

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Ecole Nationale Polytechnique d'Alger



Département de Génie Chimique

Projet de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat
en Génie Chimique

Thème :

**Etude des indicateurs de performance et
optimisation du fonctionnement des STEP**

Cas de la STEP de Réghaia

Dirigé par :

**M^{me} F. SOUABI
Mr M. NAKIB**

Etudié par :

**Kaouther MEDARBEL
Sara AMROUCHE**

Soutenu le 16 Juin 2012 devant le jury composé de :

Mr.A.Selatnia.....	Président
M ^{me} F.SOUABI.....	Promotrice
Mr M.NAKIB.....	Promoteur
M ^{me} S.Haddoum.....	Examinatrice
M ^{me} F.Méziani.....	Examinatrice
Mr A.Si-Salah.....	Invité
M ^{me} F.Béghoura.....	Invitée

● Promotion juin 2012 ●

Remerciements

Nos remerciements s'adressent en premier lieu à ALLAH, Le Tout Puissant de nous Avoir Donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout, merci ALLAH de nous Avoir Donné le savoir et les moyens pour arriver à ce stade de connaissance et élaborer ce modeste travail.

Nous souhaitons exprimer nos plus grandes reconnaissances à toutes les personnes qui nous ont accompagnées tout au long de ce projet, étape après étape, avec beaucoup de patience et d'attention....

- Tout d'abord Madame SOUABI et Monsieur NAKIB, enseignants à l'ENP, pour la confiance qu'ils nous ont accordée en nous attribuant ce sujet mais aussi pour leurs conseils précieux, leurs compréhensions et leurs encouragements.
- Une profonde reconnaissance à M^{me} BEGHOURA et Mr HERAOUI du service d'exploitation de la STEP de Réghaia pour nous avoir fait bénéficier de leur grande expérience technique et pour leur aide précieuse.
- Un immense remerciement pour les exploitants de la station pour nous avoir aidés à recueillir tous les documents nécessaires à notre étude et pour avoir répondu à toutes nos questions.
- Nous adressons nos sincères remerciements à Mesdames et Messieurs les membres de jury :
 - ❖ Mr .A. Selatnia, professeur à l'ENP
 - ❖ M^{me} S.Haddoum, M.A.A à l'ENP
 - ❖ M^{me} F.Méziani, M.A.A à l'ENP
 - ❖ Mr Si Salah, Directeur Exploitation VA TECH WABAG
 - ❖ M^{me} F.Beghoura, Responsable Exploitation STEP Réghaia

Nous remercions vivement notre deuxième famille, toute l'équipe du Département Génie chimique qui nous a accompagnées au jour le jour durant ces trois années d'étude.

Enfin, que tous nos proches et amis trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude pour leur aide et surtout pour leur soutien moral tout au long de ce travail.



«Au nom de Dieu le tout puissant et le très miséricordieux par la grâce duquel on a pu réaliser ce travail que je dédie : »

A l'ALGERIE ...*Ma terre natale, mon pays d'origine.*
A mes parents

... à celle qui m'a transmis la vie, l'amour et le courage, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à une femme très exceptionnelle à toi maman toutes mes joies, mon amour et ma reconnaissance.

...Ecole de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes les années des études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger, à un homme formidable, à toi très cher papa
« Qu'ALLAH les gardes et les protège. »

A la mémoire de mon grand-père

Que Dieu Le Miséricordieux l'Accueille dans Son Paradis.

A mes grands-parents

Que Dieu les Protège et leur Prête une bonne santé et une longue vie.

A mes deux petits frères

Karim et Ilies auxquels je souhaite beaucoup de réussite et de succès dans leur vie.

A mes oncles et tantes

En témoignage de mon amour, de mon profond respect.

A ma grande famille

Qui est la source de ma fierté.

A Aami SALAH

En témoignage de mon profond respect, merci pour votre soutien moral le long de ces années d'étude.

A mon binôme Sara

En lui souhaitant du plus profond de mon cœur plein de bonheur et de réussite

A mes amies

Qui sont la source de ma confiance.

A ma famille du Département de Génie Chimique et à toute ma promotion

A toute personne chère à mon cœur, et à tous ceux et toutes celles qui me connaissent et qui m'aiment.

Kaouther



Avant tout, je remercie **ALLAH** Le Tout Miséricordieux de m’Avoir offert la plus belle des religions : l’Islam et de m’Avoir aidé dans toute ma vie.

A deux étoiles qui m’ont éclairée le chemin de la vie. A ceux qui m’ont tout donné sans rien en retour : **Mes très chers parents.**

Par leur grand soutien et leurs encouragements, par leurs dévouements exemplaires et les énormes sacrifices qu’ils m’ont consentis durant mes études et qui ont toujours aimé me voir réussir : **Je ne trouverai jamais les mots pour les remercier...**
Que Dieu vous Garde et vous Alloue bonne santé, bonheur, prospérité et vous Offre le Paradis de votre choix.

A ceux qui ont su être bons, gentils et compréhensifs avec moi, ceux qui m’ont aidée du mieux qu’ils pouvaient pour réussir. A ceux qui m’ont toujours encouragée et soutenue moralement : **Mes très chers grands-parents.**

A la fierté de notre famille **mon arrière grande mère...** Agée aujourd’hui de 90 ans, elle continue de nous transmettre tout son amour et sa sagesse.

A celle qui m’a toujours ouvert ses bras et soutenue, celle qui m’a écoutée, encouragée et aidée, dans tout ce que j’ai entrepris, celle qui a toujours été là dans mes moments de détresse : ma très chère et unique sœur « **Zhor** ». Ta place dans mon cœur est particulière. Nulle dédicace et nulle parole ne puissent exprimer ma profonde affection à ton égard. Je te souhaite tout le bonheur et le succès que tu mérites tant.

A mes deux petits frères : **Abdellah** et **Abdelghani**
que j’aime énormément.

A ceux qui ont su m’aimer, me supporter, qui étaient toujours et encore à mes côtés : **mes chers oncles et mes chères tantes.**

A mes chers cousins et cousines :

En témoignage de ma sincère amitié et mon profond attachement
« Que Dieu vous Offre une vie pleine de succès et de bonheur »

A mes chères amies :

Celles avec qui j’ai eu de merveilleux souvenirs...Merci pour votre gentillesse...Merci car vous avez toujours su me redonner le sourire

A une personne qui mérite tout le bonheur du monde, à une personne qui m’a beaucoup soutenue dans les moments les plus difficiles, qui a su toujours m’aider et me remonter le moral, le charme de l’ENP qui a guidé toute une génération : une personne qui restera dans ma mémoire : **Aami Salah**

A ma très chère sœur et confidente, mon binôme : Que Dieu te Donne tout ce que tu souhaites, une vie pleine de bonheur et de joie : **Kaouther !**

Et

A tous ceux dont l’oubli du nom n’est pas celui du cœur.

Sara

دراسة مؤشرات الاداء وتحسين عمل محطات معالجة المياه الملوثة
وضع محطة رغاية

ملخص

تندرج هذه الدراسة في إطار وضع منهاج شامل يهدف لحماية البيئة و الحفاظ على نوعية المياه عن طريق تحسين وضعية محطة معالجة المياه الملوثة لبلدية الرغاية و ذلك من خلال متابعة قدراتها التطهيرية و تحديد مجموعة من مؤشرات الأداء و الفعالية مما سمح لنا في مرحلة أولى بالكشف عن مشاكل المحطة و دفعنا في مرحلة ثانية للبحث عن الحلول الممكنة مراعين في ذلك معايير الجدوى و التكلفة و الكفاءة
أخيرا و في إطار التنمية المستدامة قمنا بدراسة إمكانية إدماج تكنولوجيات جديدة بهدف تحسين المعالجة البيولوجية مع التركيز على خفض تكاليف الطاقة و آثار التلوث البيئي

الكلمات المفتاحية

تلوث المياه - محطة معالجة المياه الملوثة - الحمأة المنشطة - مؤشرات الأداء

**Etude des indicateurs de performance et optimisation du fonctionnement des STEP
Cas de la STEP de Réghaia**

Résumé

Dans un souci de protéger l'environnement et de préserver la qualité de l'eau, notre travail s'est intéressé à développer une approche globale de maîtrise de l'exploitation de la station d'épuration de Réghaia.

Le premier objectif visé est de définir et d'étudier des indicateurs de suivi et d'optimisation pour pouvoir évaluer les performances du système épuratoire. Les résultats montrent certains dysfonctionnements pour lesquels nous avons cherché les causes potentielles. Nous avons ensuite proposé des solutions répondant aux critères de faisabilité, d'efficacité et de coût.

Enfin dans une démarche de développement durable, nous avons étudié la possibilité d'introduire des technologies nouvelles afin d'améliorer l'efficacité du traitement biologique tout en diminuant les dépenses énergétiques et l'empreinte écologique.

Mots clés : Pollution de l'eau – STEP – boues activées – indicateurs de performances

Study of performance indicators and optimizing the operation of WWTP

Case of WWTP of Réghaia

Abstract

In order to protect the environment and preserve water quality, our work focused on developing a comprehensive approach to master the operation of Réghaia wastewater treatment plant.

The first objective is to define and study the indicators of monitoring and optimization to evaluate the performances of the purification system. The results show some deficiencies for which we sought potential causes. Then, we proposed some solutions that meet the criteria off easibility, effectiveness and cost

Finally, in a sustainable development approach, we studied the possibility of introducing new technologies to improve the efficiency of biological treatment while reducing energy costs and environmental footprint.

Keywords : Water Pollution - WWTP –activated sludge –Performance indicators.

Table des matières

Liste des tableaux	
Liste des figures	
Symboles et abréviations	
INTRODUCTION GENERALE.....	1
PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE	
CHAPITRE I L'eau dans le monde: Situation et perspective.....	2
I.1 Introduction.....	2
I.2 Pollution d'eau dans le monde: Origines et statistiques.....	2
I.3 Progrès en matière d'assainissement dans le monde.....	4
I.4 Problème liées à l'eau et à sa pollution.....	4
I.5 Conclusion.....	4
CHAPITRE II Paramètres de pollution.....	5
II.1 Introduction.....	5
II.2 Les différents paramètres de pollution.....	5
II.3 Notion d'équivalent habitant.....	18
II.4 Conclusion.....	19
CHAPITRE III Indicateurs de performance.....	20
III.1 Introduction.....	20
III.2 Intérêt des indicateurs de performance.....	20
III.3 Indicateurs de performance: Consignes de fonctionnement et causes de Variations.....	21
III.4 Conclusion.....	24
CHAPITRE IV Traitement des eaux usées: Techniques et procédés d'épuration.....	25
IV.1 Introduction.....	25
IV.2 La collecte des eaux usées: Réseau de collecte.....	25
IV.3 Traitement d'eau dans les stations d'épuration: Choix de la filière de traitement.....	25
IV.4 Procédés d'épuration des eaux usées (composantes d'un traitement).....	26
IV.4.1 Prétraitements et élimination des sous-produits.....	26
IV.4.2 Le traitement primaire:.....	27
IV.4.3 Traitement secondaire: Élimination de la pollution organique.....	29
IV.4.4 Traitements tertiaire.....	42
IV.4.5 Traitement complémentaire.....	42
IV.5 Conclusion.....	45
CHAPITRE V la situation de l'assainissement en Algérie.....	46
V.1 Introduction.....	46
V.2 les axes de la politique nationale dans le domaine des ressources en eau.....	46
V.3 Les acteurs de l'eau en Algérie.....	46
V.4 Etat du secteur de l'eau et de l'assainissement en Algérie.....	47
V.5 Conclusion.....	51

PARTIE EXPERIMENTALE

Table des matières

Problématique.....	52
Objectifs d'étude.....	52
CHAPITRE VI.Présentation de la Station d'épuration de Réghaia.....	53
VI.1 Introduction.....	53
VI.2 Localisation.....	53
VI.3Caractéristiques techniques.....	53
VI.4 Procédé d'épuration.....	55
VI.5 Traitement des boues.....	59
VI.6 Poste toutes eaux.....	61
VI.7 Le pont bascule.....	62
VI.8 Conclusion.....	62
Méthodologie du travail	63
CHAPITRE VII Détection des dysfonctionnements de la station d'épuration de Réghaia.....	64
VII.1 Introduction.....	64
VII.2 Interprétation des paramètres de pollution.....	64
VII.3 Calcul et interprétation des ratios.....	76
VII.3.1 Ratios file eau.....	76
VII.3.2 Ratios file boues.....	85
VII.4 Conclusion.....	90
CHAPITRE VIII: Dysfonctionnements de la Station D'épuration de Réghaia:	
Remise en cause.....	91
VIII.1 Introduction.....	91
VIII.2 Causes du problème de nitrification survenu à la STEP de Réghaia pendant la période de décembre 2011 et janvier 2012	91
VIII.3 Causes du problème de dénitrification survenu à la STEP de Réghaia pendant La période de février 2012 à avril 2012.....	102
VIII.4 Causes du problème d'extraction des boues dans la STEP de Réghaia.....	106
VIII.5 Conclusion.....	110
CHAPITRE IX : Bilan énergétique de la STEP de Réghaia.....	111
IX.1 Introduction.....	111
IX.2 Etat de la consommation électrique dans la STEP de Réghaia.....	111
IX.3 La part de l'aération dans le bilan global de la consommation électrique.....	111
IX.4 La part de la déshydratation des boues dans le bilan global de la consommation électrique.....	112
IX.5: Influence de la mauvaise extraction de boues biologiques sur la consommation d'énergie électrique durant la période de janvier 2012 à mars 2012.....	114
IX.6 Détermination du bilan carbone.....	115
IX.7 Conclusion.....	116
CHAPITRE X: Amélioration de la fiabilité du traitement et diminution des dépenses énergétiques et de l'empreinte écologique: Un défi de demain pour la STEP de Réghaia.....	117
X.1 Introduction.....	117
X.2 Amélioration de la fiabilité et du niveau de traitement dans la STEP de Réghaia....	117
X.3 Diminution de la consommation énergétique et de l'empreinte écologique:	121

Table des matières

Dissociation des deux fonctions d'aération et de brassage.....	
X.4 Perspectives et perfectionnements de la station d'épuration de Réghaia.....	125
X.4.1 Optimisation de l'aération au niveau du réacteur biologique.....	125
X.4.2 Séparation et revalorisation des boues.....	127
X.5 Conclusion.....	128
Conclusion générale.....	129
Contraintes rencontrées	
Références bibliographiques	
Glossaire	
Annexes	
Diagramme de Gantt	

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Normes internationales de mesure et de rejets sur les paramètres physico-chimiques de la pollution de l'eau.....	8
Tableau II.2 : Normes internationales de mesure et de rejets sur les paramètres de la pollution particulaire de l'eau.....	10
Tableau II.3 : Normes internationales de mesure et de rejets sur les paramètres de la pollution organique de l'eau	12
Tableau II.4 : Normes internationales de mesure et de rejets sur les paramètres de la pollution dissoute de l'eau.....	15
Tableau II.5 : Normes internationales de rejets sur les métaux lourds.....	16
Tableau II.6 : Normes internationales de mesure et de rejets sur les paramètres toxique de l'eau.....	17 18
Tableau II.7 : Quelques paramètres de pollution relative à 1eq.h en France.....	23
Tableau III.1 : Quelques ratios: limites de variation et signification	34
Tableau IV.1 : Les avantages et les inconvénients des procédés intensifs.....	36
Tableau IV.2 : Les avantages et les inconvénients des procédés extensifs.....	48
Tableau V.1 : Normes algériennes de rejet.....	50
Tableau V.2 : Evolution des principaux indicateurs du secteur de l'eau entre 1999 et 2011.....	54
Tableau VI.1 : Caractéristiques générales de la station de Réghaia.....	54
Tableau VI.2 : Charge hydraulique pour le dimensionnement.....	54
Tableau VI.3 : Charges polluantes (capacité nominale de la station).....	54
Tableau VI.4 : Objectif du traitement.....	64
Tableau VII.1 : Les paramètres de pollution dans les eaux brutes et les eaux épurées pour la STEP de Réghaia.....	65
Tableau VII.2 : Consommation d'énergie et de produit.....	66
Tableau VII.3 : Taux de dilution.....	77
Tableau VII.4 : Evolution du rapport nutritionnel de novembre 2012 à mars 2012 pour la STEP de Réghaia.....	79
Tableau VII.5 : Evolution du % en MVS en fonction du rapport MES/DBO ₅	93
Tableau VIII.1 : Charge massique pour les deux mois de décembre 2011 et janvier 2012.....	93
Tableau VIII.2 : Valeurs des coefficients de consommation d'oxygène à des fins énergétiques et pour l'autoépuration en fonction de la charge massique appliquée.....	94
Tableau VIII.3 : Détermination des différentes formes d'azote.....	96
Tableau VIII.4 : Calcul des besoins théoriques en oxygène.....	96
Tableau VIII.5 : Calcul du besoin et de l'apport théorique total en oxygène.....	97
Tableau VIII.6 : Temps d'aération journalier pour satisfaire la demande théorique en oxygène.....	97
Tableau VIII.7 : Paramètres caractéristiques du bassin d'aération.....	98
Tableau VIII.8 : Calcul du temps de marche des aérateurs.....	99
Tableau VIII.9 : Concentration des métaux toxiques dans les boues activées.....	101
Tableau VIII.10 : Résultats d'analyses au niveau du bassin d'aération.....	103
Tableau VIII.11 : Résultats d'analyse à l'entrée et à la sortie de la STEP de Réghaia.....	104
Tableau VIII.12 : Caractéristiques des centrifugeuses de la STEP de Réghaia.....	106
Tableau VIII.13 : Résultats des calculs des quantités de boues biologiques et primaires réellement extraites et idéales à extraire pour la STEP de Réghaia	107
Tableau VIII.14 : Comparaison de la quantité de boues optimale à déshydrater avec la capacité de déshydratation des centrifugeuses pour la STEP de Réghaia.....	108
Tableau IX.1 : Perte d'énergie suite à une mauvaise extraction des boues biologiques.....	115
Tableau X.1 : Résultats d'analyse pour la détection des métaux lourds.....	119
Tableau X.2 : Détermination du temps nécessaire pour la fonction de brassage.....	122
Tableau X.3 : Consommation d'électricité nécessaire à la fonction de brassage.....	123
Tableau X.4 : Bilan de carbone engendré par la fonction de brassage.....	123

Liste des figures

Figure I.1: Les changements dans l'utilisation mondiale de l'eau, par secteur.....	3
Figure II.1: Plage de conductivité de solution aqueuse.....	8
Figure II.2: Mesure de la DCO.....	11
Figure II .3: Evolution temporelle de la DBO.....	11
Figure IV.1: Les différents procédés de traitement selon la nature et la forme de la pollution.....	26
Figure IV.2: Décanteur primaire avec pont racleur à entrainement périphérique.....	28
Figure IV.3: Décanteur lamellaire à recirculation de boues : la RPS.....	28
Figure IV.4: Schéma d'une coagulation-floculation suivi d'une décantation lamellaire.....	30
Figure IV.5: Schéma du principe de l'osmose inverse.....	29
Figure IV.6: Le lagunage naturel.....	31
Figure IV.7 : Synoptique d'une station d'épuration comportant un lit bactérien.....	32
Figure IV.8 : Synoptique d'une station d'épuration comportant un disque biologique.....	32
Figure IV.9 : Schéma de principe d'un disque biologique.....	32
Figure IV.10: Infiltration- percolation étanchée et drainée.....	35
Figure IV.11: Le lagunage aéré.....	35
Figure IV.12: Représentation schématique du stockage ou de l'utilisation du phosphore par les bactéries en fonction du milieu.....	40
Figure IV.13: Schéma de la filière classique du traitement biologique du phosphore.....	40
Figure IV.14: Schéma d'un bio filtre.....	42
Figure IV.15: Épaississement des boues par flottation	43
Figure IV.16: Déshydratation boues par centrifugation.....	43
Figure IV.17: Principales étapes de traitement et destinations des boues.....	44
Figure V.1: Procédés d'épurations utilisés en Algérie.....	49
Figure VI.1 : STEP de Réghaia-Algérie.....	53
Figure VI.2 : Vue de dessus de la STEP de Réghaia par satellite.....	53
Figure VI.3: Regard des rejets industriels de l'usine nouvelle de conserverie algérienne.....	53
Figure VI.4: La synoptique de la station de Réghaia.....	55
Figure VI.5: Ouvrage de comptage.....	56
Figure VI.6: Déversoir d'orage.....	56
Figure VI.7: Dégrilleur.....	56
Figure VI.8: Tapis roulant	56
Figure VI.9: Dégraisseur-Dessaleur.....	57
Figure VI.10: Décanteur primaire.....	57
Figure VI.11: la zone aérée du réacteur biologique (nitrification)	58
Figure VI.12: la zone anoxie du réacteur biologique (dénitrification)	58
Figure VI.13: pompe doseuse du chlorure ferrique	58
Figure VI.14: cuve de stockage du chlorure ferrique	58
Figure VI.15: Clarificateur	59
Figure VI.16: filtre plein pendant le fonctionnement.....	59
Figure VI.17: filtre vide pendant l'arrêt.....	59
Figure VI.18: Epaisseur primaire fermé.....	60
Figure VI.19: Epaisseur biologique ouvert.....	60
Figure VI.20: Stabilisation chimique des boues.....	60
Figure VI.21: Bâche de stockage des boues	60
Figure VI.22: Déshydratation des boues par centrifugation.....	61
Figure V.23: Poste toutes eaux.....	61
Figure VI.24: Pont bascule.....	62
Figure VII.1: Evolution du débit d'entrée d'avril 2011 à février 2012 pour la STEP de Réghaia.....	65
Figure VII.2: Evolution de la température d'avril 2011 à février 2012 pour la STEP de	

