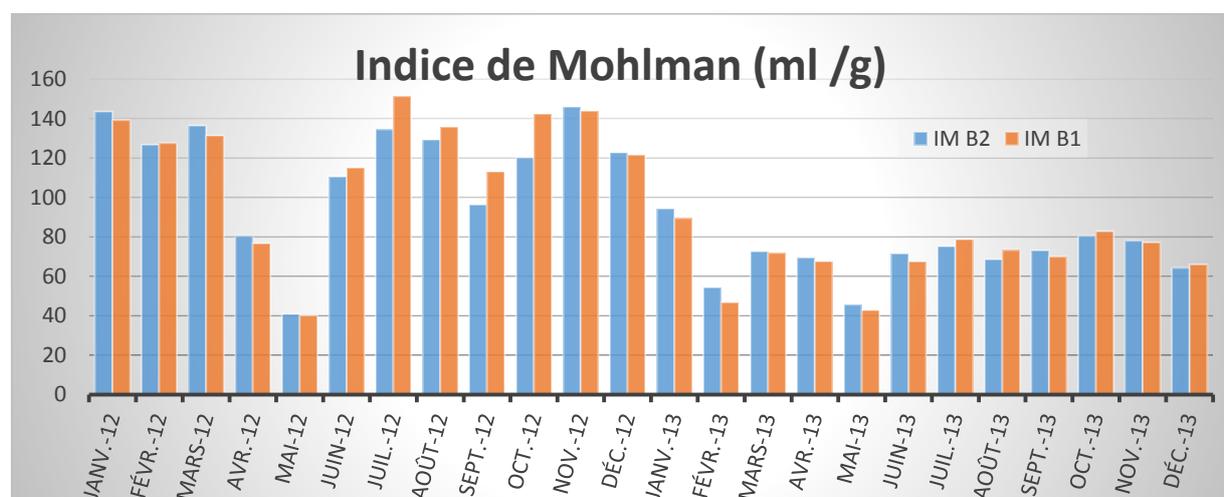


Figure 18 : variation de l'indice de Mohlman de janvier 2012 à décembre 2013 pour la STEP de Réghaia

D'après le graphe on remarque que tous les valeurs sont inférieurs à 150 ml/g ; ce qui reflète une modeste disponibilité des boues dans le bassin d'aération; il y a une bonne décantation lorsque IB est compris entre 50 ml/g et 150 ml/g. ; les boues sédimentent facilement et sont le plus souvent bien minéralisées (MVS < 65 %) [30], dans notre cas la moyenne des MVS dans les deux bassins d'aération est de 51 %. Donc on peut conclure que y a une bonne disponibilité des boues dans les deux bassins d'aération et ils sont bien minéralisée et facilement décantable.

VI.3.2.2 Taux de recirculation des boues

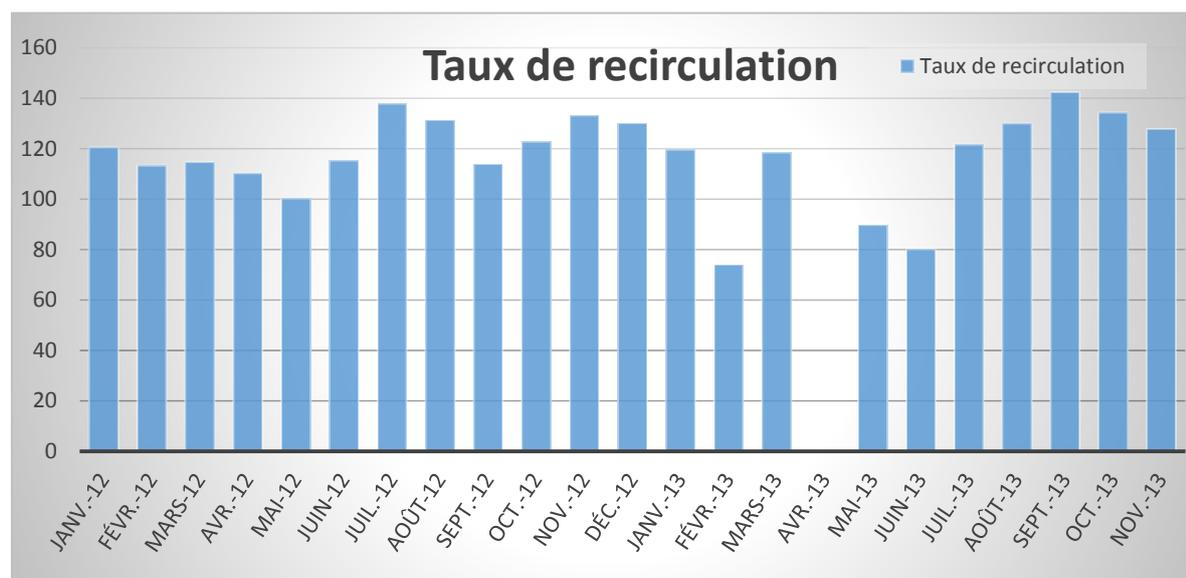


Figure 19: la variation de la recirculation des boues de la STEP de Réghaia pour la période 2012-2013.

La concentration en bactéries est maintenue grâce à la recirculation des boues. Avec une commande par automate, le temps de fonctionnement est calculé pour obtenir un taux de recirculation minimal de 100% du débit mesuré soit à l'entrée, soit à la sortie des ouvrages.

D'après le graphe qui présente la variation de taux de recirculation des boues dans la station d'épuration de Réghaia pour la période javn-12 jusqu'à nov-2013 on remarque que les valeurs oscillons entre 47,11 et 142,38 %.

D'après les résultats on peut conclure qu'y a une forte recirculation des boues dont 18 valeurs dépassent le 100 %.

VI.3.2.3 Quantité de boue réelle (T MS)/ Quantité polymère consommée kg

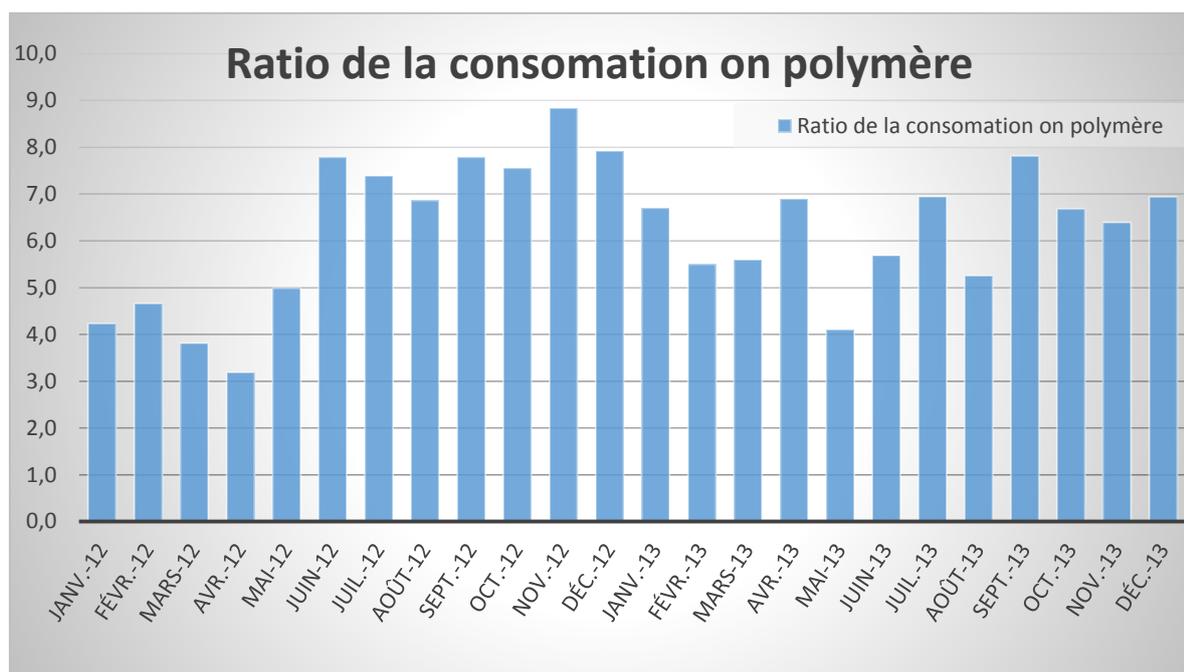


Figure 20 : la fluctuation de ratio de la consommation en polymère pour la station d'épuration de Réghaia (janv-12 à déc-13)

Rappelons que ce rapport indiquera l'efficacité de la décantation physique des boues au niveau du décanteur primaire et plus le rapport est petit moins la décantation est bonne, ce qui est dû à la fermentation des boues ; d'après le graphe ci-dessus que y a une grande variation de ce rapport, allons de 3,2 en Avr-2012 à 8.8 en nov-12, et on remarque aussi que les valeurs les plus élevée sont marquée durant les périodes pluvieuses.

D'après les résultats, on constate une grande variation de ce ratio mais en moyenne y a une bonne décantation des boues dans le bassin d'aération.