Liste des figures

Réghaia.....	67
Figure VII.3: Evolution du pH d’avril 2011 à février 2012 pour la STEP de Réghaia.....	68
Figure VII.4: Evolution de la conductivité d’avril 2011 à février 2012 pour la STEP de Réghaia.....	68
Figure VII.5: Evolution de la concentration d’oxygène dissous d’avril 2011 à février 2012 pour la STEP de Réghaia.....	69
Figure VII.6: Evolution de la concentration en MES d’avril 2011 à février 2012 pour la STEP de Réghaia.....	70
Figure VII.7: Evolution de la demande chimique en oxygène d’avril 2011 à février 2012 pour la STEP de Réghaia.....	71
Figure VII.8: Evolution de la demande biologique en oxygène d’avril 2011 à février 2012 pour la STEP de Réghaia.....	72
Figure VII.9: Evolution de la concentration du phosphore total de octobre 2011 à février 2012 pour la STEP de Réghaia.....	72
Figure VII.10: Evolution de la concentration en azote global de août 2011 à février 2012 pour la STEP de Réghaia	73
Figure VII.11: Evolution de la concentration d’ammonium de novembre 2011 à mars 2012 pour la STEP de Réghaia.....	74
Figure VII.12 : Evolution de la concentration de nitrates de novembre 2011 à mars 2012 pour la STEP de Réghaia.....	75
Figure VII.13: Evolution du rapport DCO/DBO ₅ d’avril 2011 à février 2012 à l’entrée de la STEP de Réghaia.....	76
Figure VII.14: Comparaison de la biodégradabilité de l’effluent à l’entrée et à la sortie de la STEP de Réghaia.....	77
Figure VII.15 : Evolution du rapport MES/DBO ₅ à l’entrée de la STEP de Réghaia d’avril 2011 à février 2012.....	78
Figure VII.16 : Evolution du % en MVS en fonction du rapport MES/DBO ₅	79
Figure VII.17 : Evolution de l’organicité de l’effluent à l’entrée de la STEP de Réghaia d’avril 2011 à février 2012.....	80
Figure VII.18 : Evolution du rapport NH ₄ ⁺ /NTK de novembre 2011 à mars 2012 à l’entrée de la STEP de Réghaia.....	81
Figure VII.19 : Evolution du rapport DCO/NTK de novembre 2011 à mars 2012 à l’entrée de la STEP de Réghaia.....	82
Figure VII.20 : Evolution du rapport DBO ₅ /N _{à dénitrifier} de décembre 2011 à mars 2012 à l’entrée de la STEP de Réghaia.....	83
Figure VII.21: Evolution du rapport DCO/P _T de octobre 2011 à février 2012 à l’entrée de la STEP de Réghaia.....	84
Figure VII.22: Evolution du rapport production de boues primaires / production de boues primaires théorique d’avril 2011 à février 2012 pour la STEP de Réghaia.....	86
Figure VII.23 : Evolution du rapport MS extraites/kg de DCO éliminée d’avril 2011 à février 2012 pour la STEP de Réghaia.....	88
Figure VII.24 : Evolution du taux de traitement en polymère d’avril 2011 à février 2012 pour la STEP de Réghaia.....	89
Figure VIII.1 : Evolution des valeurs hebdomadaires de la température de décembre 2011 à janvier 2012 pour la STEP de Réghaia.....	91
Figure VIII.2 : Evolution des valeurs hebdomadaires du pH de décembre 2011 à janvier 2012 Pour la STEP de Réghaia.....	92
Figure VIII.3 : Evolution des valeurs hebdomadaires de la conductivité de décembre 2011 à janvier 2012 pour la STEP de Réghaia.....	92

Liste des figures

Figure VIII.4 : Evolution des valeurs hebdomadaires du rendement d'élimination de la pollution particulaire dans le décanteur primaire de décembre 2011 à janvier 2012 pour la STEP de Réghaia.....	93
Figure VIII.5 : moussage blanc léger (STEP Réghaia).....	99
Figure VIII.6 : Evolution de la concentration d'oxygène dissous dans la zone aérée et dans la zone anoxie du réacteur biologique de la STEP de Rghaia.....	105
Figure VIII.7 : Exemple des microcoupures d'électricité dans la STEP de Rghaia.....	109
Figure IX.1 : Evolution de la consommation électrique totale au niveau de la STEP de Réghaia.....	111
Figure IX.2 : Evolution du rapport consommation d'énergie électrique au niveau des aérateurs/ consommation d'énergie électrique totale pour la STEP de Réghaia.....	112
Figure IX.3 : Evolution du rapport consommation d'énergie électrique pour la déshydratation / consommation d'énergie électrique totale pour la STEP de Réghaia.....	113
Figure IX.4 : Evolution du taux d'émission de dioxyde de carbone d'avril 2011 à mars 2012 pour la STEP de Réghaia.....	116
Figure X.1 : Plan d'expérience de l'étude.....	119
Figure X.2 : La consommation électrique de la STEP de Réghaia avant et après dissociation de l'aération et de brassage.....	124
Figure X.3 : Taux d'émission de dioxyde de carbone pour la STEP de Réghaia avant et après dissociation de l'aération et de brassage.....	124
Figure X.4 : Schéma d'un cycle d'aération au niveau de la STEP de Réghaia.....	125

Abréviations utilisées

ADE : l'Algérienne des Eaux
ADP : Adénosine-di phosphate
AEP : L'alimentation en eau potable
AFNOR : Association française de normalisation
AGV : Acides gras volatils
AMP : Adénosine -mono phosphate
ATP : Adénosine - Tri phosphate
BA : Bassin d'aération
BP : Boues primaires
BB : Boues biologiques
CaO : Chaux vive
CE : Conductivité électrique
Cm : Charge massique
COT : Carbone organique total
DBO₅ : Demande biochimique en oxygène
DCO : Demande chimique en oxygène
DTO : Demande total en oxygène
EH : Equivalent habitant
Hm³ : hectomètres cubes
I A N O R : Institut algérien de normalisation
IM : Indice de Molhman
Mds : **Milliards**
MES : Matières en suspension
MES biol : Matière en suspension biologique
MM : Matières minérales
MS : Matière sèche
MVS : Matières volatiles en suspension
NGL : Azote global
NTK : Azote Kjeldahl
NTU : Nephelometric Turbidity Unit
OMS : Organisation mondiale de la santé
ONA : L'Office National de l'Assainissement
P_T : Phosphore total
PHA : Poly beta-hydroxy alcanoates
PNUE : Programme des nations unies pour l'environnement
Q : Débit d'eau
SEAAL : Société des Eaux et de l'Assainissement Algérie
T MS : Tonne de matière sèche extraite
STEP : Station d'épuration des eaux usées
UV : Ultra-violet
μS : Micro siemens

Introduction générale

Dieu Le Tout Miséricordieux Dit:

« **A partir de l'eau Nous avons constitué toute chose vivante** »

Derrière ce mot, s'impose une image, née des derniers voyages spatiaux, celle d'une planète bleue : la terre, mais malgré cette bleutée de notre planète, l'homme est toujours confronté au problème de l'eau, c'est pour cette raison que les experts déclarent que les guerres du XXI^e siècle auront **l'or bleu** pour enjeu.

L'Algérie à l'instar des autres pays du monde est confrontée à la rareté de cette ressource vitale, qui est aggravée par la forte pression sur le potentiel en eau en raison de la progression démographique. Parallèlement à cette situation, les phénomènes qui contribuent à la dégradation de la qualité de l'eau et par suite à la perturbation de tout l'écosystème se multiplient et s'intensifient à cause de l'apparition des eaux industrielles toxiques.

On ne connaît pas encore de situation dramatique, mais il existe néanmoins des symptômes de pollution surtout des eaux et de l'environnement en général, qui méritent dès à présent qu'on se penche dessus pour parer à toute éventualité et pour ne pas laisser le phénomène s'aggraver plus.

Aujourd'hui, la préservation de notre environnement et celle de nos ressources en eau, dépendent de notre capacité à nettoyer les eaux usées avant leur retour dans la nature .C'est pourquoi nos stations d'épurations devront être bien plus que de simples usines de dépollution mais aussi des usines de recyclage et de production.

C'est dans ce contexte que notre étude a consisté à identifier, pour la station d'épuration de Réghaia des indicateurs de suivi et d'optimisation en traitant les données disponibles des années antérieures. Ces indicateurs permettront de mettre en évidence les optimisations nécessaires pour chaque poste et serviront, une fois mis en place, à piloter l'exploitation des installations.

Notre travail débute par une partie bibliographique qui commence par présenter la situation de l'eau dans le monde comme étant un enjeu de XXI^e siècle, ce qui montre la nécessité d'améliorer le traitement de l'eau en passant par une meilleure connaissance des paramètres de pollution que nous avons regroupé dans une deuxième partie tout en synthétisant les interactions qui existent entre eux et en rappelant les réglementations correspondantes avec applications aux stations d'épuration.

L'étude des interactions entre les différents paramètres de pollution et la connaissance des mécanismes d'épuration a permis de mettre en place des indicateurs de performances, nous avons par suite associé à chaque indicateur son rôle dans le fonctionnement et les causes de sa variation données par la littérature.

La dernière partie de l'étude bibliographique a consisté dans un premier temps à donner un aperçu sur les différentes techniques de traitement des eaux usées avec un intérêt particulier pour le procédé boues activées, dans une seconde partie nous avons étudié la situation de l'eau et de l'assainissement en Algérie.

Dans la partie expérimentale et après avoir présenté la station étudiée, nous exposons la méthode de travail que nous avons suivi. Puis nous présentons les résultats obtenus à partir d'une méthode logique qui consiste à examiner les données et les résultats de calcul pour détecter les dysfonctionnements, chercher les causes et enfin proposer des solutions et des améliorations en respectant les enjeux du développement durable.

Chapitre I :

L'eau dans le monde : Situation et perspective

Derrière la formule H₂O, il y a une histoire. Celle de deux éléments bien différents qui, en fusionnant, donnent l'eau et donc la vie !

[*Jean-Charles Gil*]

I.1 Introduction [1]:

Comme tout le monde le sait, la planète Terre est également appelée planète **bleue**, ceci provient du fait que sa surface est recouverte à 72 % d'eau. L'eau existe en quantité immuable depuis des millénaires, dans le monde nous pouvons en compter 1400 million de km³. C'est une quantité phénoménale, une énergie propre et quasi inépuisable!

Mais ce n'est pas si simple. En effet cette quantité d'eau colossale n'est pas à 100 % propre à la consommation, ainsi l'eau douce accessible ne représente que 12500 milliards de m³ soit encore 2,5% dont 2% sont stockées dans les glaciers des montagnes, ce qui la rend difficilement utilisable, de plus l'agriculture, l'industrie et l'urbanisation ont fait explorer la consommation d'eau entraînant des rejets de quantités astronomiques d'eaux usées qui finissent par rendre cette précieuse ressource impropre à la consommation.

La question de l'eau et de sa pollution est aujourd'hui au centre des préoccupations des États du monde entier, qu'ils soient développés ou en voie de développement.

Dans ce chapitre nous allons décrire la situation de l'eau dans le monde (disponibilité, pollution et systèmes d'assainissement) ainsi que les problèmes liés à cette ressource vitale.

I.2 Pollution d'eau dans le monde : Origines et statistiques [2 et 3]

La pollution est toute modification physico-chimique ou biologique d'un écosystème par l'introduction d'un élément extérieur qui créait des nuisances voir un danger pour le monde du vivant dont la pollution d'eau fait partie, on parlera alors d'eaux usées.

Les eaux usées sont constituées de toutes les eaux de nature à contaminer les milieux dans lesquelles elles sont déversées

I.2.1 Origines des eaux usées

Les eaux usées proviennent de trois sources principales.

♣ I.2.1.1 Les eaux usées domestiques:

Ils se caractérisent par leurs fortes teneurs en matières organiques, en sels minéraux, en détergents et en germes fécaux

♣ I.2.1.2 Les eaux usées industrielles

Presque toutes les eaux résultant d'une utilisation de l'eau autre que domestiques sont qualifiées de rejets industriels. Cette définition concerne les rejets des usines ainsi que les rejets d'activités artisanales ou commerciales. Les eaux industrielles peuvent contenir des produits toxiques, des métaux lourds, des polluants organiques et des hydrocarbures

♣ I.2.1.3 Les eaux usées de surface:

On peut citer les eaux pluviales, de ruissellement, les eaux ménagères: provenant des cuisines et du lavage, contenant essentiellement des matières organiques (graisse, protéines,) et des produits chimiques (produits d'entretien, détergents).

A ces trois types d'eaux usées s'ajoutent les eaux-vannes: provenant des sanitaires et contenant des matières organiques biodégradables et des micro-organismes.

I.2.2 Statistiques:

L'accroissement démographique dans le monde a provoqué une expansion rapide des secteurs urbains. L'eau est soumise aux agressions de pollution de différentes natures, les histogrammes ci-après montrent l'évolution de la consommation d'eau et de rejets pendant la période de 1900 à 2000 et une prévision pour l'an 2025 [PNUE]

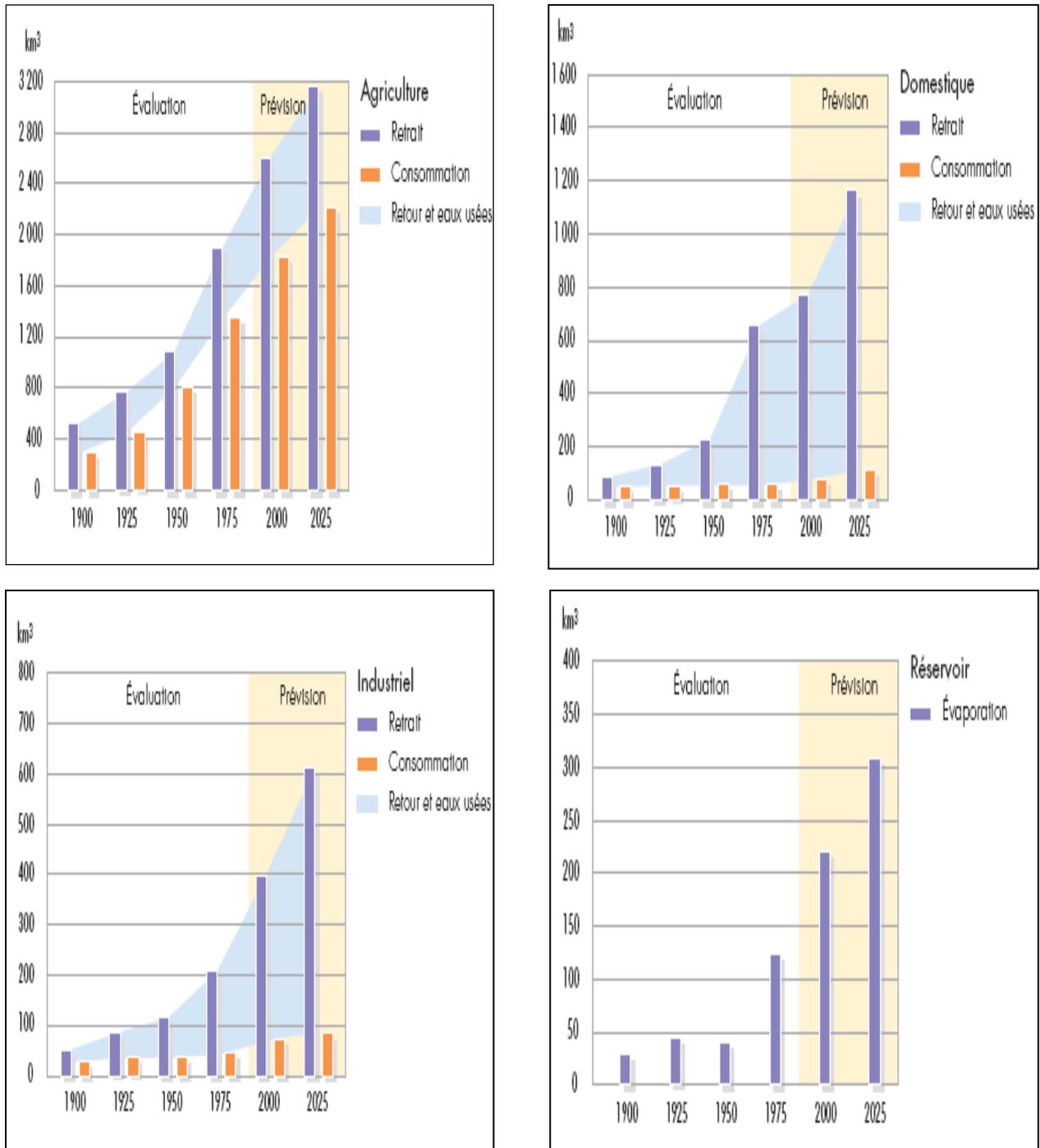


Figure I.1: Les changements dans l'utilisation mondiale de l'eau, par secteur Source : PNUE, basé sur Shiklomanov et UNESCO

I.3 Progrès en matière d'assainissement dans le monde: [4 et 5]

En 2002, 2,6 milliards de personnes, soit 42% de la population mondiale, n'avaient pas accès à des moyens d'assainissement. En 8 ans, le nombre de personnes ayant accès à l'eau potable a progressé. En effet à la fin de l'année 2010, 89% de la population mondiale, soit 6,1 milliards de personnes, avaient accès à des sources améliorées d'eau potable. Néanmoins 11% de la population mondiale (soit 783 millions de personnes) n'ont toujours pas accès à de l'eau potable, et des milliards demeurent privées d'installations sanitaires

Quant aux usines de dessalement, en 2008, on dénombrait 13869 usines de dessalement construites ou en construction dans le monde. Elles produisent 52 millions de m³ d'eau douce par jour soit 0,5% de la consommation mondiale

I.4 Problème liées à l'eau et à sa pollution [1 et 5]:

Rare et mal répartie, souvent gaspillée, l'eau est au cœur des stratégies de puissances, avec des enjeux politiques, économiques et sociaux. Cette ressource subit des pressions de plus en plus fortes, sur la quantité disponible par habitant et sur la qualité mise à mal par la pollution.

I.4.1 Problèmes économiques :

L'eau étant la ressource dont dépendent crucialement plusieurs secteurs d'activité, les conséquences économiques d'une pénurie risquent également d'être sérieuses, de plus il faut se rendre compte que dépolluer reste encore actuellement une activité de riches, de ce fait il faut préserver cette ressource précieuse.