VI.3.2.4 La matière organique par rapport à la matière sèche

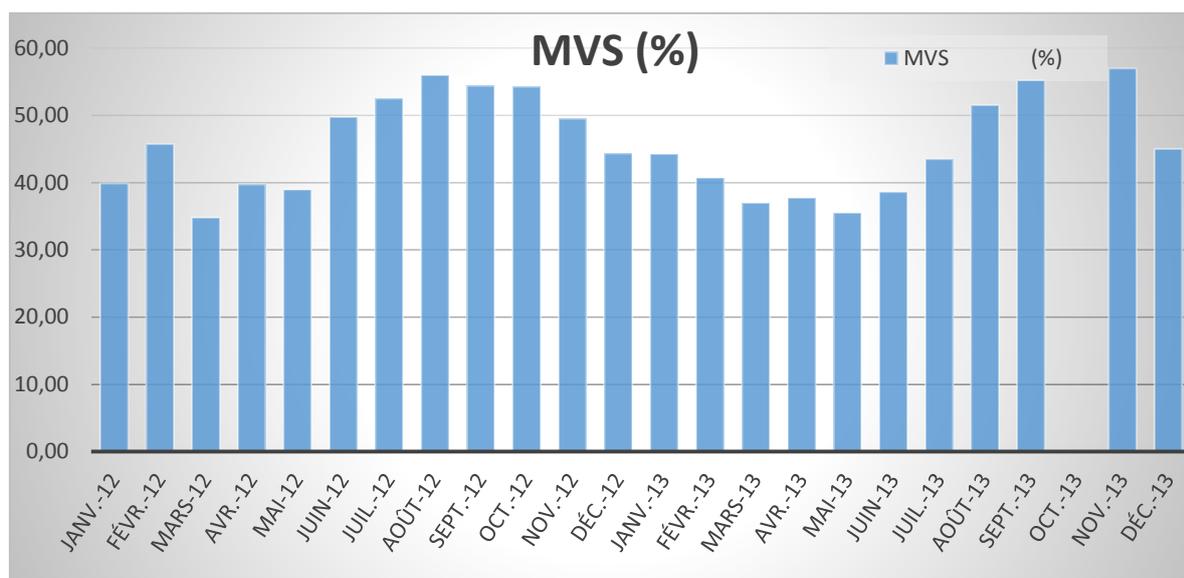


Figure 21: la variation de pourcentage MVS dans les boues par rapport à la matière sèche totale (janv-12 àDéc-13)

Ce paramètre représente la bonne aération au niveau de fond de l'aérateur, les MVS sont important pour la nourriture et une source d'énergie pour les micro-organismes et pour la régénération de ces dernier (la formation de nouvelles cellules), qui peuvent ensuite libérer les éléments nutritifs après minéralisation, qui seront donc disponibles et assimilables par les plantes.

On remarque que de pourcentage de la matière organique dans les boues varrées d'une manière périodique et les valeurs plus élevée sont enregistré durant le période pluvieux, le pic est marquée en novembre 13 avec une valeur de 57%.

On moyenne l'aération au fond de bassin est suffisante pour assurer la régénération des micro-organismes.

VI.3.2.5 La siccité des boues

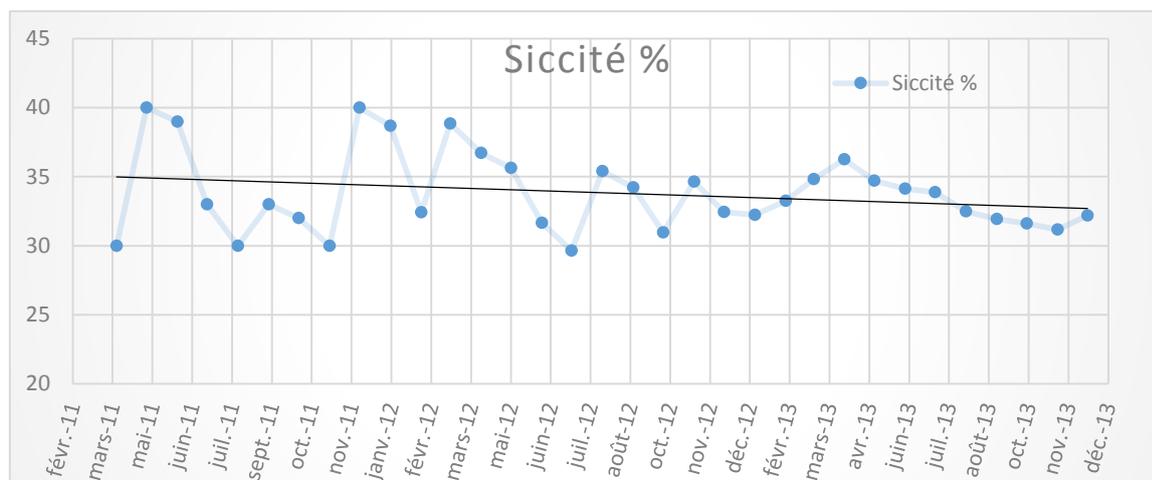


Figure 22 : la fluctuation de la siccité des boues de la STEP de Réghaia (févr.11 – déc.13)

La siccité est le pourcentage massique de matière sèche. Elle est évaluée par la quantité de solides restant après un chauffage à 110°C pendant deux heures.

Le graphe montre une variation plus au moins stable de la siccité oscillant entre 30,29% et 40% d'où une valeur moyenne de 33,84%, ce qui révèle le caractère solide des boues de la STEP de Réghaia.

VI.3.2.6 Consommation des polyméries

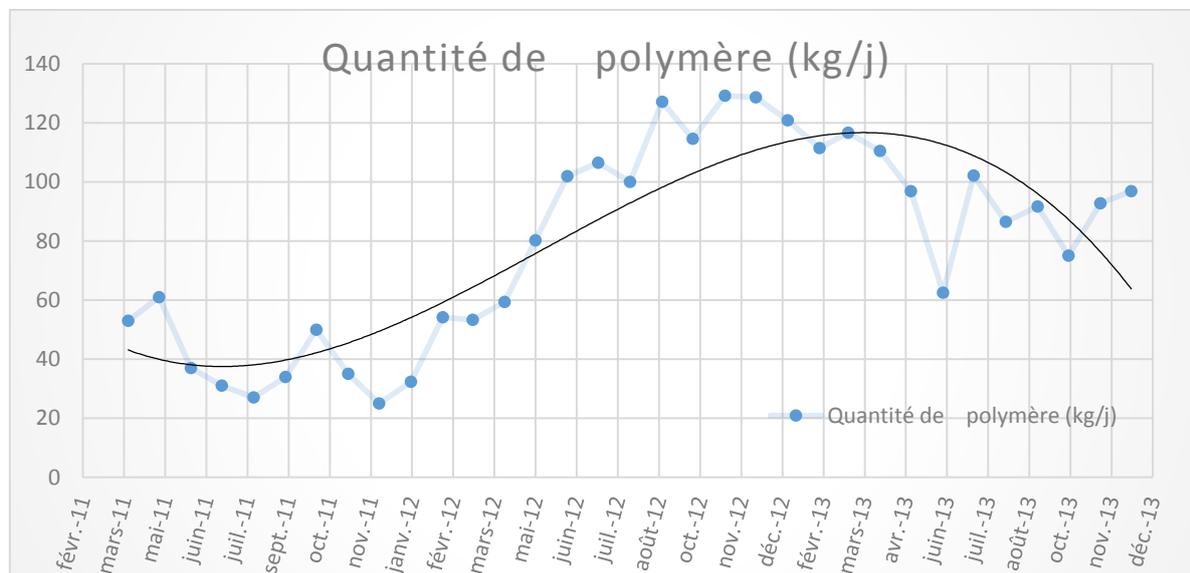


Figure 23: l'évolution de la consommation des polymères pour la STEP de Réghaia de février 2011 à décembre 2013

La consommation en polymère est en moyenne de 78,9 kg/j et d'après le graphe on remarque que la consommation des polymères augmente d'une façon remarquable et atteints ont maximum de 129,16 kg/j en septembre 2012.

V.3.3 File énergie

Le traitement des eaux usées par boues activées est l'un des processeurs les plus coûteux à cause des facteurs suivants :

La forte consommation énergétique est due en grande partie au fonctionnement des pompes, les aérateurs ainsi qu'à la déshydratation des boues,

Pour optimiser le fonctionnement, c'est-à-dire un bon rendement épuratoire avec moindre cout possible, il faut d'abord maitriser de chaque étape de traitement, en suite détecter les postes qui ont une dépense énergétique importante, déterminer les causes de cette forte consommation.

Par suite on opte pour des démarches l'amélioration et on propose un plan d'actions visant d'amélioration de l'efficacité énergétique des stations d'épuration.

V.3.3.1 Energie totale consommée

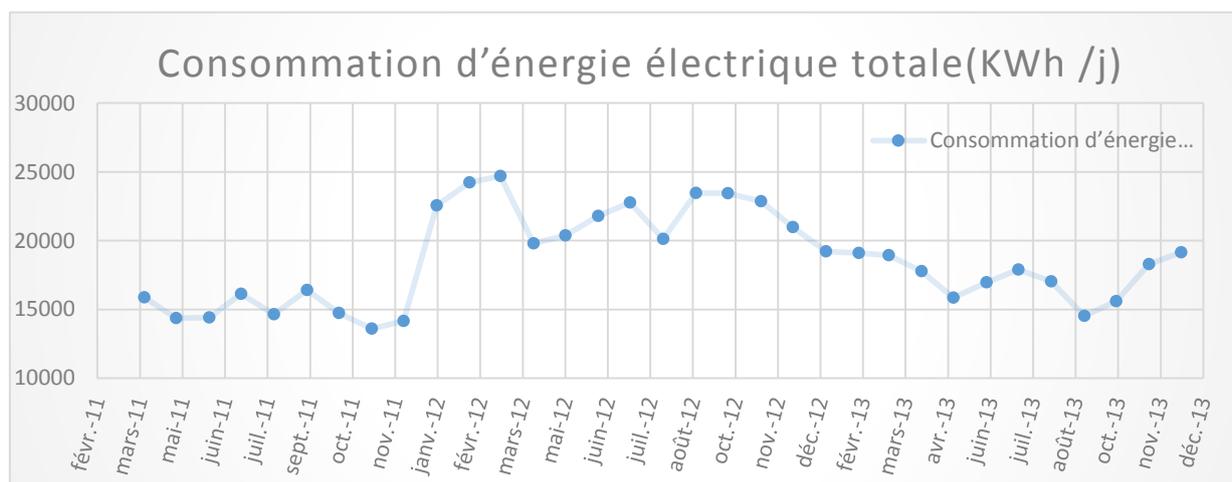


Figure V.24: l'évolution de la consommation énergétique pour la station d'épuration de Réghaia

La consommation de l'énergie électrique au niveau de la STEP de Réghaia durant la période avril 2011 à décembre 2013 accuse une variation importante avec une moyenne journalière de 18537,97KWh.

Par contre des pics concernant cette consommation électrique sont observés pendant les mois de janvier jusqu'à octobre 2012, atteignant des valeurs de l'ordre de 24500 KWh/j pendant le mois de mars 2012.

Cette surconsommation énergétique est le résultat de l'augmentation de la période de marche des aérateurs correspondant à un temps supplémentaire de fonctionnement de 2 heures par jour (Nakib, 2014).

V.3.3.2 Efficacité énergétique hydraulique

C'est le rapport kWh d'énergie consommée / m³ d'eau traitée

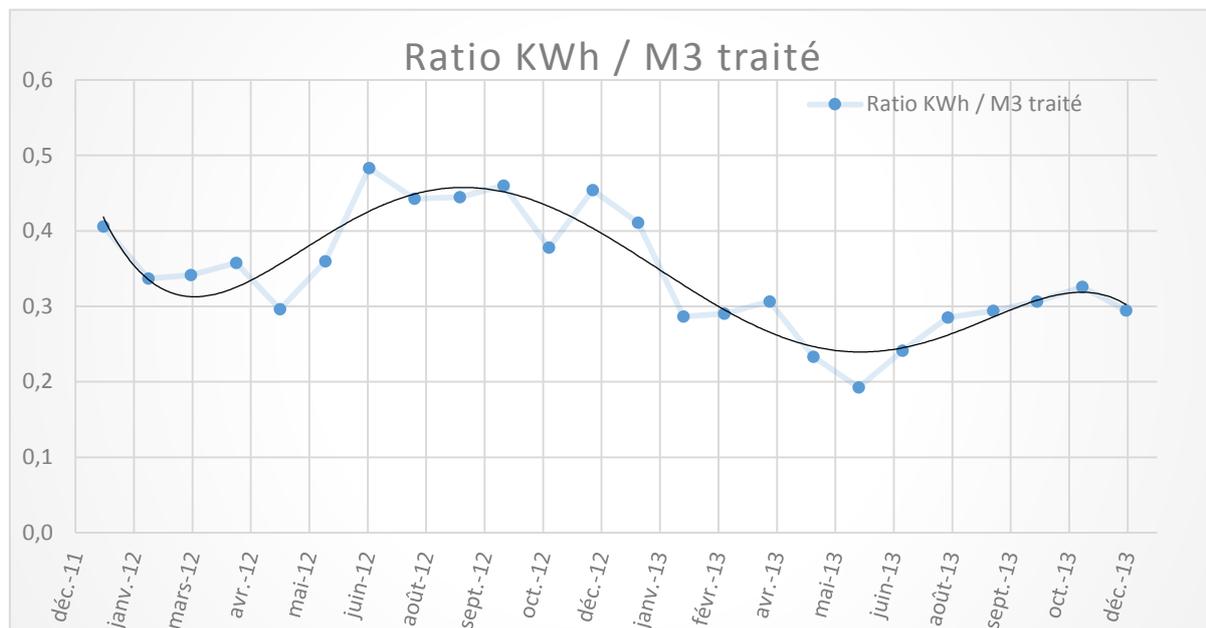


Figure V.25 : évolution de l'efficacité énergétique hydraulique de la STEP de Réghaia (décembre 2011 à Décembre 2013)

La valeur moyenne du ratio kWh total consommés /kg DCO éliminées qui représente l'efficacité énergétique de station d'épuration de Réghaia est inférieur à 0,5 et n'a jamais dépassé les valeurs usuelle qui de l'ordre de 0.5-1.5 kWh / m3 traité.

V.3.3.3 KWh total consommés /kg DCO éliminées

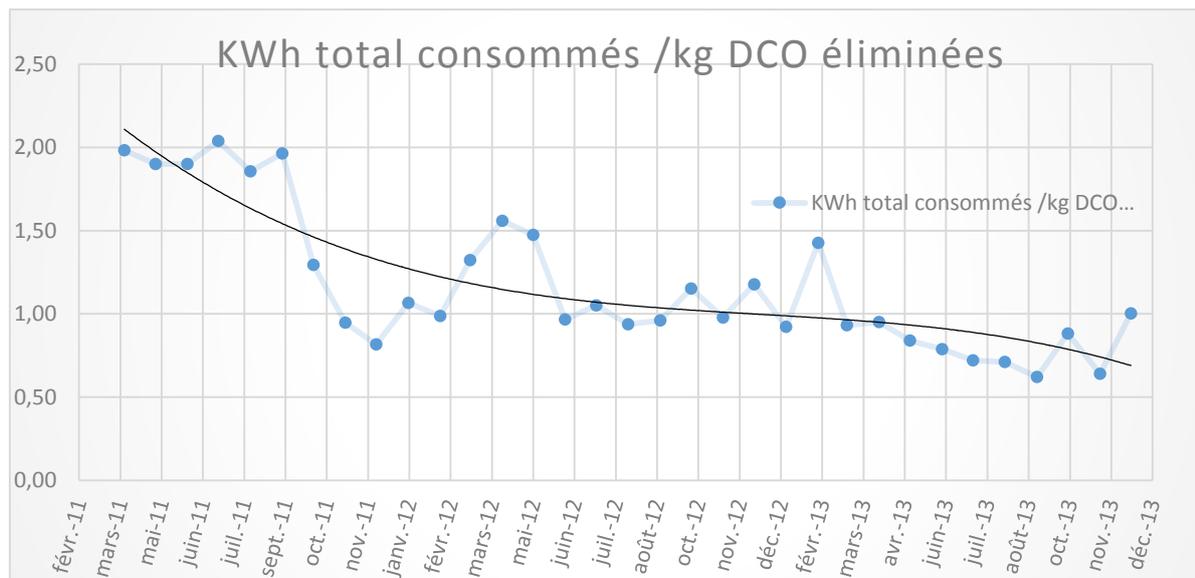


Figure V.26: Evolution du ratio kWh total consommés par la station / kg DCO éliminées pour la STEP de Réghaia (février 2011 à Décembre 2013).

Le ratio (kWh total / DCO éliminée) sont habituellement comprises entre 0.9 et 1.2 (M.NAKIB).

On remarque en générale une diminution de la valeur du ratio kWh_t /kg de DCO éliminée à partir de décembre 2011 et cela démontre la maitrise de l'exploitation des aérateurs .Par contre, au mois de mars, mai et juin 2012 ce ratio augmente à cause du fonctionnement de traitement tertiaire ‘‘ filtre à sable ‘‘ .

V.3.3.4 Efficacité énergétique épuratoire

KWh total consommés /kg DBO5 éliminées

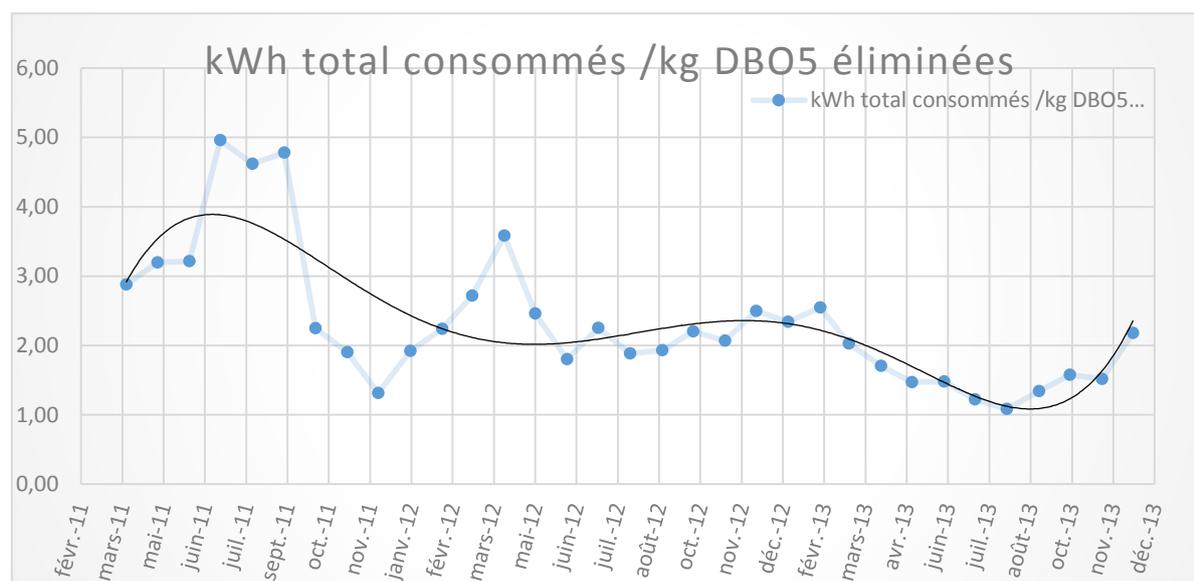


Figure V.27: Evolution du ratio kWh total consommés par la station / DBO5 éliminés éliminées pour la STEP de Réghaia (février 2011 à Décembre 2013).

La moyenne de l'efficacité énergétique est de 1,18 cette valeur est inférieure à 2,5 KWh/kg DBO5 éliminée cette valeur représente une moyenne pour les STEP à boues activées à faible charge, la valeur maximale est enregistrée en juillet 2011 avec une valeur de 4,96.

On remarque une amélioration sur l'optimisation de la consommation énergétique par rapport à la DCO éliminée, confirmée par la diminution continue de ce rapport [68].

V.4 Discussion et recommandation

Les résultats obtenus nous permettent de proposer des solutions pratiques ayant pour but d'améliorer les performances de la station d'épuration de Réghaia et d'optimiser les coûts énergétiques et d'exploitation.