I.4.2 Problème liés à la santé:

Chaque année, 1,8 millions de personnes, dont 90% d'enfants de moins de cinq ans, vivant pour la plupart dans les pays en développement, meurent de maladies diarrhéiques (y compris du choléra), 88% des maladies diarrhéiques sont imputables à la mauvaise qualité de l'eau, à un assainissement insuffisant et à une hygiène défectueuse [OMS]

Chaque jour, 20 000 personnes, des enfants surtout, meurent de maladies liées à l'eau.

I.4.3 Problèmes politiques et géopolitiques:

Le problème du manque d'eau n'est pas un problème hydrographique mais plutôt géographique et économique. Il ne faut pas oublier que l'eau est renouvelable alors que le pétrole ne l'est pas. L'eau n'est pas transportable alors que le pétrole et le gaz le sont. Enfin, il n'y a pas de marché mondial de l'eau, seulement des marchés locaux ce qui complexifie ou facilite l'indexation des prix

En 2003 Lester Brown, président du Earth Policy Institute nous apprend que: «Dans un an, ceux qui produisent le plus de blé auront un contrôle géopolitique total. La guerre de l'or bleu change l'équilibre du monde, acheter de blé veut dire avant tout acheter de l'eau.».

I.5 Conclusion:

Disposer en quantité suffisante d'une eau de bonne qualité est l'un des enjeux de XXI^e siècle, ceci ne peut se faire que par une optimisation des filières de traitement qui nécessite une bonne connaissance des paramètres de pollution et des interactions qui existent entre eux , ces derniers font l'objet du prochain chapitre.

Chapitre II:

Paramètres de pollution

Jusqu'à ce que la douleur le lui enseigne, l'homme

ne sait pas quel trésor est l'eau!

[*Lord Byron*]

II.1 Introduction:

Les eaux usées sont des milieux extrêmement complexes, aussi se réfère-t-on à quelques paramètres pour les caractériser. De ce fait l'appréciation de la qualité de ces eaux usées se base sur la mesure de paramètres physico-chimiques ainsi que sur la présence ou l'absence d'organismes et de micro-organismes aquatiques, indicateurs d'une plus ou moins bonne qualité de l'eau.

Ces données peuvent être complétées par l'analyse des sédiments (boues), notamment la pollution par les métaux lourds, les hydrocarbures et d'autres matières organiques non biodégradables. L'ensemble de ces éléments permet d'évaluer le degré de pollution de l'eau.

Dans ce chapitre nous allons définir les différents paramètres de pollution, les techniques normées permettant leur mesure, l'interaction existant entre eux ainsi que leur effet sur l'efficacité de l'épuration et par suite nous allons associer à chaque paramètre ses normes de rejet.

II.2 Les différents paramètres de pollution [6]:

Pour apprécier la qualité des eaux en général, différents paramètres sont utilisés que nous classerons ainsi:

- Les paramètres physico-chimiques,
- Les paramètres de la pollution particulaire,
- Les paramètres de la pollution organique globale,
- Les paramètres de la pollution dissoute,
- Les paramètres toxiques,
- Les paramètres microbiologiques.

II.2.1 Les paramètres physico-chimiques:

II.2.1.1 Température (2, 7 à 10):

La température est un paramètre dont la détermination et le contrôle sont importants. En effet, elle joue un rôle très important dans la solubilité des sels et surtout des gaz, et la détermination du pH C'est un paramètre physique qui a une influence sur :

- ❖ 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.
- ❖ 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
- ❖ 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
- ❖ les propriétés de décantation : Quand la température augmente, l'indice de décantation augmente car la densité des floccs diminue
- ❖ l'élimination biologique du phosphore : Une augmentation de la température favorise l'élimination biologique du phosphore. Trois raisons expliquent ce phénomène
 - Raison directe : augmentation des vitesses de relargage /réabsorption de phosphore, de consommation de substrat et de croissance bactérienne.

- De manière indirecte :

➤ Augmentation substantielle de la quantité de substrats rapidement biodégradables (AGV) avec la température.

➤ Amélioration de l'efficacité des processus de nitrification/dénitrification, ayant une répercussion positive sur la déphosphatation.

- ❖ La toxicité: l'effet toxique des substances chimiques est plus grand à température élevée
- ❖ La demande biologique en oxygène: une augmentation de la température conduit à une augmentation de la consommation de l'O₂ dissous

II.2.1.2 L'oxygène dissous [10 à 12]:

C'est la quantité d'oxygène dissous présent en solution dans l'eau à une température donnée. Les concentrations en oxygène dissous constituent l'un des plus importants paramètres de qualité des eaux pour la vie aquatique.

L'oxygène dissous dans les eaux de surface provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. La concentration en oxygène dissous varie de manière journalière et saisonnière car elle dépend de nombreux facteurs tels que la pression partielle en oxygène de l'atmosphère, la température de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière, l'agitation de l'eau et la disponibilité en nutriments. Cette concentration en oxygène dissous est également fonction de la vitesse d'appauvrissement du milieu en oxygène par l'activité des organismes aquatiques et les processus d'oxydation et de décomposition de la matière organique présente dans l'eau.

- ❖ Si la température augmente, la solubilité de l'oxygène diminue,
- ❖ Le taux de croissance des bactéries nitrifiantes est influencé par l'oxygène dissous
- ❖ L'oxygène dissous influence l'efficacité de processus de déphosphatation biologique
- ❖ La mesure de la concentration de l'oxygène dissous permet de déterminer la vitesse de dégradation de carbone et de l'azote

La détermination de la teneur en oxygène dissous constitue une mesure indirecte du degré de pollution de l'eau. Cette grandeur permet d'évaluer la concentration en oxygène dissous dans l'eau et pourrait donner une indication sommaire au sujet de l'effluent

- une valeur inférieure à 1 mg d'O₂ par litre indique un état proche de l'anaérobiose. Cet état se produit lorsque les processus d'oxydation des déchets minéraux, de la matière organique et des nutriments consomment plus d'oxygène que celui disponible. Une faible teneur en oxygène dissous provoque une augmentation de la solubilité des éléments toxiques qui se libèrent des sédiments.
- une valeur de 1 à 2 mg d'O₂ par litre indique une rivière fortement polluée.
- une teneur de 4 à 6 mg d'O₂ par litre caractérise une eau de bonne qualité.
- Des teneurs supérieures à la teneur naturelle de saturation en oxygène indiquent une eutrophisation du milieu se traduisant par une activité photosynthétique intense.

II.2.1.3 Le pH [13]:

Il s'agit évidemment d'un paramètre fondamental de caractérisation des eaux résiduaires. Le potentiel hydrogène, plus connu sous le nom de "pH" permet de mesurer l'acidité ou la basicité d'une solution. Le pH de l'eau pure à 25°C, qui est égal à 7, a été choisi comme valeur de référence d'un milieu neutre, Il est représenté par une expression logarithmique, c'est donc dire que la concentration en H^+ , à pH 6,0 est 10 fois plus grande que celle à pH 7,0 et 100 fois plus grande que celle à pH 8,0. Plus la concentration en ion hydrogène est élevée, plus le pH est bas et plus c'est acide.

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.

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.

Habituellement, les valeurs du pH se situent entre 6 et 8,5 dans les eaux naturelles Il diminue en présence des teneurs élevées en matière organique et augmente en période d'étiage.

II.2.1.4 La conductivité:

La conductivité électrique est probablement l'une des plus simples et des plus importantes pour le contrôle de la qualité des eaux usées. Elle traduit le degré de minéralisation globale, Cette grandeur est liée à la présence d'ions et de sels minéraux dissous dans l'eau.

D'autre part c'est une expression numérique de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique mesurée en millisiemens par centimètre. La plupart des sels minéraux sont de bons conducteurs alors que les composés organiques ne le sont pas du tout.

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.

L'échelle de solutions aqueuses commence avec l'eau pure d'une conductivité de 0,05 $\mu S/cm$ (25 °C). Les eaux naturelles, comme l'eau potable ou les eaux de surface, se situent dans la plage de 100 à 1000 $\mu S/cm$ environ. En haut de l'échelle, on trouve certains acides et basiques (Figure II.1)

Chapitre II : Paramètres de pollution

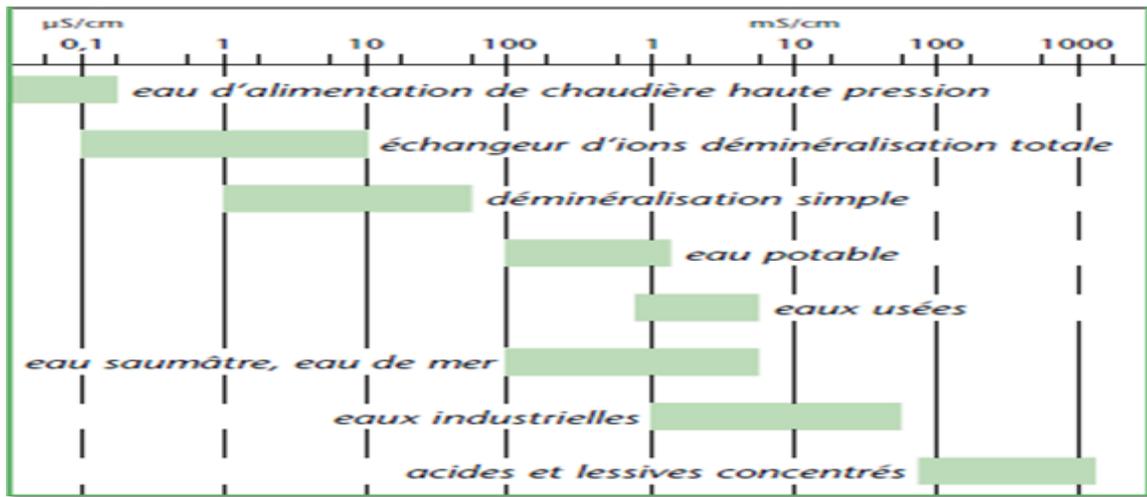


Figure II.1: Plage de conductivité de solution aqueuse [14]

Le tableau II.1 regroupe les méthodes de mesure des paramètres physico-chimiques de pollution ainsi que la norme associée à chaque paramètre.

Tableau II.1: Normes internationales de mesure et de rejet sur les paramètres physico-chimiques de la pollution de l'eau (Source OMS)

Paramètre	Norme et méthode de mesure	Norme de rejet
Température	Détermination au moyen de trois appareillages: oxymètre, conductimètre, et pH-mètre. La valeur prise étant la moyenne des trois températures mesurées. [8] NF EN 25667 (ISO 5667)	♣ 30°C: valeur limite de rejet direct dans le milieu récepteur [OMS et JORA1993] ♣ 35°C: valeur limite indicative pour les eaux destinées à l'irrigation [15]
Oxygène dissous	La détermination de l'oxygène peut être réalisée soit: - Par titrage (méthode Winkler 1888) - Grâce à une électrode sensible à l'oxygène dissous. AFNOR NF EN 25813 et AFNOR NE EN 25814	
pH	La mesure du pH peut être réalisée par - pH-mètre - procédé électro métrique à l'électrode de verre. AFNOR NF T 90-008	6.5 < PH < 8.5 [OMS]
Conductivité	Détermination par conductimètre : basée sur une mesure électrochimique de résistance. AFNOR EN 27888	Conductivité < 2700 µS/cm [OMS]

II.2.2. Les paramètres de la pollution particulaire:

II.2.2.1 Matière en suspension (MES) [13]:

Les matières en suspension comprennent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau, ces particules minérales ou organiques sont présentes dans les eaux naturelles ou polluées. Elles sont exprimées en mg/l.

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 les colloïdes. 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 leurs 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...).

II.2.2.2 Matières volatiles sèches (MVS)[12]:

C'est la fraction organique de MES. On les dit «volatiles » car elles sont mesurées en volatilisant les MES dans un four. La mesure des MVS permet de distinguer la partie organique de MES de la partie minérale. Les MVS ne représentent que les particules de biomasse, vivante ou morte, ainsi que certaines particules organiques n'intervenant pas dans le processus de dépollution.

- La biomasse en suspension des boues activées pouvant facilement être estimée par une mesure de matières volatiles en suspension.
- Le volume du bassin d'aération nécessaire au traitement d'une masse journalière de DBO_5 peut ainsi être calculé en fixant la valeur de la charge massique et la concentration de MVS dans le bassin d'aération.

II.2.2.3 La turbidité [15]:

C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes (MES). Elle donne une première indication sur la teneur en matières colloïdales d'origine minérale ou organique.

Chapitre II : Paramètres de pollution

Le tableau II.2 regroupe les méthodes de mesure des paramètres de la pollution particulaire ainsi que la norme associée à chaque paramètre.

Tableau II.2: Normes internationales de mesure et de rejet sur les paramètres de la pollution particulaire de l'eau (Source OMS)

Paramètre	Norme et méthode de mesure	Norme de rejet
MES	Il existe deux méthodes normalisées d'analyse de MES : - la méthode par filtration sur filtre en fibres de verre (NF EN 872) - la méthode par centrifugation (NF T 90-105-2).	MES < 20 mg/l [OMS]
MVS	-Calcination des matières organiques dans un four à moufle à 550 °C. La différence de masse, exprimée en mg.L-1, entre les MES et les matières résiduelles (minérales) représente les MVS.[2] AFNOR NF T 90-105	
La turbidité	-Mesure de la réduction de l'intensité lumineuse d'un rayon traversant un liquide contenant des matières en suspension. [16] (NF EN ISO 7027)	Turbidité: < 5 NTU

II.2.3 Les paramètres de la pollution organique globale:

Le contenu d'une eau en matières oxydables responsables de son appauvrissement en dioxygène dissous peut être évalué en mesurant la quantité de dioxygène nécessaire pour les dégrader. On utilise pour cela deux paramètres différents, la demande chimique en oxygène ou DCO qui donne une mesure de la quantité totale de matières réduites dans l'eau qu'elles soient biodégradables ou non, et la demande biologique ou DBO₅ qui donne une mesure des matières polluantes biodégradables.

II.2.3.1 La demande chimique en oxygène (DCO)[17] :

La DCO permet d'évaluer la concentration en matières organiques ou minérales, dissoutes dans l'eau, au travers de la quantité d'oxygène nécessaire à leur oxydation chimique totale.

La DCO est utilisée pour qualifier les eaux usées qui ne sont pas biodégradables, ou qui renferment des composants qui freinent l'activité des micro-organismes. Il s'agit donc d'un paramètre important permettant de caractériser la pollution globale d'une eau par des composés organiques.

La valeur de la DCO est toujours plus élevée que celle de la DBO₅, car de nombreuses substances organiques peuvent être oxydées chimiquement mais ne peuvent s'oxyder biologiquement.

La méthode normalisée de mesure est appelée "détermination de la demande chimique en oxygène" : On définit la demande chimique en oxygène comme la concentration d'oxygène, exprimée en mg/l, équivalente à la quantité de dichromate (oxydant) consommé par les matières dissoutes et en suspension lorsqu'on réalise une oxydation à chaud pendant 2 h, en milieu acide, en présence d'un excès d'oxydant (bichromate de potassium).

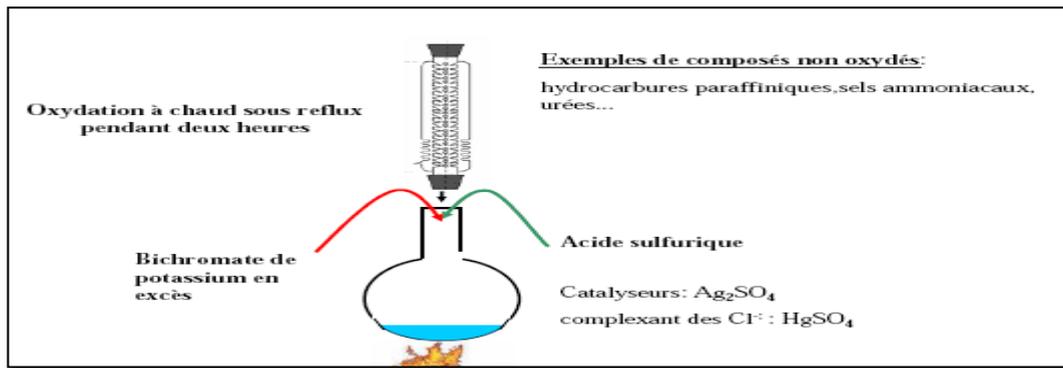


Figure II.2: Mesure de la DCO [16]

II.2.3.2 La demande biochimique en oxygène DBO (DBO₅) [18 à 20] :

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)

- Ce paramètre constitue un bon indicateur de la teneur en matières organiques biodégradables d'une eau (toute matière organique biodégradable polluante entraîne une consommation de l'oxygène)
- Elle donne une indication indirecte de l'activité bactérienne.
- La DBO₅ permet de mesurer la qualité d'une eau (eaux superficielles: rivières, lacs, eaux usées: stations d'épuration, rejets industriels...)
 - ✓ Une eau potable a une DBO₅ quasi nulle,
 - ✓ une eau courante propre de rivière est très peu chargée, quelques mg/l,
 - ✓ Les eaux résiduaires domestiques sont assez constantes autour de 300 mg/l sauf accidents, pluies, etc ou activités industrielles fluctuantes.
- Elle permet de connaître l'impact du rejet dans le milieu récepteur (une désoxygénation du milieu provoque une mortalité piscicole).

Le principe de mesure de la DBO₅ consiste à mesurer la quantité d'oxygène à apporter par litre d'effluent pour dégrader par voie biochimique la pollution initiale. La réaction se déroule pendant 5 jours à 20 °C (température favorable à l'activité des micro-organismes consommateurs d'O₂) et à l'obscurité (afin d'éviter toute photosynthèse parasite), on parle alors de la DBO₅ exprimée en (mg/l). Cette valeur donne accès à la partie rapidement biodégradable de la matière organique carbonée. En continuant la mesure au-delà de 5 jours, la partie lentement biodégradable de la matière organique carbonée va être prise en compte à son tour (Figure II.3). On considère que la mesure obtenue au 21^{ème} jour prend en compte la totalité de la pollution présente dans l'échantillon (DBO ultime).

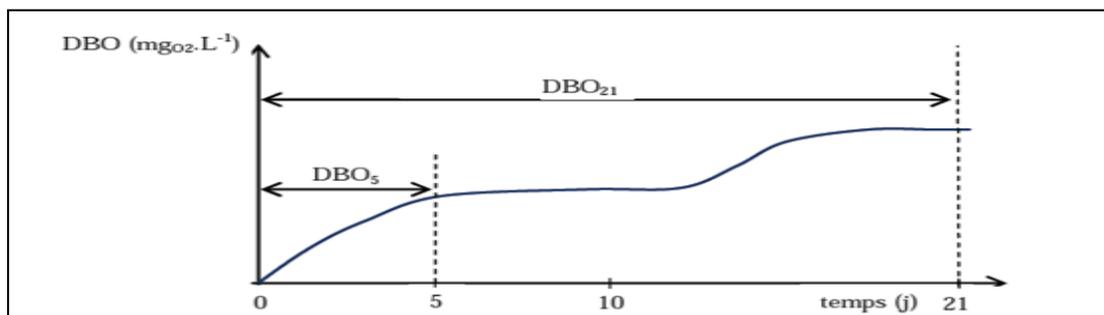


Figure II.3: Evolution temporelle de la DBO [19]

Chapitre II : Paramètres de pollution

La relation empirique de la matière organique (MO) en fonction de la DBO₅ et la DCO est donnée par l'équation suivante :

$$MO = (2 * DBO5 + DCO)/3$$

II.2.3.3 La Demande Totale en Oxygène DTO [6]:

La DTO est la quantité d'oxygène (exprimée en mg/l) nécessaire à la combustion totale en atmosphère oxydante d'un litre d'échantillon soumis à analyse. Dans la majorité des cas, la Demande Totale en Oxygène et la Demande Chimique en Oxygène sont très voisines (sauf si l'échantillon contient des ions tels que Cl⁻, SO₄⁻², NO₃⁻, NH₄⁺).

II.2.3.4 Le carbone organique total COT [6]:

Le COT représente, comme la DCO ou le DBO₅ (ou en combinaison avec ces derniers), un paramètre composite important dans la détermination de la contamination organiques des eaux.

La mesure du carbone organique total permet de donner une indication directe de la charge organique d'une eau. , il renseigne sur le type et l'origine des contaminations.

Les composés organiques sont d'une part les protéines, les lipides, les glucides et les substances humiques et d'autre part, les substances organiques carbonées élaborées ou utilisées par l'industrie chimique, pharmaceutique, pétrolière...etc.

Le tableau II.3 regroupe les méthodes de mesure des paramètres de la pollution organique globale ainsi que la norme associée à chaque paramètre.

Tableau II.3: Normes internationales de mesure et de rejets sur les paramètres de la pollution organique de l'eau (Source OMS)

Paramètre	Norme et méthode de mesure	Norme de rejet
DCO	-mesure par des DCO-mètres: l'analyse se fait généralement suivant la norme (NFT 90-101) et la mesure peut s'effectuer soit par titrimétrie, soit par colorimétrie	DCO<90mg/l [OMS]
DBO5	Les méthodes normalisées de mesure: - méthode par dilution et ensemencement avec apport d'allyle thio-urée (NF EN 1899-1) - méthode pour les échantillons non dilués (NF EN 1899-2). -méthode par mesure de la quantité d'oxygène consommée (NF-T-90-103) Les méthodes commerciales : [20] - mesure respirométrique ou manométrique, - mesure de la consommation d'oxygène	DBO5<30 mg/l [OMS]
COT	-Détection infrarouge du CO ₂ formé lors de la combustion d'un échantillon d'eau à 680 °C NF EN 13137	

II.2.4 Les paramètres de la pollution dissoute:

II.2.4.1 Les composés azotés: [9,16,19]

L'azote est l'un des éléments chimiques les plus abondants sur terre. Il se présente sous deux formes : l'azote organique (protéines, acides aminés,...) et l'azote minéral (azote moléculaire, ammonium, nitrites, nitrates, ...).

- **Origine:**

L'azote présent dans les eaux résiduaires urbaines provient essentiellement de l'urine : on considère un rejet moyen de 13 à 15 g d'azote par jour et par EH sous forme d'urée et d'acide urique. Lors du transport des effluents jusqu'à la station d'épuration, des réactions d'ammonification ont lieu, transformant cet azote organique en ammonium (NH_4^+), forme particulièrement nuisible pour les ressources d'eau de surface c'est pourquoi les stations d'épuration doivent prévoir l'élimination de la pollution azotée, qui consiste en la transformation de l'ammonium en nitrites, puis en nitrates.

- **Les différentes formes d'azote:**

- ❖ **Azote global ou total:**

Dans un effluent, on distingue au besoin les différentes formes suivantes de l'azote, dont la somme constitue l'azote global (NGL) ou azote total (N_{total})

Formes réduites:

- ◆ **Azote Kjeldahl (NTK) (norme NF-T-90-110) :**

L'azote Kjeldahl mesure l'azote organique (protéines, polypeptides, acides aminés, urée, hydrazine, etc.) et l'azote ammoniacal (N-NH_4^+ , norme NF-T-90-015)

C'est une valeur importante pour la protection du milieu aquatique car sa transformation détruit l'équilibre biologique à l'aval du rejet.

- ◆ **L'ammonium (NH_4^+):**

L'ammonium constitue le produit de la réduction finale des substances organiques azotées et de la matière inorganique dans les eaux et les sols. Il provient également de l'excrétion des organismes vivants et de la réduction et la biodégradation des déchets, sans négliger les apports d'origine domestique, industrielle et agricole. Cet élément existe en faible proportion inférieure à 0,1 mg/l d'azote ammoniacal dans les eaux naturelles. Dans les eaux superficielles, il provient de la matière organique azotée, et des échanges gazeux entre l'eau et l'atmosphère (Chapman et al. 1996). Il constitue ainsi un bon indicateur de la pollution des cours d'eau par les effluents urbains.

Formes oxydées :

Constituées d'azote nitreux (N-NO_2^-) (norme NF-T-90-013) et d'azote nitrique (N-NO_3^-) (norme NF-T-90-012).

Les nitrates constituent la forme azotée la plus dominante dans les cours d'eau et dans les nappes d'eau souterraine. Ils proviennent généralement de la décomposition de la matière organique par oxydation bactérienne des nitrites et constituent ainsi l'ultime produit de la nitrification. En milieu naturel, sa concentration dépasse rarement 0,45 mg/l. Des valeurs supérieures indiquent des rejets d'eaux usées dans les milieux aquatiques superficielles et

Chapitre II : Paramètres de pollution

souterraines, et surtout une utilisation excessive de fertilisants utilisés en agriculture, (Chapman et al. 1996).

- L'azote pouvant subir différentes transformations au cours d'un traitement biologique (passage de la forme ammoniacale à la forme nitreuse puis nitrique et retour à la forme gazeuse) et chacun des composés formés au cours de ces différentes étapes ayant un poids moléculaire différent, le suivi de son évolution au cours du traitement ne peut être effectué qu'à partir d'une base commune : le nombre de moles d'azote ou (ce qui revient au même) les masses d'azote mises en jeu. C'est la raison pour laquelle les charges et les concentrations de NH_4^+ , NO_2^- et NO_3^- sont exprimées en unités de N (d'où la formulation N-N...)

1,29 mg de NH_4^+	sont équivalents à	1 mg d'azote ammoniacal N- NH_4^+
3,29 mg de NO_2^-	sont équivalents à	1 mg d'azote nitreux N- NO_2^-
4,43 mg de NO_3^-	sont équivalents à	1 mg d'azote nitrique N- NO_3^-

II.2.4.2 Les composés phosphorés [20 et 21] :

Les composés phosphorés peuvent être d'origine naturelle mais leur présence dans les eaux sont plus souvent d'origine artificielle (engrais, détergents, lessives, produits chimiques, etc.).

Les composés phosphorés existent dans les eaux naturelles et les eaux usées sous différentes formes à savoir:

- ✓ Les orthophosphates: PO_4^{3-}
- ✓ Les polyphosphates: $(\text{PO}_4^{3-})_n$ ont tendance à s'hydrolyser en orthophosphates,
- ✓ Les organophosphorés: ATP, ADP, AMP, phospholipides.

La somme de ces diverses formes constitue le phosphore total (P_T)

Les composés phosphorés favorisent la croissance des végétaux dans l'eau et la prolifération des algues, étouffant les autres organismes vivant dans l'eau, générant des odeurs et contribuant au phénomène d'eutrophisation.

Le tableau II.4 regroupe les méthodes de mesure des paramètres de la pollution dissoute ainsi que la norme associée à chaque paramètre.

Chapitre II : Paramètres de pollution

Tableau II.4: Normes internationales de mesure et de rejets sur les paramètres de la pollution dissoute de l'eau (Source OMS)

Paramètre	Norme et méthode de mesure	Norme de rejet
Les composés azotés	-Méthode normalisée de mesure d'Azote Kjeldahl (N-NTK) AFNOR NF T	NTK < 6 mg/l
	-Méthode normalisée de mesure d'Azote ammoniacal (N-NH ₄ ⁺) AFNOR T 90-015-2 (2000)	NH ₄ ⁺ < 5 mg/l
	-Méthode normalisée de mesure des nitrites : NF EN 26777	NO ₂ ⁻ < 10 mg/l
	-Méthode normalisée de mesure des nitrates : NF EN ISO 13395, -Méthodes continues de mesure des nitrates : <ul style="list-style-type: none"> • méthodes colorimétriques, • méthode spectrophotométrique directe, • méthode par électrode à ion spécifique. 	NO ₃ ⁻ < 10 mg/l [OMS]
Les composés phosphorés	-Méthode de mesure normalisée du phosphore total : NF EN ISO 6878	P ₂ O ₅ < 1 mg/l P _T < 3 mg/l
	-Méthode commerciale : le phosphore total est dosé après minéralisation et en général par colorimétrie.	[OMS]
	-Méthode de mesure normalisée de l'Ortho-phosphates (P-PO ₄ ⁻³) NF EN 1189 (1997)	

II.2.5 Les paramètres toxiques:

II.2.5.1 Les Métaux lourds [22] :

Le suivi des concentrations des métaux lourds est particulièrement important vu leur toxicité et leur capacité de bioaccumulation le long de la chaîne alimentaire. Contrairement aux polluants organiques, les métaux ne peuvent pas être dégradés biologiquement ou chimiquement. Cependant, leur précipitation engendrerait leur mélange avec les boues décantées.

Les concentrations en cuivre, nickel, chrome, plomb, cadmium, mercure, zinc caractérisent certains types de pollution :

- ✓ La présence de cuivre et de nickel indiquent l'existence de rejets provenant d'industries de traitement de surface des métaux.
- ✓ Le chrome indique l'existence de rejets provenant d'une tannerie
- ✓ Le plomb est lié à des pollutions diffuses.
- ✓ Le zinc est évacué par des industries qui pratiquent la galvanisation ou la préparation d'alliages tels que le laiton et le bronze, il peut provenir également du contact entre les eaux de ruissellement et les matériaux galvanisés
- ✓ Le cadmium peut notamment être rejeté par des usines de galvanoplastie et d'industries chimiques, de textiles et de teintures.

Les métaux lourds se dissolvent très bien dans une eau acide (pH faible). Dans des eaux neutres ou basiques, ils précipitent et s'accumulent principalement dans la phase solide (boues). L'analyse de ces boues permet ainsi d'obtenir une vue de l'ensemble des déversements en métaux lourds qui ont eu lieu, tant en nature qu'en quantité.

Chapitre II : Paramètres de pollution

- **Mesure des métaux lourds:**

Il existe des méthodes normalisées pour certains métaux.

La majorité des métaux lourds peuvent être analysés :

- par absorption atomique
- par colorimétrie (cette méthode n'est pas encore normalisée mais elle peut être utilisée par l'entreprise dans le cadre de l'auto surveillance).

- **Normes internationales de rejet des métaux lourds dans les eaux usées:**

Les concentrations limites ont été fixées par l'OMS (Tableau II.5):

Tableau II.5: Normes internationales de rejets sur les métaux lourds (Source OMS)

Métal	Concentration (mg/l)	Métal	Concentration (mg/l)
Aluminium (Al)	5.0	Lead (Pb)	5.0
Arsenic (As)	0.1	Lithium (Li)	2.5
Beryllium (Be)	0.1	Manganèse(Mn)	0.2
Boron(B)	0.75	Molybdenum (Mo)	0.01
Cadmium (Cd)	0.01	Nickel (Ni)	0.2
Chromium III (Cr)	0.1	Selenium (Se)	0.02
Cobalt (Co)	0.05	Vanadium (V)	2.0
Copper (Cu)	0.2	Zinc (Zn)	0.005
Iron (Fe)	5.0		

II.2.5.2 Les tensioactifs [23]:

Ils ont la propriété d'abaisser la tension superficielle de l'eau et sont employés à cause de leur pouvoir mouillant et moussant. Si les tensio-actifs sont eux-mêmes relativement peu toxiques, leur impact environnemental est lié au fait que leur présence dans les eaux usées se caractérise principalement par des mousses abondantes qui peuvent perturber le fonctionnement des stations d'épuration, en effet la maîtrise du transfert d'oxygène dans les procédés d'épuration biologiques aérobies est déterminante pour la qualité et la fiabilité du traitement des eaux usées. Les stations d'épuration renferment des cultures bactériennes concentrées en suspension (boues activées) qui dégradent à grande échelle les substrats contenus dans les eaux usées en présence d'oxygène, apporté par des aérateurs. Or, les tensioactifs et les graisses limitent le transfert de l'oxygène dans les boues activées.

En présence des tensioactifs les capacités d'oxygénation des systèmes d'aération sont réduites de 40 à 70 % par rapport à l'eau claire.

II.2.5.3 Huiles et graisses [23]:

Quelle que soit leur origine, biologique ou industrielle, elles affectent les propriétés organoleptiques et en s'étalant à la surface de l'eau, créent un film superficiel souvent irisé, diminuant la capacité de ré-oxygénation du milieu. De ce fait, elles risquent de perturber le fonctionnement des stations d'épuration.

II.2.5.4 Les hydrocarbures [22]:

Ce terme fait la plupart du temps référence aux huiles minérales qui comportent des substances telles que les alcanes, les alcènes, etc. Outre leur toxicité, ces substances peuvent limiter l'apport d'oxygène dans les eaux de surface lorsqu'elles sont présentes en concentrations élevées. Ces polluants incluent également les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Chapitre II : Paramètres de pollution

ainsi que les hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM). Les HAP sont des combinaisons organiques résultant de l'assemblage de plusieurs noyaux benzéniques. Ces composés sont relativement stables et peu solubles dans l'eau. Ils s'adsorbent fortement aux sols et aux matières en suspension et sont, en outre, très solubles dans les graisses ce qui favorise leur bioaccumulation dans les tissus humains et animaux. Plusieurs HAP sont classés comme agents cancérigènes possibles par l'OMS. Les HAM incluent des polluants comme le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et le xylène dont les impacts sur la santé peuvent être très importants (diminution de la réponse immunitaire, effet neurotoxique, irritation des voies respiratoires...). Leur présence dans les rejets est liée principalement à l'activité humaine par voie atmosphérique à partir de fumées industrielles, gaz d'échappement, rabattues par les pluies ou volontairement par des rejets dans le réseau (station, service, processus de combustion ...).

Le tableau II.6 regroupe les méthodes de mesure des paramètres de la pollution toxique ainsi que la norme associée à chaque paramètre.

Tableau II.6: Normes internationales de mesure et de rejets sur les paramètres toxique de l'eau (Source OMS)

paramètre	Norme et méthode de mesure	Norme de rejet
Les tensioactifs	- Dosage des agents de surface anioniques par mesure de l'indice au bleu de méthylène (SABM NF EN 903) [18]	
Les hydrocarbures	- Mesure par la méthode de dosage des hydrocarbures totaux : <ul style="list-style-type: none">• Hydrocarbures Totaux: AFNOR T90-203• Halogénés: AFNOR EN ISO 10301• Aromatiques: AFNOR EN ISO 1568	HC < 20 mg/l [OMS]

II.2.6 Les paramètres microbiologiques [3]:

Plusieurs organismes font partie de l'étude de la microbiologie aquatique. Leur élimination doit être certaine. Ils concernent surtout les espèces tels que :

II.2.6.1: Les bactéries:

Les bactéries concernent surtout les coliformes totaux et fécaux. Leur présence dans l'eau peut signifier la proximité d'une décharge d'égouts sanitaires ou de contamination fécale.

- **Les coliformes totaux:** sont des bactéries utilisées comme indicateur de la qualité microbiologique de l'eau. Leur présence en excès dans l'eau, soit 10 coliformes par 100 ml et plus, annonce une contamination de l'eau potable.
- **Les coliformes fécaux:** sont des bactéries d'origine fécale qu'on retrouve dans le tube digestif des humains et des animaux. Leur présence dans l'eau peut avoir des conséquences graves sur la santé. Les personnes les plus susceptibles d'être affectées sont les enfants de moins de 5 ans. Pour les coliformes fécaux au Canada la norme de rejet fixe une valeur de 400 par 100 ml (après désinfection).

II.2.6.2: Les virus:

Les virus se retrouvent dans l'eau par contamination directe ou indirecte des humains ou des animaux. On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines de 10^3 à 10^4 particules

Chapitre II : Paramètres de pollution

par litre. Parmi les virus les plus importants, il faut citer les genres entérovirus, rotavirus, adénovirus et le virus de l'Hépatite qui ont une durée de vie d'environ 3 mois et constituent une importante source de contamination.

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 (Degremont, 1989).

II.2.6.3 Les parasites:

Ces organismes peuvent survivre entre une vingtaine de jours et une dizaine de mois, les plus connus sont ténia et giardia lambia.

II.3 Notion d'équivalent habitant [24] :

Les charges domestiques spécifiques, plus classiquement connues sous le terme d'équivalent-habitant expriment la charge polluante moyenne engendrée par un habitant et par jour (soit la charge polluante contenue dans 150 litres d'eaux usées). On les mesure généralement en sortie de réseau d'assainissement, c'est-à-dire à l'entrée de la station d'épuration, elles présentent malheureusement une forte variabilité. Cette variabilité résulte vraisemblablement des effets cumulés d'une transformation biochimique plus ou moins poussée des eaux usées au cours de leur acheminement dans les réseaux (différant par leur pente, leur taille, température, etc...), et d'apports non domestiques plus ou moins bien contrôlés.

Son utilisation se justifie par le fait qu'il est extrêmement difficile d'évaluer la pollution produite car elle dépend de nombreux paramètres liés aux activités diverses et variées qui peuvent exister. C'est pourquoi, face à ce manque d'homogénéité, on travaille sur des valeurs unitaires de production correspondant à un rejet standard d'un équivalent habitant.

Le tableau II.7 donne les valeurs de quelques paramètres de pollution relative à un équivalent-habitant en France.

Tableau II.7: Quelques paramètres de pollution relative à 1eq.h en France

Paramètres	Valeur
Débit	80 à 25 l/j (A boucler avec la consommation AEP avec 20 à 30% de pertes dans le réseau)
DBO ₅	60 g
DCO	130-145 g
MO	57 g
MES	55-70 g 55 g en réseau séparatif 60-70 g en réseau unitaire
NTK	15 g
P _T	3- 4 g
Lipides	15-20 g
Equitox	0,2 de matière inhibitrices
Métox	0,23
Aox	0,05 g (composés organohalogénés sur charbon actif)

Avec: $MO = [2 * DBO_{5AD2} + DCO_{AD2}] / 3$

✓ DBO_{5AD2} : DBO₅ mesurée après décantation de 2h

- ✓ DCO_{AD2} : DCO mesurée après décantation de 2h

II.4 Conclusion:

La connaissance des paramètres de pollutions de l'eau est primordiale pour l'évaluation de sa qualité car elle permet :

- ❖ La recherche de pollution spécifique sur les réseaux d'eaux usées ou d'eaux pluviales
- ❖ Le contrôle des rejets afin de vérifier leurs conformités par rapport aux normes.
- ❖ Données de base pour le calcul des ratios qui sont des paramètres pertinents permettant de juger le fonctionnement des stations d'épuration et l'efficacité du procédé d'épuration.

Ces ratios nommés aussi indicateurs de performance font l'objet du prochain chapitre.

Chapitre III:

Indicateurs de performances

Entre l'égalité de tous sur la ligne de départ et les performances de chacun à l'arrivée, le travail fait de l'individu le seul responsable de son propre parcours.

[Christine Lagarde]

III.1 Introduction:

Aujourd'hui, les objectifs des stations d'épuration sont devenus plus qualitatifs : améliorer la qualité de l'eau, perfectionner le fonctionnement des stations d'épuration, minimiser la consommation énergétique lors du traitement.

Afin de réaliser ces objectifs, il faut optimiser le fonctionnement des différents équipements des stations d'épuration, ce qui implique une parfaite connaissance des interactions mises en jeu. Celles-ci sont complexes et nécessitent de s'appuyer sur des calculs, voire des techniques de modélisation sophistiquées. Aujourd'hui, il est devenu nécessaire pour les gestionnaires des STEP de disposer de nouveaux outils pour améliorer la maîtrise sur leur services et garantir les objectifs qualitatifs fixés. Des indicateurs pour mesurer la performance des services peuvent répondre à cette préoccupation.

En effet plusieurs stations d'épuration des eaux usées à travers le monde ont mis en place des indicateurs de performance afin d'optimiser leur fonctionnement.

Dans ce chapitre nous allons présenter quelques indicateurs de performances, et par suite associer à chaque indicateur des causes de variations ainsi que des consignes de fonctionnement.

III.2 Intérêts des indicateurs de performances:

Les indicateurs de performance sont des paramètres qui permettent de suivre dans le temps les résultats du service de l'eau. Ils peuvent être assortis d'objectifs de résultats à atteindre exprimés de façon chiffrée et synthétique.

♣ Des indicateurs de performance : pour quoi faire?

✓ Un outil de pilotage et d'évaluation:

Les indicateurs permettent à la station d'épuration d'en suivre les évolutions et de préciser des objectifs à atteindre : si ceux-ci ne le sont pas, l'analyse des résultats permet de comprendre pourquoi et d'y remédier.

✓ Un outil d'incitation à l'amélioration:

Les indicateurs de performance permettent de suivre les évolutions des services d'eau et de les comparer avec celles des autres collectivités. Ils constituent en cela des outils d'incitation à l'amélioration des STEP.