V.4.1 Groupes électrogènes de secours

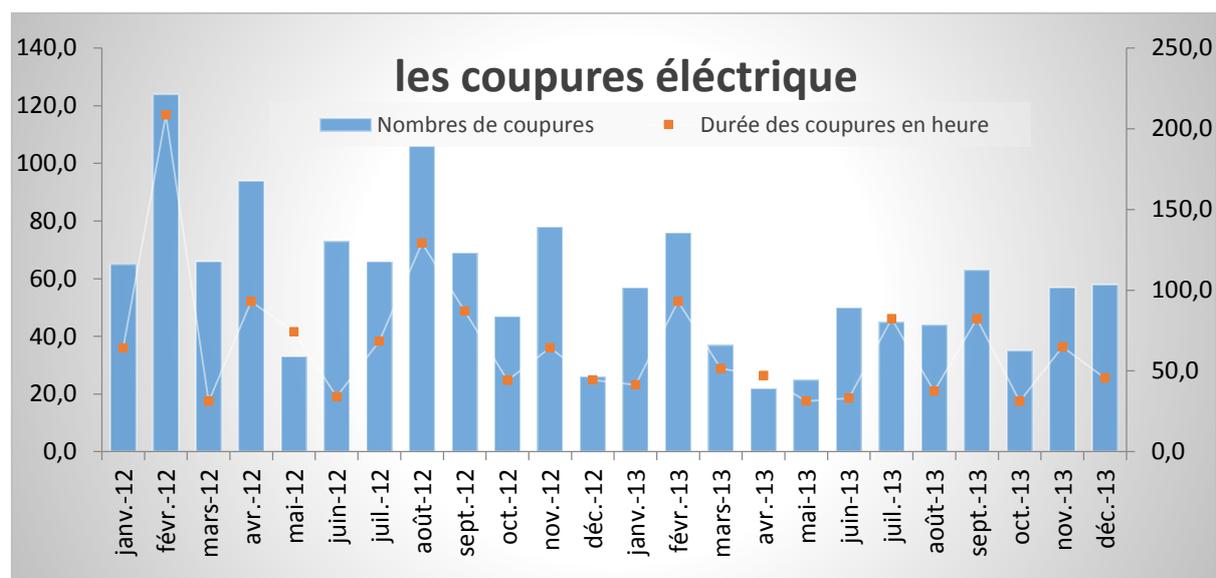


Figure V.28: présentation de nombre de coupures électriques et leurs durées pour la STEP de Réghaia

Les coupures électriques dans la station d'épuration de Réghaia ont des conséquences négatives sur le procédé de traitement et la qualité d'eau épurée.

Citons par exemple :

- L'arrêt des aérateurs empêche la nitrification et si le temps d'arrêt est supérieur à 2 heures les bactéries aérobies meurent ;
- Les machines consomment une énergie plus grande lors du démarrage, ce qui induit une élévation de la consommation ayant un impact direct sur le fonctionnement des machines avec des pannes fréquentes;
- L'arrêt de toute la file de traitement des boues implique une recirculation importante.

Pour cela, on a proposé un groupe électrogène de secours qui assure l'alimentation électrique durant les urgences et surtout lors des coupures d'électricité.

On peut aussi utiliser les groupes électrogènes durant les périodes de pointe pour optimiser le coût énergétique, il est aussi possible de réduire la consommation d'énergie électrique et de réaliser ainsi d'importantes économies de coût d'électricité.

V.4.2 Coûts énergétique

On peut jouer sur le coût énergétique sans la diminution de la consommation par :

Détection des heures de pointe ;

Déterminer les postes qui consomment une part importante de l'énergie totale.

Élaborer une gestion de tel sort que les machines des postes les plus énergivores ne fonctionnent pas durant les périodes de pointe.

V.4.3 Coûts de ressources

On peut réduire les coûts de ressources, même quand il n'y a aucune réduction de l'utilisation d'une ressource en particulier par exemple :

- Combiner ou séparer les factures de services publics relatives aux stations et aux postes de pompage de façon à réduire les coûts d'électricité et de gaz.

On peut par exemple obtenir des tarifs d'énergie plus bas en combinant les coûts d'énergie de la station avec ceux des postes de pompage de zones.

- Arranger les achats de produits chimiques avec ceux effectués par d'autres stations ou industries, de manière à augmenter le volume des envois et réduire les coûts unitaires.

V.4.4 Le problème de l'Azote

On a vu dans le chapitre précédant que le dépassement des nitrates à la sortie et du à la forte charge de l'effluent à l'entrée de station.

Pour faire face à ce problème qui a un impact nocif sur le milieu récepteur, il faut :

Soit réaliser une extension de la station "coût élevé" ; soit en ajoutant une matière riche en carbone comme les déchets des industries de boisson gazeuse "augmente le ratio DCO/NGL"

V.5 Conclusion

D'après l'étude on remarque que le fonctionnement de la station d'épuration de Réghaia a marqué une amélioration remarquable, confirmée par les rendements d'abattement de la pollution et la diminution de la consommation électrique, à l'exception du problème liée au dépassement de l'azote à la sortie de la STEP ;

La mise en place des recommandations que nous avons proposées permettra d'aboutir au perfectionnement des indices de performances au niveau de la station d'épuration de Réghaia.

Conclusion Générale

Dans cette étude, nous avons effectué un diagnostic du fonctionnement de la station d'épuration de Réghaia afin de déceler d'éventuels dysfonctionnements et améliorer son rendement, en commençant par le suivi des différents paramètres de pollution.

Par suite nous avons calculé et interprété des ratios concernant les files : eau et énergie.

Cette étude nous a permis d'aboutir aux conclusions suivantes :

✓ Les paramètres physico-chimiques

On a constaté des dépassements pour l'effluent de la conductivité électrique et le pH ayant pour origine les rejets de la zone industrielle.

Les rendements épuratoires sont globalement satisfaisants et répondent aux objectifs de la STEP en termes de rejets, à l'exception de l'abattement de la pollution azotée qui pose souvent problème.

✓ Les ratios

File eau

DCO/DBO5 : ce rapport souligne bien le caractère biodégradable des eaux usées de la STEP de Réghaia (effluent mixte).

MES/DBO5 : La STEP de Réghaia est caractérisée par une pollution d'origine particulaire, cette pollution augmente pendant les événements pluvieux pouvant perturber l'efficacité de traitement,

NH₄⁺/NTK : Le degré d'ammonification présente une partie importante de l'azote organique, dépassent la limite de traitement biologique.

DCO/NTK : Il représente l'efficacité de la nitrification, d'après les résultats ce ratio indique que la nitrification s'effectue dans des mauvaises conditions.

DCO/PT : Il indiquera une bonne aptitude au traitement biologique du phosphore.

DBO5/N –NH₄⁺/P PO₄-3 : Les résultats de ce ratio sont plus au moins acceptables pour répondre au besoin du métabolisme bactérien.

File boues

Tous les résultats de l'indice de Mohlman sont des valeurs inférieures à 150 ml/g ; ce qui reflète une modeste disponibilité des boues dans le bassin d'aération;

Il y a une forte recirculation des boues (la plupart des résultats sont supérieurs à 100%) ;

Conclusion Générale

Le ratio quantité de boue réelle (T MS)/ Quantité polymère consommée kg représente une décantation des boues relativement bonne sauf durant les périodes pluviales ;

La siccité des boues révèle le caractère solide des boues de la STEP de Réghaia. Et on a constaté une forte consommation des polymères et cela pour répondre ou exigence de qualiter des boues

File énergie

Le ratio KWh d'énergie consommée / m³ d'eau i représente une bonne efficacité énergétique de station d'épuration de Réghaia

Le ratio KWh total consommés /kg DCO éliminées démontre la maîtrise de l'exploitation des aérateurs.

Le ratio KWh total consommés /kg DBO5 éliminées : les résultats obtenus ne dépassent pas la moyenne pour les STEP à boues activées à faible charge, et exprime une bonne efficacité énergétique de traitement.

Dans cette étude, nous avons remarqué que la gestion de la station d'épuration de Réghaia a marqué un progrès remarquable.

- [1] Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie (France), Forum mondial de l'eau, 20 janvier 2012.
- [2] http://fr.wikipedia.org/wiki/Pollution_de_l'eau.
- [3] FNDAE n°25/Traitement de l'azote dans les stations d'épuration biologique des petites COLLECTIVITES.
- [4] Moletta,R : *L'eau, sa pollution, et son traitement*.
- [5] *Réalisation et Equipement de la Chaine de Traitement Biologique de la Station d'Épuration des Eaux usées de REGHAIA : Etude de traficabilité : Rapport final – Tome II(2005)*
- [6] Deronzier,G Choubert,J,M: FNDAE n° 29 : Document technique Comparaisons techniques et économiques des voies de traitement biologique et physico-chimique.
- [7] *Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface : cadre général Fiche 2 Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement*.
- [8] Foussard,V et Etcheber,H (2011) “ proposition d'une stratégie de surveillance des paramètres physico-chimiques pour les estuaires de la seine, de la loire et de la gironde ” (
- [9] *Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface : cadre général, Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement ; Observatoire des Données de l'Environnement 2005*.
- [10] APHA, AWWA, WEF (1998) *Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association et Water Environment Federation, 20e édition, pagination multiple*.
- [11] US EPA (1999) *Guidance manual for compliance with the interim enhanced surface water treatment rule : turbidity provisions*.United States Environmental Protection Agency (EPA 815-R-99-010), pagination multiple.
- [12] Santé Canada (1995) *La turbidité. Document de support aux recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada. Accessible à : http://www.hcsc.gc.ca/ehp/dhm/catalogue/dpc_pubs/rqepdoc_appui/rqep.htm*

Référence bibliographique

[13] GUERREE, H & GOMELLA, C (1978) ‘Les eaux usées dans les agglomérations urbaines et rurales’, tome 2 ; le traitement, EYROLLES,

[14] *Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface : cadre général Fiche 2 Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement.*

[15] *Bilan d'épuration des eaux usées en Valais, Année 2005.*

[16] BELAHMADI.M, .S. O, (2004) « étude de la biodégradation du 2.4- dichlorophénol par le micro-biote des effluents d'entrée et de sortie de la station d'épuration des eaux usées d'Ibn Ziad », *Mémoire de Magister en Microbiologie appliquée et biotechnologie microbienne, université Mentouri.*

[17] Hamdani A., *Caractérisation et essais de traitement des effluents d'une industrie laitière : aspects microbiologiques et physico- chimiques. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences d'El Jadida, Maroc, 2002*

[18] Piütz P., (2012) ‘RAPPORT D'APPLICATION ANALYSE DE LABORATOIRE & ANALYSE EN CONTINU ELEMENTS NUTRITIFS COMPOSES AZOTES, HACH LANGE MAROC SARLAU,

[19] GAID A., ‘*Traitement biologique des eaux usées urbaines, Tome II, OPU, 1984, P 42.*

[20] Kouakou E., (2007) ‘*Etude de la nitrification partielle d'eaux ammoniacales*’, ulg, fsa, p 75.