♣ Les indicateurs de performance : comment ? Quels intérêts ?

Les indicateurs de performance sont des paramètres qui permettent d'une part de suivre de manière détaillée dans le temps les différents résultats de la station d'épuration, apportant, d'autre part, une vision globale de son fonctionnement.

Les indicateurs apportent aux responsables de services des éléments simples de comparaison et de suivi des évolutions. Ils visent une mesure du résultat. Leur construction est simple et n'induit pas de dépenses supplémentaires importantes pour la STEP.

L'interprétation des résultats doit être faite avec précaution : les indicateurs ne doivent pas être interprétés de façon séparée mais dans une approche globale du service.

III.3 Indicateurs de performance : Consignes de fonctionnement et causes de variation:

✚ III. 3. 1 Rapport DCO/DBO₅ [25 et 26] :

Le rapport DCO/DBO₅ a une importance pour la définition de la chaîne 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.

✚ III.3.2 Rapport DBO₅ / N-NH₄⁺ /P-PO₄³⁻ [27]:

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.

✚ III.3.3 Rapport MES/DBO₅ [28 à 30]:

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, des valeurs importantes pour ce rapport sont observées suite à des événements pluvieux importants.

✚ III.3.4 Rapport MVS/MES [15 et 31] :

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:

- ◆ La production de boues biologiques en excès,
- ◆ La qualité mécanique des boues activées (définie par son IM ou IB),
- ◆ Le taux de MVS dans le réacteur biologique,

✚ III.3.5 Rapport DCO/P_T et DBO₅/P_T [31 à 33] :

Le rapport DCO/P_T 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.

✚ III.3.6 Rapport NH₄⁺/NTK [34] :

Le rapport NH₄⁺/NTK est 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 ammonium (NH₄⁺).

✚ III.3.7 Rapport DCO/NTK [9 et 34] :

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.

✚ III.3.8 Rapport NTK/DBO₅ [9] :

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 donc le taux de nitrification sera important, 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.

✚ III.3.9 Rapport DBO₅/N à dénitrifier [9 et 35] :

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.

✚ III.3.10 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 boues 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.

✚ III.3.11 Rapport MS (extraites)/DCO [31] :

Ce ratio indique le taux d'extraction des boues:

Des valeurs faibles de ce rapport peuvent indiquer un problème au niveau du poste de déshydratation des boues.

✚ III.3.12 Rapport Polymère /MS (déshydratées)[31] :

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.

Le tableau III.1 donne quelques indicateurs de performances, la limite de variation pour un effluent urbain ainsi que la signification et l'intérêt du ratio.

Chapitre III : Indicateurs de performances

Tableau III.1: Quelques ratios: limites de variation et signification

Ratio	Effluent urbain strict	Signification
DCO/DBO₅	2,2 -2,4	Evaluation de la biodégradabilité de la matière organique: <ul style="list-style-type: none"> ♣ DCO/DBO₅<2: facilement biodégradable ♣ DCO/DBO₅= [2-3]:biodégradable (à dominante domestique) ♣ DCO/DBO₅>3: non biodégradable
DBO₅ / N-NH₄⁺ /P-PO₄³⁻ (C/N/P)	(100/5/1)	Exprime l'équilibre nutritionnel
MES/DBO₅	0.69 -2.93	<ul style="list-style-type: none"> ♣ Indiquera la nature de la pollution ♣ Influencera la production de boues.
MVS/MES	0.65-0.75	Indiquera l'organicité de l'effluent et les possibilités de son traitement.
DCO/P_T	44-50	DCO/P_T > 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
DCO/NTK	8,8-12	<ul style="list-style-type: none"> ♣ Influencera le taux d'abattement de l'azote.
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
Ratio	Effluent urbain strict	
DBO₅/N à dénitrifier	Indiquera les possibilités et la faisabilité de la réaction de dénitrification. <ul style="list-style-type: none"> ♣ DBO₅/N à dénitrifier > 2 bonne dénitrification 	
Production des boues primaires /production des boues primaires théoriques	0,8	Efficacité de la décantation physique dans le décanteur primaire
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 (50/50): Polymère /MS = [6-8] ♣ Boues biologiques: Polymère /MS = [8-12] 	

III.4 Conclusion:

Les indicateurs de performance servent d'outils de pilotage et d'évaluation des services d'assainissement, ils permettent d'identifier les insuffisances et d'améliorer le rendement de différentes installations du traitement d'eau usées. Ils permettent ainsi le suivi dans le temps d'où une vision globale de fonctionnement des services public d'eau, ils apportent des éléments pertinents de comparaison et ceci sans dépenses supplémentaires.

Chapitre IV :

Traitement des eaux usées :

Techniques et procédés d'épuration.

*[Le meilleur traitement de l'eau consiste
en effet à ne pas la polluer!]*

IV.1 Introduction:

Les eaux usées, qu'elles soient d'origine domestique ou industrielle, sont collectées par un réseau d'assainissement complexe pour être traitées dans une station d'épuration avant d'être rejetées dans le milieu naturel. En station, les traitements varient en fonction de la nature de ces eaux usées et de la sensibilité à la pollution du milieu récepteur.

Aujourd'hui, les usines de traitement des eaux usées sont devenues des usines de dépollution, compactes, couvertes, désodorisées, automatisées. Elles mettent en œuvre des traitements de plus en plus performants, capables d'éliminer à la fois la pollution carbonnée, l'azote et le phosphore. Ces usines sont dimensionnées pour traiter une certaine charge de pollution et assurer un rejet conforme à l'arrêté préfectoral d'autorisation.

Dans ce chapitre nous allons tout d'abord présenter quelques points à prendre en compte dans le choix de la filière de traitement d'eaux usées, par la suite nous allons décrire les différents procédés et techniques d'épuration d'eaux usées, leurs avantages et leurs inconvénients ainsi que les paramètres influençant le rendement du traitement.

IV.2 La collecte des eaux usées : Réseau de collecte

Communément appelé «réseau d'égout», il permet de collecter les eaux usées à la sortie des habitations et les achemine vers la station d'épuration. Il existe deux systèmes de collecte des eaux usées:

-Un réseau unitaire: évacue dans une même canalisation les eaux usées domestiques et les eaux pluviales. Il cumule les avantages de l'économie (un seul réseau à construire et à gérer) et de la simplicité (toute erreur de branchement est exclue, par définition), mais nécessite de tenir compte des brutales variations de débit des eaux pluviales dans la conception et le dimensionnement des collecteurs et des ouvrages de traitement.

-Un réseau séparatif: permet la collecte des eaux domestiques dans un réseau et des eaux pluviales dans un autre. Ce système a l'avantage d'éviter (en théorie) le risque de débordement d'eaux usées dans le milieu naturel lorsqu'il pleut. Il permet de mieux maîtriser le flux et sa concentration en pollution et de mieux adapter la capacité des stations d'épuration.

IV.3 Traitement d'eau dans les stations d'épuration: Choix de la filière de traitement [36 et 37] :

En fonction des caractéristiques physico-chimiques des rejets et des objectifs de qualité à atteindre pour les effluents, une série de modules de traitement successifs bien choisis constitueront la filière retenue. En général quatre critères sont à signaler :

- ✓ Critères d'ordre technique,
- ✓ Critères d'ordre écologique,
- ✓ Critères relatifs à l'exploitation de la station d'épuration,
- ✓ Critères d'ordre économique.

Les différents procédés d'épuration sont classés selon :

- ✓ L'origine de la pollution
- ✓ La nature de la pollution (organique ou minérale)
- ✓ La forme de la pollution (soluble, colloïdale ou en suspension)

Dans la plus part des cas les différents types de pollution coexistent dans un rejet de composition très hétérogène.

Chapitre IV : Techniques et procédés d'épuration

Ci-dessous quelques points à prendre en compte dans le choix d'une filière de traitement:

- ☒ Eviter les dilutions,
- ☒ Ne pas mélanger des courants fortement et faiblement pollués,
- ☒ Ne pas mélanger des courants nécessitant des traitements différents,
- ☒ Enlever en tête ce qui peut être enlevé facilement,
- ☒ Pertinence dans l'ordre des étapes (inhibition, colmatage).

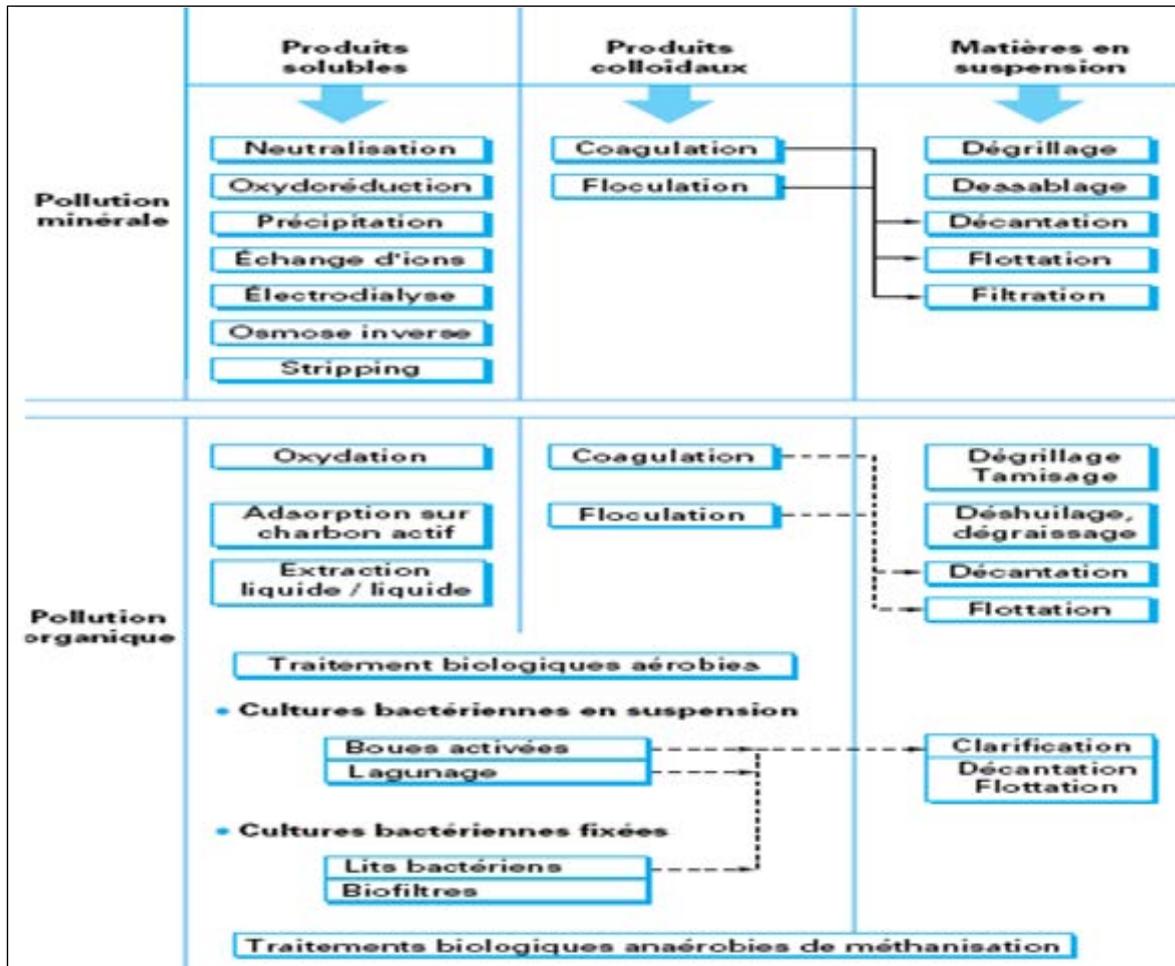


Figure IV.1: Les différents procédés de traitement selon la nature et la forme de la pollution [38]

IV.4 Procédés d'épuration des eaux usées (composantes d'un traitement):

- *Comment fonctionne une station d'épuration des eaux usées?*

De l'entrée de la station jusqu'au rejet dans le milieu récepteur naturel, les différentes étapes du traitement des eaux usées sont les suivantes:

IV.4.1 Prétraitements et élimination des sous-produits [6, 20 et 21]:

Tout traitement de dépollution doit comporter ce qu'il est convenu d'appeler un « prétraitement » qui consiste en un certain nombre d'opérations mécaniques ou physiques destinées à extraire le maximum d'éléments dont la nature et la dimension constitueraient une gêne ultérieurement. Ces opérations sont : le dégrillage, le dessablage et le déshuilage.

IV.4.1.1 Le dégrillage :

A l'entrée de la station d'épuration, les effluents doivent subir un dégrillage. Ainsi, les matières volumineuses sont retenues au travers des grilles.

Pour le dimensionnement hydraulique, on se base sur la vitesse de passage à travers la grille, généralement ces vitesses sont de l'ordre de 0,6 m/s à 1,40 m/s.

IV.4.1.2 Le dessablage :

L'objectif essentiel du dessablage est de retenir les particules sédimentables afin de protéger les installations de l'aval.

Le dessableur est un ouvrage dans lequel les particules denses, dont la vitesse est supérieure à 0,3 m/s, vont pouvoir se déposer. Il s'agit principalement des sables. L'élimination des sables présents dans les effluents bruts est une opération indispensable pour :

- éviter les dépôts dans les canalisations conduisant à leur bouchage,
- protéger les pompes et autres organes mécaniques contre l'abrasion,
- éviter de perturber les autres stades du traitement (surtout au niveau du réacteur biologique),
- réduire la production des boues.

IV.4.1.3 Le dégraissage-déshuilage :

Les opérations de dégraissage et de déshuilage consistent en une séparation des huiles et graisses, produits de densité légèrement inférieure à celle de l'eau, de l'effluent brut.

- Les graisses sont des produits solides d'origine animale ou végétale. Elles sont présentes dans les eaux résiduaires urbaines et dans certaines eaux résiduaires industrielles, essentiellement agroalimentaires. Elles sont difficilement biodégradables et peuvent poser divers problèmes au cours du traitement : boues graisseuses, diminution des transferts d'oxygène, apparition de bactéries filamenteuses.

Ces graisses sont également très dommageables pour les équipements et notamment pour les pompes.

- Le dégraissage consiste à l'injection de fines bulles d'air dans le bassin de dégraissage, permettant de faire remonter rapidement les graisses en surface (les graisses sont hydrophobes). Leur élimination se fait ensuite par raclage de la surface.
- Les huiles sont des produits liquides : huiles végétales, huiles minérales, hydrocarbures légers.
- Le déshuilage est une opération de séparation liquide-liquide bien souvent réservée à l'élimination des huiles présentes dans les eaux résiduaires industrielles (raffineries de pétrole). La séparation des huiles se fait par absorption ou filtration.

IV.4.2 Les traitements primaires [21 et 39] :

Le traitement primaire élimine plus de la moitié des matières en suspension et constitue une pré-épuration non négligeable quoique insuffisante pour garantir la qualité du rejet en milieu naturel. Il fait appel à différents procédés physiques ou chimiques.

IV.4.2.1 Procédés de décantation physique:

La base de ces procédés de séparation solide-liquide est la pesanteur. On utilise le terme de décantation lorsque l'on désire clarifier une eau brute, si l'on veut obtenir une boue concentrée on parle alors de sédimentation.

Le dimensionnement des décanteurs est essentiellement fondé sur la vitesse de sédimentation des matières en suspension.

Il existe différents types de décanteurs primaires on peut citer :

- Les décanteurs longitudinaux, très peu répandus car très peu économiques (usure rapide, coût de construction élevé...),
- Les décanteurs circulaires, largement répandus du fait de leur faible coût de réalisation
- Les décanteurs lamellaires, qui sont de plus en plus utilisés, notamment dans les procédés d'épuration physico-chimiques. La décantation lamellaire consiste à multiplier la surface de décantation à l'intérieur d'un ouvrage, il en résulte un rendement épuratoire excellent.



Figure IV.2: *Décanteur primaire avec Pont racleur à entraînement périphérique [21]*

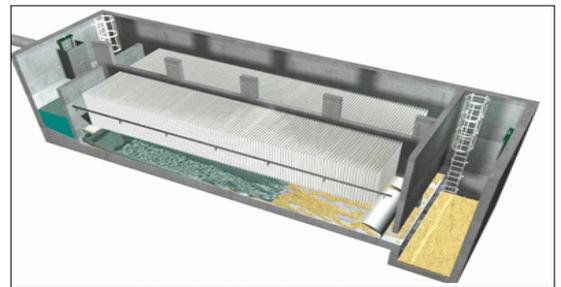


Figure IV.3 : *Décanteur lamellaire à recirculation de boues: la RPS [21]*

Ces procédés permettent d'éliminer, d'une part 50% à 60% des matières en suspension et d'autre part, de réduire leurs caractéristiques dimensionnelles (élimination des matières présentant une taille supérieure à 50 μ m).

IV.4.2.2 Procédés de décantation chimique:

Les procédés physico-chimiques de décantation consistent à alourdir les particules en suspension. Ils font appel aux techniques de coagulation ou de floculation-clarification.

Les processus de coagulation et de floculation sont employés pour séparer les solides en suspension de l'eau lorsque la vitesse de décantation naturelle est trop lente pour obtenir une clarification efficace.

Procédé de coagulation-floculation [21]:

- **Qu'est-ce que la coagulation-floculation?**

Le processus de coagulation implique d'ajouter du fer ou de l'aluminium à l'eau comme du sulfate d'aluminium, sulfate ferrique, chlorure ferrique. Ces produits chimiques s'appellent des coagulants et ont une charge positive. La charge positive du coagulant neutralise la charge négative des particules dissoutes et suspendues dans l'eau. Quand cette réaction se produit, les particules se lient ensemble ou se coagulent.

L'agglomération est accélérée par l'ajout d'un polymère, sorte de macromolécule à longue chaîne qui emprisonne les matières colloïdales agglomérées en flocons volumineux qui se déposent par gravité. C'est le floc. Cette étape est appelée "floculation".

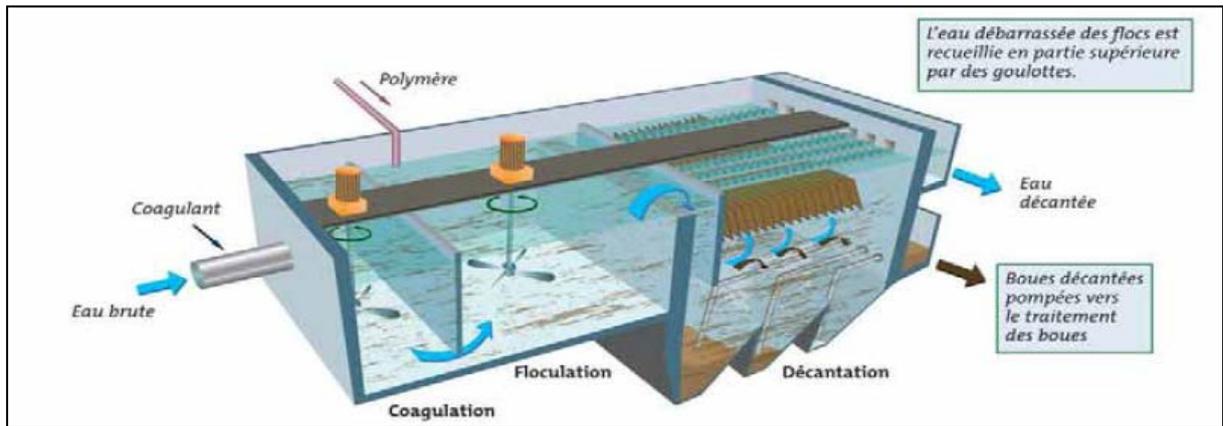


Figure IV.4: Schéma d'une coagulation-floculation suivie d'une décantation lamellaire

- **Qu'est-ce qui est enlevé durant la coagulation-floculation?** La coagulation-floculation, suivie d'une décantation permet d'éliminer jusqu'à 90% de MES et de 40 à 65% de la DBO₅ des effluents résiduels urbains.

Dans un rapport international édité en 1998, on a constaté que la coagulation et la sédimentation peut enlever entre 27 et 84% des virus et entre 32 et 87% des bactéries.

IV.4.3 Traitement secondaire : Élimination de la pollution organique :

Les traitements secondaires recouvrent les techniques d'élimination des matières polluantes solubles. Il existe un grand nombre de procédés de traitements des eaux usées, dont l'application dépend à la fois des caractéristiques des eaux usées à traiter, et de degré d'épuration désiré.

Le rapport DCO/DBO₅ donne une estimation de la biodégradabilité des matières présentes dans l'eau usée.

- Si $DCO/DBO_5 < 2.5$: L'effluent est excellent pour le traitement biologique.
- Si $DCO/DBO_5 > 2.5$: Le traitement biologique est impossible, on doit procéder à un traitement physico-chimique.

IV.4.3.1 Traitement physico-chimique [21] :

L'épuration chimique, coûteuse et difficile à réaliser, s'applique plutôt aux eaux résiduaires industrielles ou aux eaux usées contenant des résidus d'usine susceptibles d'entraver des processus biologiques.

Les rendements épuratoires sont excellents, car l'élimination des MES se situe entre 80% et 95%, celle des matières organiques entre 65% et 75%. Par ailleurs, ce type d'installation possède un temps de réponse extrêmement court (1 heure contre 12 à 14 heures pour une installation biologique). Néanmoins, ce type de procédé entraîne une surproduction de boues, de 15 à 25% en plus, ainsi qu'une mauvaise élimination des matières organiques, en particulier de la pollution soluble.

Parmi les procédés de traitement physico-chimique on peut citer l'osmose inverse.

- **Osmose inverse [40] :**

L'osmose inverse est le procédé par lequel l'eau passe au travers d'une **membrane ultra fine, semi-perméable** (schéma ci-dessus), qui élimine non seulement les particules, mais aussi un pourcentage extrêmement élevé de contaminants dissous dans l'eau, molécule par molécule. En effet, cette membrane n'est perméable qu'aux molécules les plus fines, c'est à dire H_2O . Le procédé est dit « inverse » car il nécessite une pression suffisante pour « forcer » l'eau pure à passer à travers la membrane.

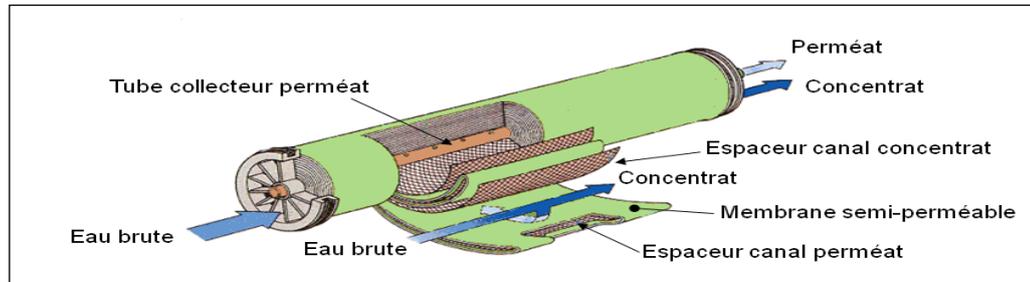


Figure V.5 : Schéma du principe de l'osmose inverse [40]

IV.4.3.2 Traitement biologique:

Le traitement biologique est utilisé pour détruire les composés organiques contenues dans l'eau, On distingue deux types de traitements:

- ❖ Traitement aérobic : l'eau est aérée avec l'air comprimé (ou de l'oxygène).
- ❖ Traitement anaérobic : Les systèmes anaérobies fonctionnent en l'absence d'oxygène.

IV.4.3.2.1 Procédés biologiques naturels [41 et 42] :

Les systèmes naturels d'épuration sont des procédés qui existent dans la nature et qui sont reproduits techniquement pour l'épuration des eaux usées.

Ces procédés naturels réalisent l'épuration par le sol, où grâce à l'énergie solaire, les matières organiques polluantes (biomasse du milieu « eau ») sont dégradées. En pratique, ils se présentent sous trois aspects et peuvent servir de traitements complémentaires des effluents d'une station d'épuration biologique artificielle, afin de parfaire l'élimination de substances indésirables comme l'azote et le phosphore. Ils comprennent l'épandage sur le sol, le bassin de lagunage et la filtration par le sol.

- **Définition :**

Le lagunage ou phytoépuration, est une technique naturelle d'épuration des eaux basée sur la déséutrophisation. Il s'inspire des systèmes naturels d'épuration et filtration par des micro-organismes, des algues et des plantes aquatiques.

- **Principe :**

Le lagunage consiste à établir un écoulement lent par gravité des eaux usées dans plusieurs bassins de rétention peu profonds dont le sol des bassins doit être étanche et disposer d'un massif filtrant

Le premier bassin est la lagune à microphytes où l'on trouve les bactéries et les algues microscopiques. La minéralisation de la matière organique soluble en suspension est assurée par

Chapitre IV : Techniques et procédés d'épuration

les bactéries aérobies, elles la transforment en eau, gaz carbonique, nitrates et phosphates. La matière organique sédimentant au fond des bassins (décantation) est dégradée par les bactéries anaérobies selon le processus de fermentation anaérobie produisant la minéralisation des boues et des dégagements gazeux (azoté) fixés pour certains par les algues. Les eaux restent environ 50 jours dans le bassin à microphytes.

Les lagunes à macrophytes constituent le plus souvent le deuxième et le troisième bassin. Il y vit en plus des algues macroscopiques et des plantes aquatiques capables d'absorber des substances inorganiques notamment les formes minérales de l'azote et du phosphore, l'ammonium, le nitrate, l'ortho-phosphate et de les mettre en valeur. Les eaux restent environ 40 jours dans ce type de lagune. A la fin de cette étape les eaux sont aptes à être rejetées dans le milieu naturel.

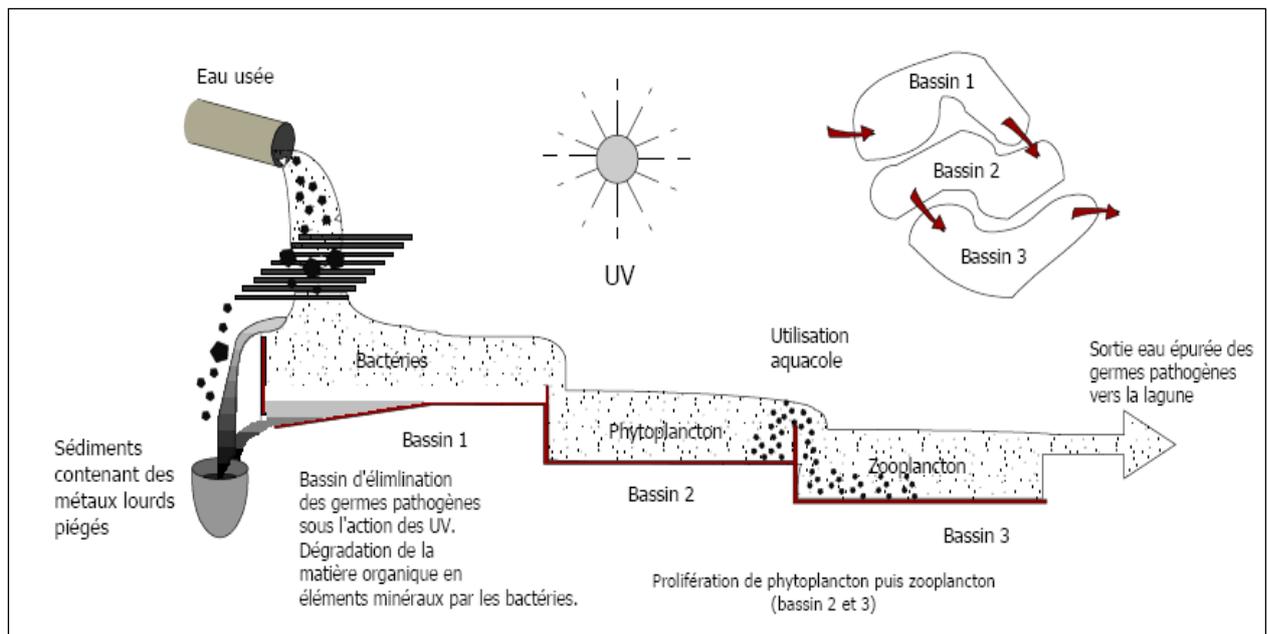


Figure IV.6: *Le lagunage naturel* [41]

Le lagunage naturel: Avantages et inconvénients :

- **Les Avantages :**
 - Faible coût d'exploitation,
 - Bonne intégration paysagère,
 - Système respectueux de l'environnement,
 - Bonne élimination des pathogènes, de l'azote et du phosphore,
 - Faible technicité requise pour l'exploitant, surveillance régulière mais uniquement hebdomadaire du fait de la rusticité du système.
- **Les Inconvénients :**
 - Forte emprise au sol limitant l'installation aux grandes communes,
 - Matière en suspension importante en rejet (organismes planctoniques),
 - Variations saisonnières de la qualité d'eau de sortie,
 - En cas de mauvais fonctionnement ou de mauvais entretien : risque d'odeurs, de développement d'insectes (moustiques).

IV.4.3.2 Procédés biologiques artificiels [37] :

Il existe deux types de procédés: les procédés intensifs et les procédés extensifs.

A. Procédés intensifs:

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

Trois grands types de procédés sont utilisés :

- ◆ les lits bactériens et disques biologiques,
- ◆ les boues activées,
- ◆ les techniques de biofiltration ou filtration biologique accélérée.

A.1 Lits bactériens :

Le principe de fonctionnement d'un lit bactérien, quelquefois appelé « filtre bactérien » ou « filtre percolateur », 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.

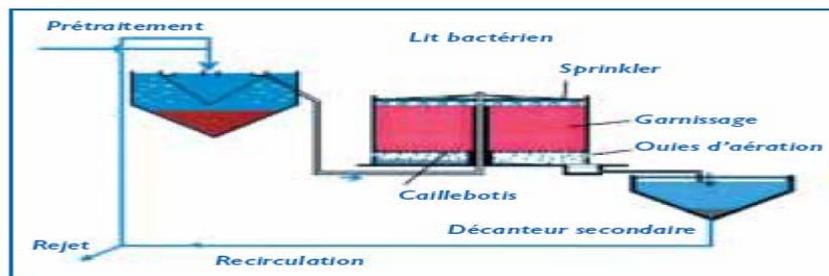


Figure IV.7 :Synoptique d'une station d'épuration comportant un lit bactérien[37]

A.2 Disques biologiques:

Cette 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.

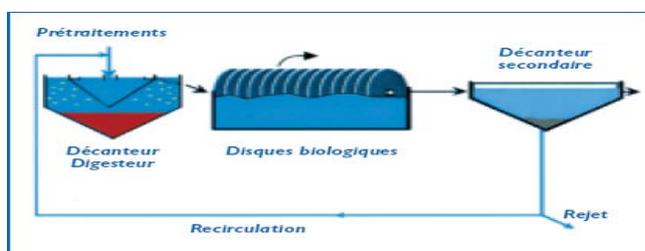


Figure IV.8 : Synoptique d'une station d'épuration comportant un disque biologique [37]

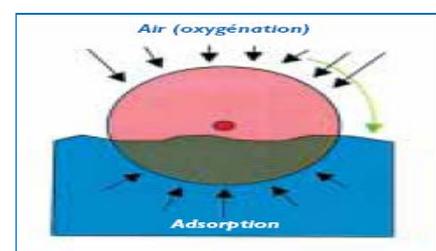


Figure IV.9 : Schéma de principe d'un disque biologique [37]

A.3 Boues activées (culture libre)[42] :

Les boues activées sont des systèmes qui fonctionnent biologiquement, qui consistent à mettre en contact l'eau à traiter composée de matière organique, azotée et phosphorée avec des bactéries (flocs bactériens) en présence d'oxygène.

Une station d'épuration par boues activées se compose toujours :

- D'un bassin d'aération dans lequel l'eau à traiter est mise en contact avec la biomasse épuratrice maintenue agitée par aération associée ou non à un agitateur.
- D'un dispositif de fourniture d'oxygène à la biomasse présente dans ce réacteur.
- D'un dispositif de brassage du bassin d'aération
- D'un clarificateur dans lequel s'effectue la séparation de l'eau épurée et de la culture bactérienne formée.
- D'une recirculation des boues récupérées en fond du clarificateur vers le bassin d'aération. Elle permet de maintenir dans le bassin d'aération la quantité nécessaire de microorganismes pour assurer le niveau d'épuration recherché.
- D'un dispositif d'extraction, de traitement (diminution des volumes) puis d'évacuation de l'excès de boues produites

♣ Caractéristiques du procédé:

Différents paramètres permettent de définir le fonctionnement d'une boue activée :

- la charge volumique C_v qui correspond à la quantité journalière de DBO_5 (en kg/j) à dégrader dans le volume V (m^3) de l'ouvrage. Elle s'exprime en $kg\ DBO_5 / (j\ m^3)$.
- la charge massique C_m qui est la quantité de DBO_5 (en kg/j) rapportée à la masse de matières en suspension totales contenues dans l'ouvrage de volume V . Elle s'exprime en $kg\ DBO_5 / (kg\ MEST\ j)$, la charge massique est parfois rapportée à la masse, de microorganismes ou pratiquement de matières volatiles sèches (MVS) contenues dans l'ouvrage. Elle s'exprime alors en $kg\ DBO_5 / (j\ kg\ MVS)$.
- l'âge des boues qui est le rapport entre la masse de boues présentes dans le réacteur et la masse journalière de boues extraites. Il s'exprime en jours.

A.4 Précédés intensifs: Avantages et inconvénients [37]:

Le tableau IV.1 résume les avantages et les inconvénients des différents procédés intensifs.

Tableau IV.1: Les avantages et les inconvénients des procédés intensifs [37]

Filière	Avantages	Inconvénients
Lit bactérien et disque biologique	<ul style="list-style-type: none"> • faible consommation d'énergie ; • fonctionnement simple demandant moins d'entretien et de contrôle que la technique des boues activées ; • bonne décantabilité des boues ; • plus faible sensibilité aux variations de charge et aux toxiques que les boues activées ; • généralement adaptés pour les petites collectivités ; • résistance au froid (les disques sont toujours protégés par des capots ou par un petit bâtiment). 	<ul style="list-style-type: none"> • performances généralement plus faibles qu'une technique par boues activées. Cela tient en grande partie aux pratiques anciennes de conception. Un dimensionnement plus réaliste doit permettre d'atteindre des qualités d'eau traitée satisfaisantes ; • coûts d'investissement assez élevés (peuvent être supérieurs d'environ 20 % par rapport à une boue activée) ; • nécessité de prétraitements efficaces ; • sensibilité au colmatage ; • ouvrages de taille importante si des objectifs d'élimination de l'azote sont imposés.
Boue activée	<ul style="list-style-type: none"> • adaptée pour toute taille de collectivité (sauf les très petites) ; • bonne élimination de l'ensemble des paramètres de pollution (MES, DCO, DBO₅, N par nitrification et dénitrification) ; • adapté pour la protection de milieux récepteurs sensibles ; • boues (cf. glossaire) légèrement stabilisées ; • facilité de mise en œuvre d'une déphosphatation simultanée. 	<ul style="list-style-type: none"> • coûts d'investissement assez importants ; • consommation énergétique importante ; • nécessité de personnel qualifié et d'une surveillance régulière ; • sensibilité aux surcharges hydrauliques ; • décantabilité des boues pas toujours aisée à maîtriser ; • forte production de boues qu'il faut concentrer.

B. Procédés extensifs [37] :

Ces techniques se distinguent des techniques évoquées précédemment par le fait que les charges surfaciques appliquées restent très faibles. Elles réalisent l'épuration à l'aide de cultures fixées sur support fin ou encore à l'aide de cultures libres mais utilisant l'énergie solaire pour produire de l'oxygène par photosynthèse. Le fonctionnement de ce type d'installation sans électricité est possible, excepté pour le lagunage aéré pour lequel un apport d'énergie est nécessaire pour alimenter les aérateurs ou les matériels d'insufflation d'air.

Ces techniques peuvent être classées comme suit:

B.1 Cultures fixées :

Les deux principaux mécanismes sont :

- ❖ **Filtration superficielle** : les matières en suspension (MES) sont arrêtées à la surface du massif filtrant et, avec elles, une partie de la pollution organique (DCO particulaire).
- ❖ **Oxydation** : le milieu granulaire constitue un réacteur biologique, un support de grande surface spécifique, sur lequel se fixent et se développent les bactéries aérobies responsables de l'oxydation de la pollution dissoute (DCO dissoute, azote organique et ammoniacal).

On distingue ainsi plusieurs types de procédés à cultures fixes.

- **Infiltration-percolation:**

L'infiltration-percolation d'eaux usées est un procédé d'épuration par filtration biologique aérobie sur un milieu granulaire fin. L'eau à traiter est uniformément répartie à la surface du filtre qui n'est pas recouvert. La plage de distribution des eaux est maintenue à l'air libre et visible.

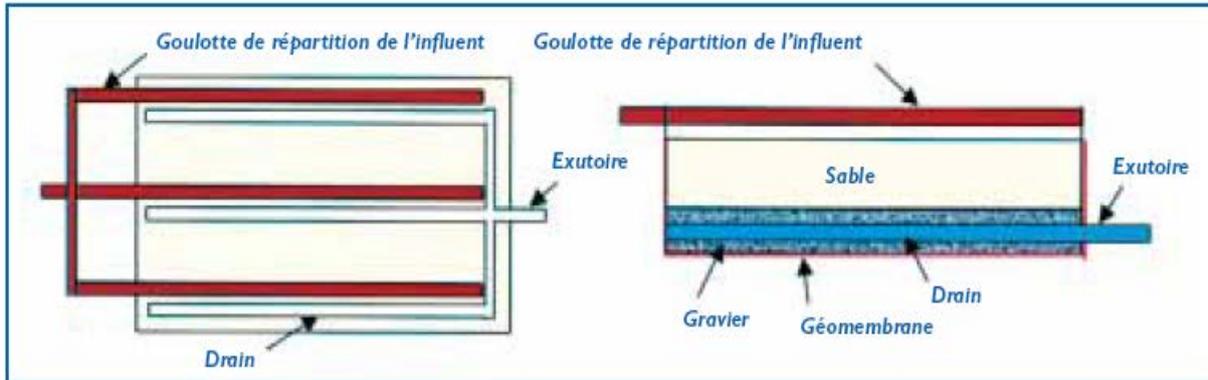


Figure IV.10: Infiltration- percolation étanchée et drainée [37]

- **Filtre planté à écoulement vertical :**

Les filtres sont des excavations, étanchées du sol, remplies de couches successives de gravier ou de sable de granulométrie variable selon la qualité des eaux usées à traiter.

- **Filtre planté à écoulement horizontal :**

Dans les filtres à écoulement horizontal, le massif filtrant est quasi-totalement saturé en eau. L'effluent est réparti sur toute la largeur et la hauteur du lit par un système répartiteur situé à une extrémité du bassin, il s'écoule ensuite dans un sens principalement horizontal au travers du substrat. La plupart du temps, l'alimentation s'effectue en continu car la charge organique apportée est faible.

B.2 Cultures libres :

- **Lagunage aéré:**

L'oxygénation est, dans le cas du lagunage aéré, apportée mécaniquement par un aérateur de surface ou une insufflation d'air. Ce principe ne se différencie des boues activées que par l'absence de système de recyclage des boues ou d'extraction des boues en continu. La consommation en énergie des deux filières est, à capacité équivalente, comparable (1,8 à 2 KW/kg DBO₅ éliminée).

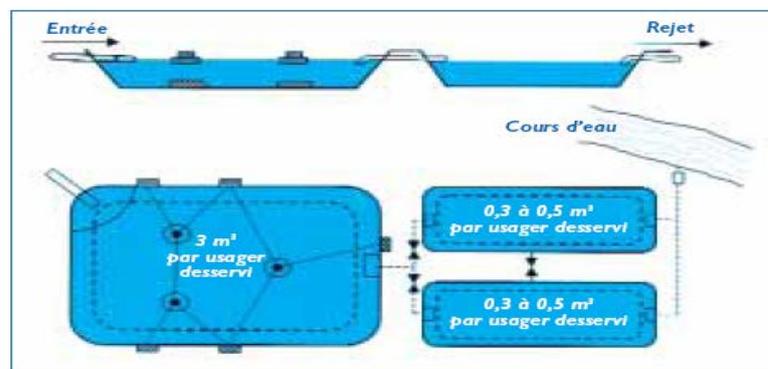


Figure IV.11: Le lagunage aéré [37]

Chapitre IV : Techniques et procédés d'épuration

B.3 Procédés extensifs: Avantages et inconvénients :

Le tableau IV.2 résume les avantages et les inconvénients des procédés extensifs.