[22] GAID A., (1993) « *Traitement des eaux usées urbaines* », *Technique de l'ingénieur. Mise à jour du texte de J. SIBONY et B. BIGOT.*

[23] L'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse publiait le “ *Guide technique n° 7 – Pollution toxique et écotoxicologie : Notions de base* ” 2002

[24] BOUHOUM K., AMAHMID O., HABBARI K., et SCHWARTZBROD J., (1997). *Devenir des œufs d'helminthes et des kystes de protozoaires dans un canal à ciel ouvert alimenté par les eaux usées de Marrakech = Fate of helmintheggs and protozoancysts in an open channelreceivingrawwastewater from Marrakech. Revue des sciences de l'eau.*

[25] (Lamghari et Assobhei, 2005).

[26] Degremont, 1989.

[27] SPÉRANDIO M., HERAN M., et GILLOT S., «Modélisation dynamique des procédés biologiques de traitement des eaux», Edition techniques-ingénieur Référence W6500, 2007.

[28]ADEME, 1996 ; Werther et Ogada, 1999 ; CEE, 2001.

[29]QUEINNEC I., « Contribution à la commande de procédés biotechnologiques : application au traitement biologique de la pollution», HDR, LAAS, 2000.

[30] fanda n° 33| Dysfonctionnements biologiques des stations d'épuration : origines et solutions.

[31]Projet de fin d'étude, Etude des possibilités d'utilisation des eaux et boues d'épuration dans l'agriculture : Cas de la station d'épuration de BENI MESSOUS, 2008-2009, p14.

[32]Thévenot D., Cereve Université Paris XII-Val de Marne, ENPC, ENGREF (UMR-MA 102).

[33] DEGREMONT. (2005) 'Mémento Technique de l'eau'. Tomes 1 et 2, Dixième édition, 17-18p.

[34] DUCHENE P. PUJOL R., (1994) "Dysfonctionnement biologiques dans les stations d'épuration en boues activées". Actes du colloque POLLUTEC 94, CEMAGREF, p5-18.

[35] SADOWSKI A. G., (1993) "Principales causes de dysfonctionnement des stations de traitement des eaux usées", CIRSEE-Lyonnaise Des Eaux.

[36] L'assainissement des agglomérations : techniques d'épuration actuelle et évolution, p30, document réalisé par les agences de l'eau et le ministère de l'environnement, la France, avril 1994.

[37] FRAGKOULIS D., (2008) "Détection et localisation des défauts provenant des actionneurs et des capteurs : application sur un système non linéaire", Thèse de doctorat, à l'Université Toulouse III - Paul Sabatier.

[38] HENZE M., LESLIE GRADY C., P GUJER W., MARIS G.V.R and MATSUO T., (1987) "Activated Sludge Process Model No. 1", Scientific and Technical Report 1, IAWQ, London, UK.

[39] Cors M., (2007) "Techniques extensives d'épuration des eaux usées domestiques".

[40]Conseil général de Seine-et-Marne Direction de l'eau et de l'environnement 'Observatoire de l'eau- Suivi des systèmes d'assainissement collectif Fiche technique 6 2011'

[41] *GUIDE PROCÉDÉS EXTENSIFS D'ÉPURATION DES EAUX USÉES ; Mise en œuvre de la directive du Conseil n° 91/271 du 21 mai 1991 relative au traitement des eaux urbaines résiduaires*

[42] *Satin M., Belmi S., 'Agence de l'eau Seine-Normandie, Guides des procédés épuratoires intensifs proposés aux petites collectivités', Nanterre.*

[43] *Agence de l'Eau Seine-Normandie (1999), 'Guides des procédés épuratoires intensifs proposés aux petites collectivités, Nanterre'.*

[44] *BEN ABDELMOUMENE M., AHED MESSAOUD L., (2011) 'Contribution à la valorisation de boues de station d'épuration par l'appréciation d'une nouvelle méthodologie de l'essai au bleu méthylène par, Université des sciences et de la technologie d'Oran - Licence*

[45] *FNDAE n° 22 | Filières d'épuration adaptées aux petites collectivités*

[46] *Radoux M., Cadelli D., Nemcova M., Ennabili A., Ezzahri J., Ater M. (2000), Optimisation of natural wastewater treatment technologies in the MHEA (experimental centre in M'Diq, Mediterranean coast of Morocco. 7th International Conference on Wetlands Systems for Water Pollution Control, Florida, USA.*

[47] *Cooper P., Griffin P. (1999), 'A review of the design and performance of vertical-flow and hybrid reed bed treatment system'; Wat. Sci.Tech. 40, 1-9.*

[48] *Strecker, E.W., Kersnar J.M., Driscoll, E.D., Horner R.R. (1992), The use of wetlands for controlling stormwater pollution, EPA/600 Washington D.C, The Terrene Institute.*

[49] *Rodier J., (1996) 'L'analyse de l'eau naturelle, eau résiduaires, eau de mer », 8ème Edition, Dunod. Paris, 13-83p*

[50] *ONEP. Approche de la typologie des eaux usées urbaines au Maroc. ONEP et GTZ. Rabat (1998).*

[51] *Guide procédés extensifs d'épuration des eaux usées, mise en œuvre de la directive du conseil n° 91/271 du 21 mai 1991 relative au traitement des eaux urbaines et résiduaires, commission européenne.*

[52] *Rodier J, LEGUBE B, Merlet N., (2009) 'L'analyse de l'eau', 9° édition, Dunod.*

[53] *Michael W, 'Rapport d'application : Analyse de l'laboratoire et analyse en continu, traitement des eaux usées : éléments nutritifs.*

[54] Sadowski AG, (2002) *Méthodes de calcul d'une filière de traitement « boue activée très faible charge-nitrification et dénitrification- traitement du phosphore, SHU-ENGEES.*

[55] Gaëlle, Deronzier, Choubert JM (1998) 'Traitement du phosphore dans les petites stations d'épuration à boues activées'.

[56] Duc C, (2009) *Mémoire de fin d'études, Mastère spécialisé en Eau potable et Assainissement, Ecole National du Génie de l'Eau et de L'Environnement de Strasbourg, 1, quai Koch, 67000 Strasbourg, Septembre.*

[57] *Fonctionnement des Stations d'Épuration Urbaines du Bas-Rhin - Bilan 2012*

[58] *Méthode du débit nocturne corrigé (Renault, 1983)*

[59] *association des produits forestiers du Canada 2008*

[60] *Journal officiel de la République Algérienne : Normes de rejets dans le milieu récepteur, 46, (1996), 7-12*

[61] *Couture, I. : analyse d'eau pour fin d'irrigation : MAPAQ MONTEREGIEEST*

[62] Ranchet J.M., Philippe J.P (1982) 'Pollution véhiculée par les eaux de ruissellement en réseau unitaire'. *Le bassin de Mantes Bulletin de liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées 119, 25 – 37.*

[63] kafi-Benyahia M., Gasperi J., Gromaire M.- C., Moilleron R., Chebbo G (2006) 'Contribution de différentes sources aux flux de polluants véhiculés par temps de pluie dans le réseau parisien'. *TSM, N° 11, p 107-121.*

[64] *Thèse STEP, Mise en place d'indicateurs de suivi et d'optimisation de la station d'épuration de Réghaia 2012*

[65] *Christophe DUC : Suivi et optimisation du fonctionnement de la station de traitement des eaux usées de la Communauté de Communes des Trois Frontières : Septembre 2009*

[66] Knowles, G., Downing, A.L., and Barrett, M.J. (1965). *Determination of Kinetic Constants for Nitrifying Bacteria in Mixed Culture with the Aid of an Electronic Computer. Journal of General Microbiology.*

[67] Héduit A., Tabuchi J.P., (2012), 'Vers une plus grande autonomie énergétique des stations d'épuration ?'