Tableau IV.2 : Les avantages et les inconvénients des procédés extensifs [37]

Filière	Avantages	Inconvénients
Infiltration-percolation sur sable	<ul style="list-style-type: none"> • Excellents résultats sur la DBO₅, la DCO, les MES et nitrification poussée ; • Superficie nécessaire bien moindre que pour un lagunage naturel ; • Capacité de décontamination intéressante. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessité d'un ouvrage de décantation primaire efficace ; • Risque de colmatage à gérer ; • Nécessité d'avoir à disposition de grandes quantités de sables ; • Adaptation limitée aux surcharges hydrauliques.
Filtres plantés à écoulement vertical	<ul style="list-style-type: none"> • Facilité et faible coût d'exploitation. Aucune consommation énergétique si la topographie le permet ; • Traitement des eaux usées domestiques brutes ; • Gestion réduite au minimum des dépôts organiques retenus sur les filtres du 1^{er} étage ; • Bonne adaptation aux variations saisonnières de population. 	<ul style="list-style-type: none"> • Exploitation régulière, faucardage annuel de la partie aérienne des roseaux, désherbage manuel avant la prédominance des roseaux ; • Utiliser cette filière pour des capacités supérieures à 2 000 EH reste très délicat pour des questions de maîtrise de l'hydraulique et de coût par rapport aux filières classiques ; • Risque de présence d'insectes ou de rongeurs ;
Filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal	<ul style="list-style-type: none"> • Faible consommation énergétique ; • Pas de nuisance sonore et bonne intégration paysagère ; • Aucune nécessité d'une qualification poussée pour l'entretien ; • Bonne réaction aux variations de charge. 	<ul style="list-style-type: none"> • Forte emprise au sol, abords compris. Celle-ci est de l'ordre de 10 m²/EH (équivalente à l'emprise d'une lagune naturelle). Une installation pour des tailles de 2000 à 15 000 EH peut s'envisager sous réserve d'une réflexion poussée des conditions d'adaptation des bases de dimensionnement et de l'assurance de la maîtrise de l'hydraulique
Lagunage naturel	<ul style="list-style-type: none"> • Un apport d'énergie n'est pas nécessaire si le dénivelé est favorable ; • L'exploitation reste légère mais, si le curage global n'est pas réalisé à temps, les performances de la lagune chutent très sensiblement ; • Élimine une grande partie des nutriments : phosphore et azote (en été). • Faibles rejets et bonne élimination des germes pathogènes en été ; • S'adapte bien aux fortes variations de charge hydraulique ; • Pas de construction "en dur", génie civil simple ; • Bonne intégration paysagère ; • Bon outil pour l'initiation à la nature ; • Absence de nuisance sonore ; • Les boues de curage sont bien stabilisées sauf celles présentes en tête du premier bassin. 	<ul style="list-style-type: none"> • Forte emprise au sol (10 à 15 m²/EH) ; • Coût d'investissement très dépendant de la nature du sous-sol. Dans un terrain sableux ou instable, il est préférable de ne pas se tourner vers ce type de lagune ; • Performances moindres que les procédés intensifs sur la matière organique. Cependant, le rejet de matière organique s'effectue sous forme d'algues, ce qui est moins néfaste qu'une matière organique dissoute pour l'oxygénation du milieu en aval ; • Qualité du rejet variable selon les saisons ; • La maîtrise de l'équilibre biologique et des processus épuratoires reste limitée.
Lagunage aéré	<ul style="list-style-type: none"> • Tolérant aux variations de charges hydrauliques et/ou organiques importantes ; • Tolérant aux effluents très concentrés ; • Tolérant aux effluents déséquilibrés en nutriments (cause de foisonnement filamenteux en boues activées) ; • Traitement conjoints d'effluents domestiques et industriels biodégradables. • Bonne intégration paysagère ; • Boues stabilisées. 	<ul style="list-style-type: none"> • Rejet d'une qualité moyenne sur tous les paramètres ; • Présence de matériels électromécaniques nécessitant l'entretien par un agent spécialisé ; • Nuisances sonores liées à la présence de système d'aération ; • Forte consommation énergétique.

IV.4.3.3 Traitement de l'azote [9 et 35]:

L'élimination de l'azote repose sur la nitrification de NH₄⁺, qui est transformé en NO₃⁻ cependant, en fonction de la qualité voulue de l'effluent à rejeter, et/ou de la présence d'un traitement du phosphore, il peut être nécessaire de procéder à une dénitrification, correspondant à la transformation de NO₃⁻ en azote gazeux.

◆ Les différentes transformations de l'azote:

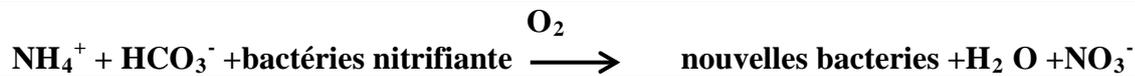
❖ **Ammonification** : l'azote organique des eaux urbaines est principalement formé d'urée et d'acides aminés. Sous l'action des bactéries et par hydrolyse notamment, l'ammonification se réalise que le milieu soit oxydant (station d'épuration) ou non (collecteur) selon la réaction suivante:



Chapitre IV : Techniques et procédés d'épuration

La vitesse de réaction est suffisamment rapide pour qu'un séjour de quelques heures en réseau réduise de moitié les concentrations d'azote organique.

- ❖ **Nitrification biologique:** La réaction de nitrification de l'azote ammoniacal par les bactéries autotrophes nitrifiantes en présence d'oxygène dissous peut être représentée par la réaction suivante :



En réalité, cette réaction s'effectue en deux étapes successives : la nitritation et la nitratisation, réalisées par des bactéries différentes selon les réactions suivantes:



La vitesse de réaction la plus lente étant celle de la réaction de nitratisation, c'est celle-ci qui régira la cinétique globale de nitrification.

La nitrification est réalisée par des bactéries autotrophes : La nitritation est réalisée par Nitrosomonas, la nitratisation est le fait des bactéries nitriques du genre Nitrobacter.

La nitrification biologique peut être décrite par la réaction suivante :



Il ressort de ce bilan que la nitrification biologique d'1 kg d'azote ammoniacal :

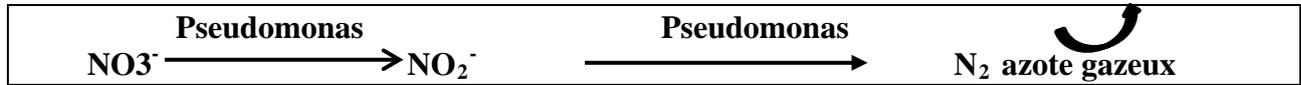
- ❖ nécessite théoriquement 4,2 kg d'oxygène dont 80 % sont inclus dans les nitrates formés.
- ❖ s'accompagne d'une diminution de l'alcalinité (compensable par 3,9 kg de chaux vive : CaO)
- ❖ produit 170 g de bactéries nitrifiantes ce qui est très faible vis-à-vis de la production de boues générées lors de la dégradation de la charge organique carbonée.

- **Conditions de la nitrification :**

- **Charge à appliquer :** pour assurer une nitrification importante, il faut favoriser l'accroissement de la biomasse nitrifiante. Cela se traduit par une faible charge massique, ou un âge de boues important (supérieur à 18 jours).
- **la concentration en oxygène dissous (influence forte) :** le rendement augmente avec le taux d'oxygène dissous dans l'eau, et l'on considère généralement qu'une concentration d'au moins 2 mg O₂/l est souhaitable pour maximiser la vitesse de nitrification en boues activées.
- **Température et substrats :** La nitrification est, comme tout processus biochimique, sous la dépendance de la température, le développement optimal des bactéries se situe autour de 30°C, et une baisse de la température implique un temps de résidence plus long pour obtenir un même taux de nitrification. Nitrobacter serait plus sensible que Nitrosomonas à des fluctuations de température.
- **pH :** La vitesse de nitrification n'est pas influencée par le pH dans une gamme comprise entre 7,2 et 8,5. Un pH un peu plus acide (supérieur à 6,5) ou un peu plus basique peut la ralentir, bien que les bactéries puissent s'adapter à ces conditions, en dehors de la gamme 6,0 à 9,6, le procédé de nitrification est totalement inhibé.

❖ Dénitrification biologique:

La réaction d'assimilation de matière organique par les bactéries hétérotrophes en l'absence d'oxygène dissous et de présence de nitrates peut être représentée par la réaction suivante:

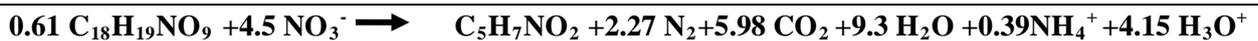


Cette réaction est dite « de dénitrification » car elle se traduit par la réduction de nitrates en azote moléculaire (N_2), gaz qui retourne à l'atmosphère.

La dénitrification est le mécanisme qui permet à un grand nombre de bactéries hétérotrophes – vis à vis du carbone– aérobies facultatifs, de couvrir leurs besoins énergétiques à partir de nitrates lorsque l'oxygène dissous fait défaut.

Ces germes qui ont besoin de carbone organique utilisent préférentiellement l'azote ammoniacal pour couvrir leurs besoins d'azote. De nombreuses bactéries (environ 50 % des espèces présentes en station d'épuration) seraient susceptibles d'effectuer cette « respiration des nitrates ».

La dénitrification biologique est décrite autrement par la réaction suivante :



Cette réaction de dégradation de la matière organique, toutes autres conditions égales par ailleurs, est plus lente que celle qui se produirait en présence d'oxygène.

- La dénitrification d'un gramme d'azote nitrique assure une dégradation de substrat carboné équivalente à celle obtenue avec 2,85 g d'oxygène,
- La dénitrification assure une restitution d'alcalinité égale à la moitié de consommation nécessaire à la nitrification : 1 kg d'azote nitrique dénitrifié est de ce point de vue équivalent à l'addition de 1,95 kg de chaux vive (CaO).

❖ Conditions de la dénitrification :

Oxygène dissous : De façon générale, l'oxygène inhibe la synthèse des enzymes nécessaires à la dénitrification. L'apparition de conditions légèrement aérobies ne remet pas en cause la dénitrification.

Charge : La dénitrification est d'autant plus rapide que la quantité de carbone disponible est importante et que ce carbone est rapidement biodégradable.

Température : la température influe peu sur la vitesse de dénitrification, l'optimum se situe dans la gamme 25 à 30°C, mais le processus peut avoir lieu entre 5 et 50 °C. Si une baisse de température ne constitue pas un frein à la cinétique de la réaction, une augmentation de température active la dénitrification de façon très nette.

pH: l'efficacité de la dénitrification diminue fortement en dehors de la gamme 6,0 à 8,0, les pH optimaux se situent entre 6,5 et 7,5 et ne constituent donc pas un facteur particulièrement limitant dans la plupart des cas de stations d'épuration.

IV.4.3.4 Traitement du phosphore [32 et 33]:

Le phosphore est le facteur limitant sur lequel il est possible de jouer efficacement pour réduire l'eutrophisation continentale d'où la nécessité du traitement du phosphore.

Les micro-organismes assurant la dégradation du carbone et de l'azote intègrent du phosphore à leur matériel cellulaire. La part de phosphore éliminée simplement par cette voie représente environ 25 % de la quantité journalière à dégrader.

Pour augmenter les performances d'élimination du phosphore, les installations à boues activées réalisent un transfert sous forme particulaire soit :

- ❖ Par précipitation (voie physico-chimique)
- ❖ Par suraccumulation au sein de la biomasse épuratrice (voie biologique)
- ❖ Par combinaison des deux processus (filère combinée).

Le phosphore est ensuite éliminé des systèmes de traitement via le soutirage des boues.

Les principes et préconisations techniques relatifs au traitement biologique et physico-chimique, du phosphore sont précisés dans les paragraphes ci-après.

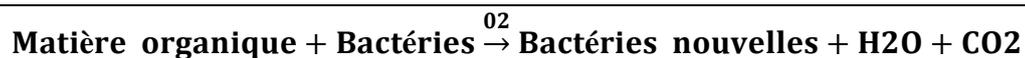
❖ **Traitement biologique du phosphore:**

Le traitement biologique, au sens large, englobe d'une part:

- ✓ L'assimilation du phosphore par la biomasse pour ses besoins métaboliques minimaux,
- ✓ la suraccumulation du phosphore par des bactéries déphosphatantes au-delà de leurs besoins métaboliques.

• **L'assimilation du phosphore :**

Le phosphore est un composant essentiel de la biomasse épuratoire, bactéries et protozoaires ce qui représente de l'ordre de 1 à 2 % de la matière sèche des boues activées non déphosphatantes, exprimées en matière volatile en suspension. La réaction d'assimilation de la matière organique par les bactéries hétérotrophes en présence d'oxygène dissous peut être représentée par la réaction simplifiée suivante :



Les besoins en phosphore pour la synthèse des nouvelles bactéries sont de l'ordre de 1 % de la DBO₅ éliminée par la biomasse épuratoire. L'assimilation ne permet en aucun cas une élimination poussée du phosphore puisque le rapport P/DBO₅ est nettement plus élevé que 0,01 et se situe à 0,04 environ.

• **la suraccumulation du phosphore (Figure II.2) :**

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



Figure IV.12: Représentation schématique du stockage ou de l'utilisation du phosphore par les bactéries en fonction du milieu [33]

♣ Dans le bassin d'anaérobiose:

En absence d'oxygène dissous, les bactéries déphosphatantes, synthétisent un produit de réserve, les poly- β -alcanoates (PHA), à partir du substrat facilement biodégradable des eaux usées et de l'énergie libérée par l'hydrolyse intracellulaire de polyphosphates. Il en résulte un relargage de phosphate dans le milieu externe.

♣ Dans le bassin d'aération :

Les PHA et la matière organique contenue dans les eaux usées sont oxydés par les bactéries. La respiration produit l'énergie nécessaire aux bactéries qui régénèrent leurs stocks de polyphosphates et croissent.

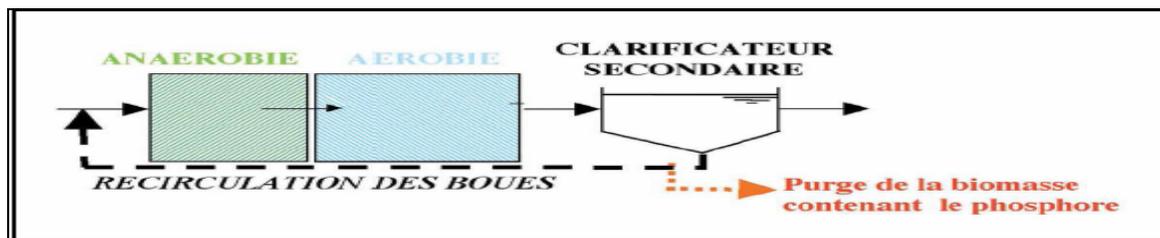


Figure IV.13: Schéma de la filière classique du traitement biologique du phosphore [13]

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

Au cours de la phase anaérobie, le relargage du phosphore n'est pas linéaire en fonction du temps. Trois phases peuvent être distinguées :

- Un relargage rapide du phosphore. La vitesse de ce processus est indépendante de la concentration en carbone facilement assimilable (les acides gras volatils).
- Un ralentissement du relargage s'opère en raison de l'utilisation de substrats carbonés nécessitant une hydrolyse préalable.
- Un relargage lent, dû à la maintenance de la cellule. Il s'agit du relargage secondaire ou endogène. Cette troisième forme de relargage n'est pas efficace en ce sens qu'elle n'entraîne pas dans le bassin d'aération une réabsorption intensifiée du phosphore.

❖ Efficacité de la déphosphatation biologique : Conditions optimales et rendements: [32]

L'efficacité de la déphosphatation biologique est principalement liée :

- **A la concentration de substrats simples facilement biodégradables** contenus dans les eaux usées ou pouvant être éventuellement générés en anaérobiose.
- **Au rapport DBO/P (ou DCO/P):** Le rapport de concentration DBO_5/P_{total} doit être supérieur à 30/1, d'où la mise en place de la zone anaérobie en début de bassin de traitement biologique pour assurer la richesse du milieu en substrat carboné.
- **Au respect de temps de séjour** suffisants dans les réacteurs anaérobie et aérobie.
- **A l'âge des boues :**
 - Pour un âge de boues supérieur à 35 jours, la déphosphatation biologique n'est plus efficace (Ekama et al, 1983). Un âge de boues d'environ 20 jours est compatible avec un bon rendement de déphosphatation biologique.
- **Au pH :** c'est un facteur important régissant la déphosphatation biologique et intervient précisément au cours de la phase d'anaérobiose : Un pH de $6,8 \pm 0,7$ constitue une gamme acceptable (Liu et al. 1996).
- **A la température :** une augmentation de la température favorise l'élimination biologique du phosphore.
- **Aux métaux :** Pour les processus biologiques spécifiques de la déphosphatation, il est à noter qu'une concentration supérieure à 1 mg/l de cuivre induit une inhibition certaine de l'absorption du phosphore en aération. D'autres limites connues de toxicité envers la biomasse déphosphatante sont 10 mg/l pour le cadmium et 5 mg/l pour le nickel et le zinc
- **A la concentration en oxygène dissous dans la zone aérobie :** maintenue au moins à 2 mg O_2/l .
- **Aux nitrates :** Ils ne doivent pas être présents en trop forte concentration (conditions anoxiques). Dans le cas contraire, la dénitrification serait favorisée aux dépens de la déphosphatation. Il est donc nécessaire de prévoir un traitement poussé de l'azote afin d'assurer un traitement biologique efficace du phosphore.
- **A la présence d'oxygène et de nitrate dans la zone anaérobie :** En phase d'anaérobiose, l'oxygène qui peut être apporté par les eaux usées ou par les retours de boue, réduit, voire inhibe le phénomène de relargage. Il en est de même pour les nitrates, car le sous-groupe des bactéries déphosphatantes aérobies facultatives (intervenant dans le processus de dénitrification) oxyde les acides gras à l'aide des nitrates, au lieu de les transformer en PHA.

De ce fait un rendement moyen de **60 à 70 %** peut raisonnablement être attendu en station d'épuration urbaine. Lorsque les eaux brutes sont diluées, soit par des eaux parasites, soit par temps de pluie sur les réseaux unitaires, le rendement de déphosphatation se situe dans la fourchette **30-50 %**.

❖ Traitement physico-chimique du phosphore :

Le traitement du phosphore par voie physicochimique consiste à « piéger » le phosphore dissous sous forme particulaire. Ce changement de phase a lieu au contact de cations (tels que les ions calcium ou ferriques) apportés, soit par les eaux usées: précipitation naturelle, soit par ajout de réactifs (par exemple à base de fer ou de chaux): précipitation forcée.

Ce procédé, très employé aujourd'hui pour ses nombreux avantages économiques et techniques (rendements supérieurs à 80 % et des concentrations de 1 à 2 mg/l de phosphore total) a néanmoins l'inconvénient d'engendrer une surproduction de boues allant de 40% à 60%.

IV.4.4 Traitement tertiaire [21] :

Il s'agit d'un traitement complémentaire permettant d'obtenir une qualité d'effluent traité supérieure à celle obtenue par les procédés biologiques classiques, Il s'agit en fait d'affiner l'eau en poussant l'épuration le plus loin possible avec la possibilité de viser deux objectifs différents :

- ♣ Augmenter le rendement des paramètres classiques (MES, DCO, DBO₅): plusieurs procédés peuvent être utilisés tel que: la bio-filtration ou lagunage, adsorption sur charbon actif, micro tamisage, filtration sur sable...etc.
 - ♣ Traitement d'un paramètre peu ou pas touché par les traitements classiques: c'est le cas de la désinfection afin de réduire la pollution bactérienne.
- **Désinfection des effluents:**

Ce traitement a pour objectif principal d'améliorer la qualité bactériologique de l'effluent épuré. Il existe différentes techniques (désinfection au chlore, au brome, par l'ozone, par rayonnement UV ou par lagunage).