Annexe I

Bilans mensuels des analyses

I. Charge hydraulique :

| mois | Débit (m ³ /j) | Débit /capacité nominale (%) | mois | Débit (m ³ /j) | Débit /capacité nominale (%) |
|----------|------------------------------|---------------------------------|----------|------------------------------|---------------------------------|
| avr.-11 | 54040,00 | 67,55 | sept.-12 | 52739,77 | 65,92 |
| mai-11 | 58392,00 | 72,99 | oct.-12 | 50993,97 | 63,74 |
| juin-11 | 47262,00 | 59,08 | nov.-12 | 60464,23 | 75,58 |
| juil.-11 | 39078,00 | 48,85 | déc.-12 | 46237,10 | 57,80 |
| août-11 | 40892,00 | 51,12 | janv.-13 | 46775,58 | 58,47 |
| sept.-11 | 33270,00 | 41,59 | févr.-13 | 66677,77 | 83,35 |
| oct.-11 | 39976,00 | 49,97 | mars-13 | 65247,54 | 81,56 |
| nov.-11 | 70894,00 | 88,62 | avr.-13 | 58075,45 | 72,59 |
| déc.-11 | 48530,00 | 60,66 | mai-13 | 68026,30 | 85,03 |
| janv.-12 | 55544,65 | 69,43 | juin-13 | 88126,52 | 110,16 |
| févr.-12 | 71928,73 | 89,91 | juil.-13 | 74198,27 | 92,75 |
| mars-12 | 72295,14 | 90,37 | août-13 | 59728,16 | 74,66 |
| avr.-12 | 55360,97 | 69,20 | sept.-13 | 49414,84 | 61,77 |
| mai-12 | 68856,17 | 86,07 | oct.-13 | 50879,87 | 63,60 |
| juin-12 | 60560,81 | 75,70 | nov.-13 | 56153,74 | 70,19 |
| juil.-12 | 47130,53 | 58,91 | déc.-13 | 65077,17 | 81,35 |
| août-12 | 45451,26 | 56,81 | | | |

Annexe I

II. Paramètres physico-chimique

Le Ph

| mois | pH | | Conductivité ($\mu\text{S/cm}$) | | mois | pH | | Conductivité ($\mu\text{S/cm}$) | |
|----------|-----------|------------|--------------------------------------|------------|----------|-----------|------------|--------------------------------------|------------|
| | Eau brute | Eau épurée | Eau brute | Eau épurée | | Eau brute | Eau épurée | Eau brute | Eau épurée |
| avr.-11 | 7,27 | 7,2 | 2281 | 2097 | sept.-12 | 7,46 | 7,64 | 1582,65 | 1522,94 |
| mai-11 | 7,16 | 7,13 | 2260 | 2124 | oct.-12 | 7,54 | 7,56 | 1602,83 | 1570,06 |
| juin-11 | 7,3 | 7,18 | 2326 | 2134 | nov.-12 | 7,49 | 7,57 | 1527,53 | 1462,24 |
| juil.-11 | 7,18 | 7 | 2289 | 2118 | déc.-12 | 7,33 | 7,71 | 1893,68 | 1541,74 |
| août-11 | 7,7 | 8 | 2307 | 2170 | janv-13 | 7,40 | 7,39 | 1611,25 | 1485,81 |
| sept.-11 | 7,19 | 7 | 2291 | 2207 | févr.-13 | 7,58 | 7,42 | 1568,62 | 1471,77 |
| oct.-11 | 7,67 | 7,54 | 2138 | 1956 | mars-13 | 7,33 | 7,27 | 1808,92 | 1678,27 |
| nov.-11 | 7,69 | 7,55 | 1898 | 1685 | avr.-13 | 7,34 | 7,36 | 1905,57 | 1680,07 |
| déc.-11 | 7,66 | 7,46 | 1763 | 1585 | mai-13 | 7,30 | 7,39 | 1666,62 | 1632,62 |
| janv.-12 | 7,39 | 7,47 | 1435 | 1364 | juin-13 | 7,22 | 7,45 | 1681,50 | 1703,21 |
| févr.-12 | 7,67 | 7,44 | 1325,63 | 1147,50 | juil.-13 | 7,34 | 7,74 | 1648,60 | 1658,20 |
| mars-12 | 7,66 | 7,45 | 1548,22 | 1387,33 | août-13 | 7,60 | 7,71 | 1693,80 | 1670,56 |
| avr.-12 | 7,85 | 7,56 | 1421,83 | 1285,61 | sept.-13 | 7,52 | 7,67 | 1529,71 | 1587,47 |
| mai-12 | 7,78 | 7,56 | 1493,58 | 1432,84 | oct.-13 | 7,59 | 7,70 | 1546,83 | 1647,17 |
| juin-12 | 7,51 | 7,64 | 1612,95 | 1562,21 | nov.-13 | 7,49 | 7,66 | 1456,00 | 1597,15 |
| juil.-12 | 7,55 | 7,50 | 1596,00 | 1601,12 | déc.-13 | 7,32 | 7,42 | 1610,50 | 1479,00 |
| août-12 | 8,32 | 7,59 | 1575,28 | 1502,76 | | | | | |

Annexe I

Matière en suspension (MES) :

| | MES (mg/l) | | MES (kg/j) | | MES (kg/j) | Charge/Capacité nominale (%) | R (%) global |
|-----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------------------------|--------------|
| | Eau brute | Eau épurée | Eau brute | Eau épurée | | | |
| avr.-11 | 338 | 33 | 8820 | 858 | 7962 | 44,19 | 91 |
| mai-11 | 292 | 20 | 8037 | 571 | 7466 | 40,27 | 92 |
| juin-11 | 385 | 23 | 7847 | 461 | 7386 | 39,31 | 94 |
| juil.-11 | 320 | 18 | 6051 | 343 | 5708 | 30,32 | 94 |
| août-11 | 327 | 23 | 6668 | 462 | 6206 | 33,41 | 93 |
| sept.-11 | 384 | 18 | 6679 | 321 | 6358 | 33,46 | 95 |
| oct.-11 | 438 | 15 | 9064 | 301 | 8763 | 45,41 | 96 |
| nov.-11 | 442 | 42 | 15748 | 1417 | 14331 | 78,9 | 91 |
| déc.-11 | 201,00 | 19,00 | 9787 | 936 | 8851 | 49,03 | 89 |
| janv.-12 | 249,97 | 7,92 | 12667 | 508 | 12159 | 63,46 | 95 |
| févr.-12 | 303,64 | 18,06 | 22165 | 1318 | 20847 | 111,05 | 93 |
| mars-12 | 196,90 | 17,39 | 14235,16 | 1257,131 | 12978,03 | 71,32 | 91,17 |
| avr.-12 | 226,97 | 15,67 | 12565,40 | 867,563 | 11697,83 | 62,95 | 93,10 |
| mai-12 | 163,60 | 9,16 | 11264,62 | 630,635 | 10633,99 | 56,44 | 94,40 |
| juin-12 | 224,47 | 9,85 | 13594,38 | 596,623 | 12997,76 | 68,11 | 95,61 |
| juil.-12 | 236,46 | 20,37 | 11144,60 | 959,900 | 10184,70 | 55,83 | 91,39 |
| août-12 | 270,47 | 7,39 | 12293,39 | 335,689 | 11957,70 | 61,59 | 97,27 |
| sept.-12 | 234,45 | 8,11 | 12364,74 | 427,925 | 11936,82 | 61,95 | 96,54 |
| oct.-12 | 284,37 | 7,68 | 14501,39 | 391,478 | 14109,91 | 72,65 | 97,30 |
| nov.-12 | 313,13 | 19,84 | 18933,08 | 1199,537 | 17733,54 | 94,86 | 93,66 |
| déc.-12 | 264,71 | 7,49 | 12239,57 | 346,195 | 11893,37 | 61,32 | 97,17 |
| janv.-13 | 361,10 | 11,84 | 16890,46 | 553,657 | 16336,81 | 84,62 | 96,72 |
| févr.-13 | 236,79 | 16,47 | 15788,49 | 1098,379 | 14690,12 | 79,10 | 93,04 |
| mars-13 | 294,97 | 9,06 | 19246,06 | 591,359 | 18654,70 | 96,42 | 96,93 |
| avr.-13 | 225,97 | 17,66 | 13123,38 | 1025,376 | 12098,00 | 65,75 | 92,19 |
| mai-13 | 200,67 | 14,39 | 13650,57 | 978,995 | 12671,57 | 68,39 | 92,83 |
| juin-13 | 158,72 | 11,33 | 13987,56 | 998,408 | 12989,16 | 70,08 | 92,86 |
| juil.-13 | 257,34 | 36,71 | 19093,95 | 2723,567 | 16370,38 | 95,66 | 85,74 |
| août-13 | 242,28 | 15,48 | 14470,77 | 924,867 | 13545,90 | 72,50 | 93,61 |
| sept.-13 | 315,79 | 21,00 | 15604,88 | 1037,580 | 14567,30 | 78,18 | 93,35 |
| oct.-13 | 200,82 | 9,83 | 10217,91 | 499,937 | 9717,97 | 51,19 | 95,11 |
| nov.-13 | 394,86 | 8,54 | 22172,96 | 479,530 | 21693,43 | 111,09 | 97,84 |
| déc.-13 | 209,33 | 8,26 | 13622,75 | 537,498 | 13085,26 | 68,25 | 96,05 |

Annexe I

Demande biologique en oxygène :

| | DBO ₅ (mg/l) | | DBO ₅ (kg/j) | | DBO ₅ éliminée (kg/j) | Charge/Capacité nominale (%) | Rendement (%) |
|----------|-------------------------|------------|-------------------------|------------|-------------------------------------|---------------------------------|------------------|
| | Eau brute | Eau épurée | Eau brute | Eau épurée | | | |
| avr.-11 | 223,00 | 14,00 | 5867,00 | 354,00 | 5513,00 | 37,13 | 93,97 |
| mai-11 | 177,00 | 13,00 | 4858,00 | 363,00 | 363,00 | 30,75 | 7,47 |
| juin-11 | 230,00 | 10,00 | 4694,00 | 213,00 | 4481,00 | 29,71 | 95,46 |
| juil.-11 | 188,00 | 15,00 | 3543,00 | 289,00 | 3254,00 | 22,42 | 91,84 |
| août-11 | 171,00 | 16,00 | 3492,00 | 324,00 | 3268,00 | 22,10 | 93,59 |
| sept.-11 | 210,00 | 13,00 | 3648,00 | 218,00 | 3430,00 | 23,09 | 94,02 |
| oct.-11 | 316,00 | 14,00 | 6855,00 | 300,00 | 6555,00 | 43,39 | 95,62 |
| nov.-11 | 214,00 | 15,00 | 7613,00 | 467,00 | 7146,00 | 48,18 | 93,87 |
| déc.-11 | 229,00 | 8,00 | 11167,00 | 390,00 | 10777,00 | 70,68 | 96,51 |
| janv.-12 | 221,53 | 3,77 | 11963,00 | 218,00 | 11745,00 | 75,72 | 98,18 |
| févr.-12 | 151,51 | 3,10 | 11060,00 | 226,00 | 10834,00 | 70,00 | 97,96 |
| mars-12 | 129,36 | 3,65 | 9352,24 | 264,22 | 9088,03 | 59,19 | 97,17 |
| avr.-12 | 103,67 | 3,86 | 5739,46 | 213,53 | 5525,93 | 36,33 | 96,28 |
| mai-12 | 123,80 | 3,51 | 8524,29 | 241,55 | 8282,74 | 53,95 | 97,17 |
| juin-12 | 208,56 | 8,70 | 12630,66 | 526,65 | 12104,02 | 79,94 | 95,83 |
| juil.-12 | 223,99 | 9,35 | 10556,61 | 440,69 | 10115,92 | 66,81 | 95,83 |
| août-12 | 242,38 | 7,29 | 11016,56 | 331,41 | 10685,15 | 69,73 | 96,99 |
| sept.-12 | 239,83 | 9,15 | 12648,67 | 482,73 | 12165,94 | 80,05 | 96,18 |
| oct.-12 | 217,24 | 8,44 | 11077,91 | 430,56 | 10647,35 | 70,11 | 96,11 |
| nov.-12 | 193,56 | 10,95 | 11703,34 | 662,02 | 11041,32 | 74,07 | 94,34 |
| déc.-12 | 187,24 | 5,45 | 8657,64 | 251,96 | 8405,68 | 54,80 | 97,09 |
| janv.-13 | 180,85 | 5,13 | 8459,30 | 239,90 | 8219,40 | 53,54 | 97,16 |
| févr.-13 | 118,05 | 5,66 | 7871,04 | 377,36 | 7493,69 | 49,82 | 95,21 |
| mars-13 | 147,77 | 4,71 | 9641,92 | 307,31 | 9334,61 | 61,02 | 96,81 |
| avr.-13 | 190,52 | 10,87 | 11064,78 | 631,26 | 10433,52 | 70,03 | 94,29 |
| mai-13 | 165,74 | 7,45 | 11274,89 | 507,00 | 10767,89 | 71,36 | 95,50 |
| juin-13 | 135,74 | 5,72 | 11962,44 | 504,47 | 11457,98 | 75,71 | 95,78 |
| juil.-13 | 214,78 | 17,43 | 15936,14 | 1293,59 | 14642,56 | 100,86 | 91,88 |
| août-13 | 280,75 | 17,75 | 16768,61 | 1059,92 | 15708,69 | 106,13 | 93,68 |
| sept.-13 | 237,98 | 18,67 | 11759,71 | 922,81 | 10836,90 | 74,43 | 92,15 |
| oct.-13 | 203,53 | 9,14 | 10355,69 | 465,07 | 9890,62 | 65,54 | 95,51 |
| nov.-13 | 226,09 | 10,89 | 12695,88 | 611,71 | 12084,17 | 80,35 | 95,18 |
| déc.-13 | 139,22 | 4,09 | 9059,90 | 266,35 | 8793,56 | 57,34 | 97,06 |

Annexe I

La demande chimique en oxygène :

| | DCO (mg/l) | | DCO (kg/j) | | Charge/Capacité nominale (%) | Rendement (%) |
|----------|------------|------------|------------|------------|------------------------------|---------------|
| | Eau brute | Eau épurée | Eau brute | Eau épurée | | |
| avr.-11 | 357 | 48 | 9191 | 1184 | 32,19 | 86 |
| mai-11 | 387 | 45 | 1117 | 1293 | 3,91 | 87 |
| juin-11 | 417 | 55 | 8739 | 1154 | 30,61 | 86 |
| juil.-11 | 472 | 60 | 9064 | 1153 | 31,75 | 87 |
| août-11 | 460 | 68 | 9249 | 1367 | 32,4 | 83 |
| sept.-11 | 514 | 57 | 9386 | 1035 | 32,88 | 88 |
| oct.-11 | 625 | 52 | 12419 | 1031 | 43,5 | 91 |
| nov.-11 | 454 | 91 | 17586 | 3226 | 61,6 | 84 |
| déc.-11 | 408 | 52 | 19842 | 2517 | 69,5 | 87 |
| janv.-12 | 429,13 | 30,14 | 23063 | 1898 | 80,78 | 91 |
| févr.-12 | 359,29 | 28,12 | 26437 | 1892 | 92,6 | 91 |
| mars-12 | 285,65 | 27,45 | 20651,12 | 1984,79 | 72,31 | 90,39 |
| avr-12 | 258,59 | 29,16 | 14315,72 | 1614,35 | 50,13 | 88,72 |
| mai-12 | 230,47 | 29,70 | 15869,27 | 2045,07 | 55,56 | 87,11 |
| juin-12 | 407,27 | 34,67 | 24664,62 | 2099,82 | 86,36 | 91,49 |
| juil.-12 | 506,22 | 46,48 | 23858,53 | 2190,51 | 83,54 | 90,82 |
| août-12 | 512,10 | 40,33 | 23275,80 | 1833,19 | 81,50 | 92,12 |
| sept.-12 | 515,00 | 52,24 | 27160,74 | 2755,15 | 95,10 | 89,86 |
| oct.-12 | 443,04 | 43,69 | 22592,45 | 2227,85 | 79,11 | 90,14 |
| nov.-12 | 436,78 | 49,92 | 26409,81 | 3018,56 | 92,47 | 88,57 |
| déc.-12 | 419,73 | 34,03 | 19407,23 | 1573,52 | 67,95 | 91,89 |
| janv.-13 | 485,94 | 39,89 | 22730,03 | 1865,85 | 79,59 | 91,79 |
| févr.-13 | 237,52 | 36,74 | 15837,61 | 2449,84 | 55,45 | 84,53 |
| mars-13 | 343,90 | 32,20 | 22438,48 | 2100,98 | 78,57 | 90,64 |
| avr.-13 | 364,52 | 42,74 | 21169,92 | 2481,87 | 74,12 | 88,28 |
| mai-13 | 318,74 | 41,33 | 21682,98 | 2811,82 | 75,92 | 87,03 |
| juin-13 | 281,71 | 37,04 | 24826,11 | 3264,20 | 86,93 | 86,85 |
| juil.-13 | 401,58 | 67,23 | 29796,76 | 4988,51 | 104,33 | 83,26 |
| août-13 | 461,86 | 60,78 | 27586,23 | 3630,42 | 96,59 | 86,84 |
| sept.-13 | 537,48 | 63,44 | 26559,57 | 3134,78 | 93,00 | 88,20 |
| oct.-13 | 384,78 | 37,72 | 19577,31 | 1918,97 | 68,55 | 90,20 |
| nov.-13 | 547,75 | 38,53 | 30758,15 | 2163,51 | 107,70 | 92,97 |
| déc.-13 | 321,17 | 27,69 | 20900,65 | 1801,82 | 73,18 | 91,38 |

Annexe I

Les paramètres dissoutes

Azote global :

| | NGL (mg/l) | | NGL (kg/j) | | Charge/Capacité nominale (%) | Rendement (%) |
|----------|------------|------------|------------|------------|------------------------------|---------------|
| | Eau brute | Eau épurée | Eau brute | Eau épurée | | |
| août-11 | 36 | 27 | 742 | 552 | 37,86 | 25,61 |
| sept.-11 | 35 | 26 | 582 | 438,12 | 29,71 | 24,72 |
| oct.-11 | 92 | 36 | 1839 | 719,57 | 93,82 | 60,87 |
| nov.-11 | 37 | 29 | 727 | 562 | 37,09 | 22,70 |
| déc.-11 | 51 | 34 | 2887 | 1907 | 147,3 | 33,95 |
| janv.-12 | 37,53 | 24,06 | 2406 | 1518 | 122,76 | 36,91 |
| févr.-12 | 40,73 | 17,72 | 2802 | 1279 | 142,96 | 54,35 |
| mars-12 | 35,58 | 16,96 | 2234 | 1048 | 113,99 | 53,09 |
| avr.-12 | 33,26 | 16,92 | 1841,14 | 936,50 | 93,94 | 49,13 |
| mai-12 | 30,79 | 15,77 | 2119,75 | 1085,79 | 108,15 | 48,78 |
| juin-12 | 45,46 | 21,77 | 2753,26 | 1318,56 | 140,47 | 52,11 |
| juil.-12 | 57,46 | 23,90 | 2708,06 | 1126,46 | 138,17 | 58,40 |
| août-12 | 54,70 | 27,36 | 2486,18 | 1243,71 | 126,85 | 49,98 |
| sept.-12 | 46,70 | 25,17 | 2463,07 | 1327,51 | 125,67 | 46,10 |
| oct.-12 | 42,66 | 21,24 | 2175,45 | 1082,97 | 110,99 | 50,22 |
| nov.-12 | 46,84 | 15,55 | 2832,06 | 940,31 | 144,49 | 66,80 |
| déc.-12 | 39,59 | 12,64 | 1830,60 | 584,26 | 93,40 | 68,08 |
| janv.-13 | 51,12 | 21,06 | 2391,33 | 985,30 | 122,01 | 58,80 |
| févr.-13 | 28,09 | 17,16 | 1873,01 | 1144,03 | 95,56 | 38,92 |
| mars-13 | 36,73 | 11,53 | 2396,66 | 752,10 | 122,28 | 68,62 |
| avr.-13 | 45,51 | 13,17 | 2643,08 | 764,58 | 134,85 | 71,07 |
| mai-13 | 55,37 | 16,95 | 3766,66 | 1152,73 | 192,18 | 69,40 |
| juin-13 | 35,84 | 17,15 | 3158,12 | 1511,59 | 161,13 | 52,14 |
| juil.-13 | 43,06 | 27,59 | 3195,28 | 2047,43 | 163,02 | 35,92 |
| août-13 | 43,93 | 30,86 | 2623,62 | 1842,93 | 133,86 | 29,76 |
| sept.-13 | 47,77 | 31,81 | 2360,33 | 1571,78 | 120,43 | 33,41 |
| oct.-13 | 42,99 | 32,67 | 2187,25 | 1662,06 | 111,59 | 24,01 |
| nov.-13 | 42,24 | 28,78 | 2371,76 | 1616,13 | 121,01 | 31,86 |
| déc.-13 | 30,66 | 12,98 | 1995,26 | 844,93 | 101,80 | 57,65 |

Annexe I

Azote Kjeldahl:

| | NTK (mg/l) | | NTK (kg/j) | | Rendement (%) |
|----------|------------|------------|------------|------------|---------------|
| | Eau brute | Eau épurée | Eau brute | Eau épurée | |
| nov.-11 | 35,65 | 15,38 | 2527,37 | 1090,35 | 56,86 |
| déc.-11 | 49,22 | 9,13 | 2388,65 | 443,08 | 81,45 |
| janv.-12 | 40,91 | 23,74 | 2272,09 | 1318,87 | 41,95 |
| févr.-12 | 29,06 | 6,00 | 2090,49 | 431,72 | 79,35 |
| mars-12 | 26,83 | 3,32 | 1939,66 | 239,88 | 87,63 |
| avr.-12 | 28,14 | 6,18 | 1558,09 | 341,91 | 78,06 |
| mai-12 | 33,14 | 12,34 | 2282,23 | 849,65 | 62,77 |
| juin-12 | 54,88 | 20,81 | 3323,40 | 1259,99 | 62,09 |
| juil.-12 | 49,23 | 24,92 | 2320,24 | 1174,61 | 49,38 |
| août-12 | 52,31 | 26,23 | 2377,64 | 1192,17 | 49,86 |
| sept.-12 | 45,58 | 21,99 | 2404,13 | 1159,72 | 51,76 |
| oct.-12 | 42,28 | 19,71 | 2155,89 | 1004,85 | 53,39 |
| nov.-12 | 35,09 | 8,30 | 2121,52 | 501,57 | 76,36 |
| déc.-12 | 44,08 | 8,86 | 2037,92 | 409,89 | 79,89 |
| janv.-13 | 43,99 | 12,20 | 2057,74 | 570,74 | 72,26 |
| févr.-13 | 28,25 | 7,71 | 1883,60 | 514,27 | 72,70 |
| mars-13 | 36,64 | 9,13 | 2390,73 | 595,91 | 75,07 |
| avr.-13 | 48,86 | 11,41 | 2837,68 | 662,87 | 76,64 |
| mai-13 | 45,69 | 14,42 | 3108,33 | 981,26 | 68,43 |
| juin-13 | 38,25 | 20,28 | 3371,01 | 1787,05 | 46,99 |
| juil.-13 | 44,25 | 29,57 | 3283,03 | 2193,69 | 33,18 |
| août-13 | 45,89 | 31,51 | 2740,88 | 1882,06 | 31,33 |
| sept.-13 | 39,91 | 31,50 | 1972,05 | 1556,39 | 21,08 |
| oct.-13 | 39,87 | 30,36 | 2028,48 | 1544,51 | 23,86 |
| nov.-13 | 34,32 | 20,26 | 1927,47 | 1137,48 | 40,99 |
| déc.-13 | 31,24 | 9,77 | 2032,79 | 635,54 | 68,74 |

Annexe I

Ammonium-Nitrates-Nitrites :

| | N-NH ₄ ⁺ (mg/l) | | N-NO ₃ ⁻ (mg/l) | | N-NO ₂ ⁻ (mg/l) | |
|----------|---------------------------------------|------------|---------------------------------------|------------|---------------------------------------|------------|
| | Eau brute | Eau épurée | Eau brute | Eau épurée | Eau brute | Eau épurée |
| nov.-11 | 18 | 10,83 | 0,5 | 2,23 | 0,85 | 0,31 |
| déc.-11 | 23 | 23,4 | 0,54 | 0,15 | 1,24 | 0,82 |
| janv.-12 | 18,64 | 20,11 | 3,35 | 0,26 | 0,44 | 0,44 |
| févr.-12 | 12,45 | 6,23 | 4,32 | 5,95 | 0,51 | 0,11 |
| mars-12 | 10,45 | 0,25 | 4,25 | 13,20 | 0,82 | 0,05 |
| avr.-12 | 10,74 | 0,21 | 4,24 | 12,02 | 0,65 | 0,06 |
| mai-12 | 15,96 | 4,39 | 2,69 | 7,55 | 0,39 | 0,06 |
| juin-12 | 24,09 | 19,53 | 0,82 | 0,27 | 0,27 | 0,13 |
| juil.-12 | 27,40 | 19,42 | 0,93 | 0,82 | 0,34 | 0,18 |
| août-12 | 15,33 | 19,00 | 14,45 | 0,10 | 0,32 | 0,11 |
| sept.-12 | 26,40 | 19,88 | 0,72 | 0,13 | 0,27 | 0,20 |
| oct.-12 | 25,33 | 17,85 | 0,63 | 0,26 | 0,38 | 1,02 |
| nov.-12 | 19,95 | 6,79 | 1,52 | 3,41 | 0,28 | 1,00 |
| déc.-12 | 18,14 | 0,57 | 1,86 | 7,56 | 0,31 | 0,12 |
| janv.-13 | 19,99 | 7,03 | 1,72 | 6,21 | 0,45 | 0,98 |
| févr.-13 | 12,17 | 2,06 | 4,01 | 8,87 | 0,64 | 0,26 |
| mars-13 | 18,96 | 4,42 | 1,92 | 3,12 | 0,40 | 0,17 |
| avr.-13 | 27,89 | 7,19 | 1,05 | 2,15 | 0,24 | 0,33 |
| mai-13 | 24,57 | 12,00 | 0,54 | 1,69 | 0,17 | 0,94 |
| juin-13 | 21,57 | 11,15 | 0,84 | 1,47 | 0,11 | 0,17 |
| juil.-13 | 25,24 | 23,12 | 0,66 | 0,27 | 0,11 | 0,07 |
| août-13 | 30,86 | 27,68 | 0,50 | 0,09 | 0,28 | 0,03 |
| sept.-13 | 26,88 | 22,86 | 0,81 | 0,10 | 0,64 | 0,03 |
| oct.-13 | 25,92 | 30,04 | 0,96 | 0,48 | 0,26 | 0,03 |
| nov.-13 | 23,77 | 25,33 | 1,28 | 0,31 | 0,37 | 0,36 |
| déc.-13 | 14,26 | 5,95 | 2,15 | 1,23 | 0,37 | 1,73 |

Annexe I

Phosphore total :

| | Pt (mg/l) | | Pt (kg/j) | | Charge/Capacité nominale (%) | Rendement (%) |
|----------|-----------|------------|-----------|------------|------------------------------|---------------|
| | Eau brute | Eau épurée | Eau brute | Eau épurée | | |
| Aout-11 | 3,61 | 1,00 | 74,00 | 20,00 | 13,70 | 73,00 |
| sept-11 | 2,91 | 0,9 | 196,00 | 30,00 | 36,30 | 70,00 |
| oct-11 | 2,58 | 0,38 | 103,00 | 36,00 | 19,07 | 65,05 |
| nov-11 | 3,45 | 0,65 | 93,00 | 22,00 | 17,22 | 76,34 |
| déc-11 | 2,82 | 0,83 | 135,00 | 40,00 | 25,00 | 70,37 |
| janv-12 | 4,45 | 0,91 | 257,00 | 87,00 | 47,59 | 66,15 |
| févr-12 | 6,03 | 2,43 | 435,00 | 175,00 | 80,56 | 59,77 |
| mars-12 | 2,77 | 0,37 | 200,41 | 26,99 | 37,11 | 86,53 |
| avr.-12 | 2,85 | 0,89 | 157,88 | 49,55 | 29,24 | 68,62 |
| mai-12 | 2,72 | 0,20 | 187,62 | 14,01 | 34,74 | 92,53 |
| juin-12 | 4,22 | 0,42 | 255,53 | 25,39 | 47,32 | 90,06 |
| juil.-12 | 4,92 | 0,44 | 231,66 | 20,85 | 42,90 | 91,00 |
| août-12 | 5,14 | 0,87 | 233,81 | 39,50 | 43,30 | 83,11 |
| sept.-12 | 4,40 | 0,63 | 232,30 | 33,02 | 43,02 | 85,79 |
| oct.-12 | 5,24 | 0,65 | 267,35 | 32,99 | 49,51 | 87,66 |
| nov.-12 | 4,85 | 0,91 | 293,46 | 54,77 | 54,34 | 81,34 |
| déc.-12 | 3,16 | 0,33 | 146,28 | 15,47 | 27,09 | 89,42 |
| janv.-13 | 4,41 | 0,37 | 206,05 | 17,26 | 38,16 | 91,62 |
| févr.-13 | 2,32 | 0,38 | 154,86 | 25,23 | 28,68 | 83,71 |
| mars-13 | 3,33 | 0,21 | 217,24 | 13,94 | 40,23 | 93,59 |
| avr.-13 | 3,85 | 0,42 | 223,86 | 24,55 | 41,46 | 89,03 |
| mai-13 | 3,50 | 0,53 | 237,99 | 36,16 | 44,07 | 84,81 |
| juin-13 | 2,94 | 0,41 | 259,13 | 35,91 | 47,99 | 86,14 |
| juil.-13 | 5,48 | 1,87 | 406,25 | 138,54 | 75,23 | 65,90 |
| août-13 | 4,37 | 0,82 | 261,06 | 48,98 | 48,34 | 81,24 |
| sept.-13 | 4,92 | 1,69 | 243,15 | 83,36 | 45,03 | 65,72 |
| oct.-13 | 4,27 | 0,54 | 217,05 | 27,28 | 40,19 | 87,43 |
| nov.-13 | 4,48 | 0,46 | 251,82 | 25,77 | 46,63 | 89,77 |
| déc.-13 | 2,91 | 0,29 | 189,41 | 19,01 | 35,08 | 89,96 |