IV.4.5 Traitements complémentaires [21] :

❖ IV.4.5.1. Traitement des odeurs :

Les odeurs provenant des STEP sont dues aux gaz, aérosols ou vapeurs émises par certains produits contenus dans les eaux usées ou dans les composés se formant au cours des différentes phases de traitement.

Pour éviter ces nuisances, les ouvrages sensibles seront couverts et munis d'un système de ventilation ainsi que d'une unité de traitement biologique des odeurs.

On distingue généralement deux types de traitement biologique des odeurs : les biofiltres et les biolaveurs. Dans les premiers, la biomasse est supportée par un plancher spécifique et l'air traverse le massif (souvent de la tourbe). Les seconds réalisent un deuxième filtre grâce à une suspension. La biomasse est libre, et l'épuration se produit dans un réacteur.

L'unique condition de fonctionnement de ces procédés de désodorisation réside dans les composés présents qui doivent être biodégradables.



Figure IV.14: Schéma d'un biofiltre [21]

IV.4.5.2. Traitement des boues [43] :

Les boues se présentent au départ sous forme liquide et avec une forte charge en matière organique hautement fermentescible.

Le traitement des boues a pour objectifs de :

- réduire la fraction organique afin de diminuer leur pouvoir fermentescible et les risques de contamination (stabilisation) ;
- diminuer leur volume total afin de réduire leur coût d'évacuation (déshydratation).

Le but principal est de traiter ces boues produites de façon à les valoriser en agriculture pour l'amendement des sols et comme engrais, d'autant plus que leur mise en décharge est interdite pour les grandes agglomérations.

IV.4.5.2.1. Stabilisation des boues :

Les traitements de stabilisation utilisés sont de type biologique et chimique. Ils s'appliquent aux boues mixtes fraîches, aux boues secondaires ou à l'ensemble des boues.

❖ **La stabilisation biologique:** réduit la teneur des boues en matières fermentescibles. Elle se fait soit par voie aérobie (en présence d'oxygène) dans les bassins d'aération ou dans des bassins de stabilisation aérobie, soit par voie anaérobie (absence d'oxygène) dans des digesteurs avec production d'un biogaz riche en méthane. Dans le premier cas, on obtient des boues « aérobies » ou « stabilisées aérobies », dans le second cas des boues « digérées ».

- **Le compostage** constitue un procédé particulier de stabilisation biologique aérobie. Il se réalise de préférence sur des boues déjà déshydratées de façon à économiser l'approvisionnement en support de compostage.

❖ **La stabilisation chimique :** bloque simplement l'activité biologique, et donc l'évolution de la boue, par adjonction d'une quantité importante de chaux (10 à 50 % de la matière sèche, en général 30 %) élevant le pH au-delà de 12.
Le chaulage suppose généralement une déshydratation préalable des boues, Les boues chaulées obtenues sont de structure pâteuse ou solide.

Pour être précis, il est utile de souligner que souvent chaulage et compostage se pratiquent sur des boues déjà stabilisées biologiquement en station d'épuration. Ils constituent en quelque sorte un traitement complémentaire de stabilisation.

IV.4.5.2.2. Réduction de la teneur en eau des boues :

Pour réduire les volumes à manipuler, différents procédés sont mis en œuvre comprenant, par ordre croissant d'efficacité et de coût, l'épaississement, la déshydratation et le séchage.

En amont de ces procédés, **des traitements dits de conditionnement** sont souvent utilisés

❖ **L'épaississement:**

Vise à augmenter la siccité (teneur en matière sèche) des boues sans pour autant modifier le caractère liquide de la boue. Cet épaississement peut se faire simplement par voie gravitaire ou par des moyens mécaniques (égouttage, flottation ou centrifugation). La siccité des boues épaissies ne dépasse pas usuellement 7 % en moyenne.

Chapitre IV : Techniques et procédés d'épuration



Figure IV.15 : Épaississement des boues Par flottation [21]

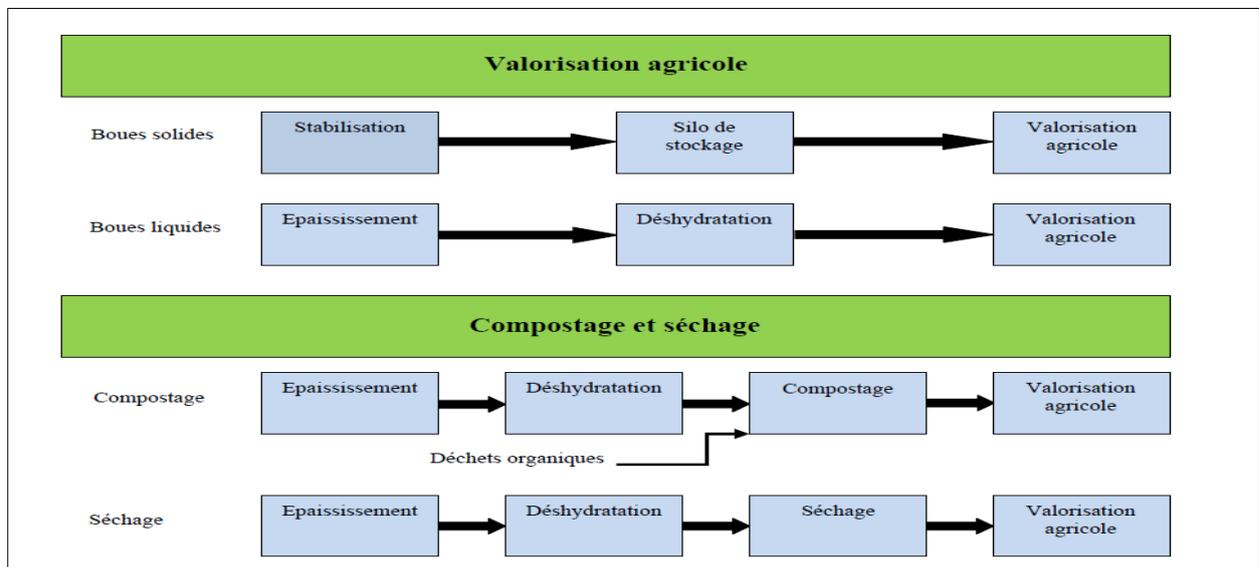


Figure IV.16: déshydratation boue par centrifugation [21]

- ❖ **La déshydratation:** qui correspond en fait à une augmentation forte de siccité, modifie l'état physique des boues, celles-ci passant de l'état liquide à l'état pâteux ou solide.

Les filtres à bandes et les centrifugeuses donnent des boues plutôt pâteuses en raison de performances de déshydratation qui plafonnent à 18-20 % de siccité pour la première famille de matériels, et 20-25 % de siccité pour la seconde, Les filtres presses produisent par contre des boues de structure solide (30 à 35 % de siccité).

- ❖ **Le séchage:** élimine en grande partie ou en totalité l'eau par évaporation, soit par voie naturelle (lits de séchage), soit par voie thermique.
 - **Le Séchage par lits:** cette technique de séchage se pratique à l'air libre sur des boues liquides et combine évaporation naturelle et drainage de l'eau libre à travers une couche filtrante de sable et de graviers. Ce système extensif donne des boues solides à 35 - 40 % de siccité mais reste fort dépendant des conditions météorologiques.
 - **Le séchage thermique:** permet une élimination quasi-totale de l'eau (siccité d'environ 95 %).



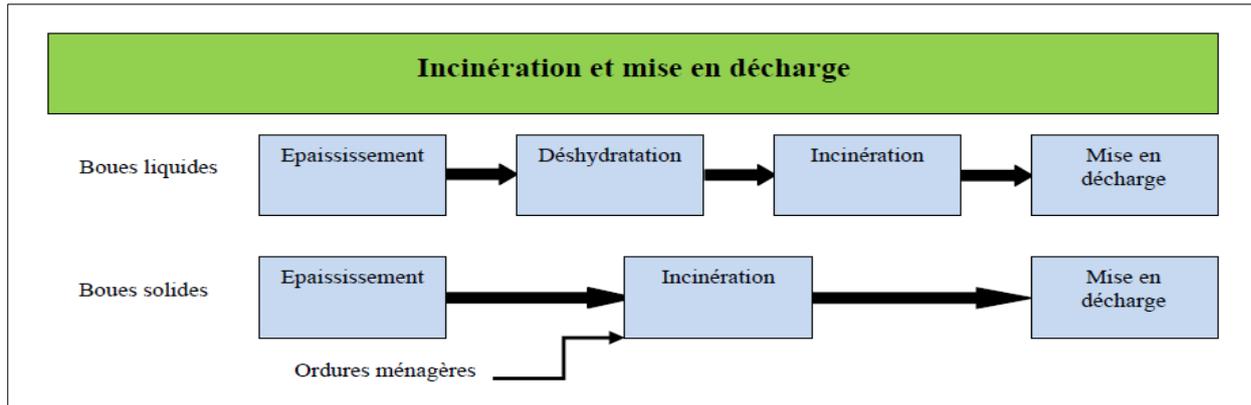


Figure IV.17 : Principales étapes de traitement et destinations des boues[21]

IV.5 Conclusion :

L'épuration même très efficace n'est jamais qu'un remède et n'est capable d'éliminer qu'une partie des substances rejetées dans l'eau. Compte tenu des procédés d'épuration les plus économiques, il est préférable de n'utiliser et de ne rejeter dans l'eau que des matières organiques rapidement biodégradables. Tout mélange de produits de nature très variée complique les méthodes de dépollution qu'il faudra ensuite mettre en œuvre.

De plus, l'épuration de l'eau génère toujours un déchet qu'il faut ensuite éliminer ou recycler. La gestion des boues d'épuration reste un des grands défis des années à venir. De nombreuses réflexions sont menées pour améliorer leur composition en vue de leur élimination et surtout de leur utilisation. Les normes de rejet et sur les déchets ultimes sont toujours plus contraignantes. Elles obligent les épurateurs à améliorer la qualité des différents types de boues.

Chapitre V :

Situation de l'assainissement en Algérie

«En Algérie, l'eau est une ressource
précieuse à préserver!»

V.1 Introduction :

Source de vie et socle du développement humain, l'eau a été hissée en Algérie au rang de priorité. En effet, la ressource en eau en Algérie est rare, inégalement répartie et fragile.

Depuis quelques années, le gouvernement investit beaucoup pour trouver des solutions et remédier au problème. **Le code des eaux**, promulgué **le 4 aout 2005**, définit l'eau comme bien de la collectivité nationale, cette loi a pour objet de fixer les principes et les règles applicables pour l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau. En **février 2007**, a été adopté **le Plan National de l'Eau**. Etalé jusqu'à l'horizon 2025, cet outil de planification souple et évolutif a pour principaux objectifs d'assurer une durabilité de la ressource, créer la dynamique de rééquilibrage territorial, créer et renforcer l'attractivité et la compétitivité et garantir une bonne gouvernance de l'eau.

Assurer une ressource précieuse sans la protéger n'est pas une solution ! En effet en **Janvier 1980**, l'Algérie a adhéré la **convention de Barcelone** pour la protection de la mer Méditerranée. Un renforcement des exigences réglementaires est ainsi intervenu vis-à-vis des rejets depuis le début des années 1990.

Dans ce chapitre nous allons voir l'état de progression dans le domaine de l'eau et de l'assainissement en Algérie.

V.2 Les axes de la politique nationale dans le domaine des ressources en eau [44] :

La politique de la gestion d'eau en Algérie s'articule autour des points suivants:

- Accroître la mobilisation de la ressource en eau sous ses formes conventionnelle et non conventionnelle et ceci, pour assurer la couverture des besoins en eau domestique, industrielle et agricole.
- Réhabiliter et développer les infrastructures d'adduction et de distribution d'eau potable pour réduire au maximum les pertes et améliorer la qualité de service.
- Réhabiliter et développer les infrastructures d'assainissement et d'épuration des eaux usées pour préserver et réutiliser une ressource en eau limitée.
- Moderniser et étendre les superficies irriguées pour soutenir la stratégie de sécurité alimentaire
- Assurer une bonne gouvernance de l'eau et une amélioration des indicateurs de gestion.

V.3 Les acteurs de l'eau en Algérie:

Les acteurs les plus impliqués dans la gestion de l'eau sont les suivants:

- ♣ Le ministère des ressources en eau,
- ♣ L'agence nationale des ressources en eau (ANRH),
- ♣ Les Offices de périmètres irrigués (OPI) chargés de la gestion des Grands Périmètres, Irrigués (GPI),
- ♣ Le Conseil National de l'Eau (CNE), organe de coordination et de régulation au niveau national,
- ♣ Le Ministère de l'intérieur et des collectivités locales,
- ♣ Le Ministère de l'agriculture et de la pêche,

- ♣ Le Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement (MATE),

L'Algérienne des eaux (ADE), créée en **2001**, est chargée d'assurer, sur tout le territoire national, la mise en œuvre de la politique nationale de l'eau potable moyennant la prise en charge des activités de gestion des opérations de production, de transport, de traitement, de stockage, d'adduction, de distribution et d'approvisionnement en eau potable et industrielle, ainsi que du renouvellement et du développement des infrastructures connexes.

L'Office national de l'assainissement (ONA), créé par le décret exécutif n°01-102 du **21 Avril 2001** et dont le siège est au carrefour SIDI ARCINE route de BARAKI, est chargé d'assurer la protection de l'environnement hydrique et la mise en œuvre de la politique nationale d'assainissement en concertation avec les collectivités locales.

- **Société Publique par Actions, de droit Algérien (SEEAL):**

SEEAL est une société par action détendue par l'ADE et l'ONA .Elle assure **depuis mars 2006**, la gestion des services de l'eau, la collecte et le traitement des eaux usées sur l'ensemble de la wilaya d'Alger. Les objectifs de SEEAL sont :

- ♣ Rétablir puis maintenir une distribution d'eau de qualité, 24h/24h
- ♣ Renforcer la prise en charge et le fonctionnement de systèmes d'assainissement et contribuer à l'amélioration de la qualité des eaux de baignade du littoral Algérois.
- ♣ Remette au niveau et gérer durablement les ouvrages et installations d'eau et d'assainissement,
- ♣ Mettre en place une gestion clientèle moderne et efficace

V.4 Etat du secteur de l'eau et de l'assainissement en Algérie :

V.4.1 Eau potable [45]:

Le pays dispose de nombreux barrages (**68 barrages en 2011**), mais l'approvisionnement en eau provient en majorité des puits construits pour capter les eaux des nappes souterraines (en particulier des nappes du Sahara qui ne sont pas renouvelables...). Pour l'année **2011**, on compte les chiffres suivants:

- ♣ La demande en eau potable : **2 400 Hm³/an.**
- ♣ Taux de raccordement au réseau d'assainissement et d'eau potable : **94%**
- ♣ Volume d'eau potable : **7,4 Mds de m³.**

V.4.2 Eau industrielle:

Sur la base d'inventaires faits par le Ministère de l'Industrie et le Ministère de l'Energie, les besoins en eau des industries en 2009 sont estimés à **125 000 m³/an** environ. La consommation d'eau la plus importante est celle de la branche des hydrocarbures (près de 45 % du total). La sidérurgie représente **18 %** de la consommation totale industrielle.

V.4.3 Pollution de l'eau en Algérie : Lois et réglementations [46] :

En Algérie, les normes de rejet ont été promulguées en 1993 (décret exécutif n 93-160 du 10 juillet 1993) uniquement pour les installations industrielles. Les normes dépendent de l'usage de l'effluent. Si les eaux usées sont destinées à l'irrigation, alors les normes doivent être plus sévères.

Chapitre V : Situation de l'assainissement en Algérie

Les normes de rejet d'eau usée industrielle en Algérie sont regroupées dans le tableau V.1

Tableau V.1: Normes algériennes de rejet [46]

Numéro	Paramètres	unités	Valeurs limites	Tolérances aux valeurs limites anciennes installations
1	Température	°C	30	30
2	pH	-	6,5- 7,5	6,5- 7,5
3	MES	mg/l	35	40
4	Azote Kjeldahl	mg/l	30	40
5	Phosphore total	mg/l	10	15
6	DCO	mg/l	120	130
7	DBO ₅	mg/l	35	40
8	Aluminium	mg/l	3	5
9	Substances toxiques bioaccumulables	mg/l	0,005	0,01
10	Cyanure	mg/l	0,1	0,15
11	Fluor et composés	mg/l	15	20
12	Indice de phénol	mg/l	0,3	0,5
13	Hydrocarbures totaux	mg/l	10	15
14	Huiles et graisses	mg/l	20	30
15	Cadmium	mg/l	0,2	0,25
16	Cuivre total	mg/l	0,5	1
17	Mercure total	mg/l	0,01	0,05
18	Chrome total	mg/l	0,5	0,75
20	Etain total	mg/l	2	2,5
21	Manganèse	mg/l	1	1,5
22	Nickel total	mg/l	0,5	0,75
23	Zinc total	mg/l	3	5
24	Fer	mg/l	3	5
25	Composés organiques chlorés	mg/l	5	7

V.4.4 Systèmes d'assainissement en Algérie [ONA, SEEAL, 45]:

V.4.4.1 Stations d'épuration et lagunes :

L'Algérie dispose de **61 stations d'épuration** en exploitation avec un volume de 365 million de m³/an et une capacité de 6 168 592 E.H. Le nombre de **lagunes** comptés en 2011 est de **67**. Deux autres stations sont en cours de réhabilitation avec un volume de 19 millions m³/an. Six stations sont à réhabiliter avec un volume de 6 million de m³/an. L'Algérie dispose aussi de 34 stations d'épuration à boues activées et lagunes en travaux avec un volume de 400 million de m³/an. (Programme de développement 2011-2012 (ONA) : Annexe I)

Les procédés les plus répandus sont à boues activées et à lagunage naturel. Dans la figure V.1, nous représentons la répartition des STEP algériennes par type de procédé d'épuration utilisé.

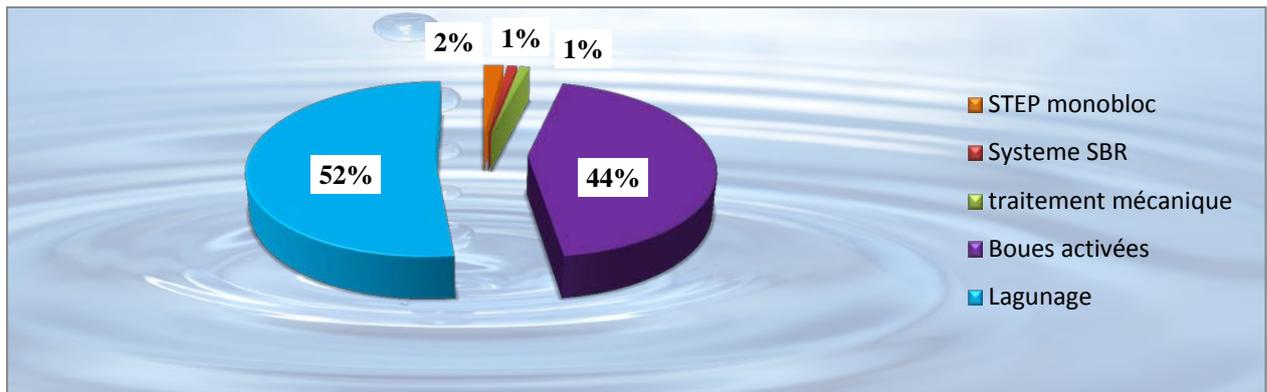


Figure V.1: Procédés d'épuration utilisée en Algérie [ONA]

L'ONA prend en charge la gestion de **634** communes sur les **1541** existantes soit **41,14 %** du réseau d'assainissement national, correspondant à un linéaire de **27 009 Km** de réseau sur **37 738 Km** du réseau national. Le reste du réseau est géré soit par les régies communales en attendant le transfert de ces communes à l'ONA, soit par les sociétés par actions créées dans le cadre de la gestion déléguée du service public de l'eau et de l'assainissement telles que **SEAAL** pour Alger (**3300 Km** de réseau de collecte, **43** postes de relèvement et **4** stations d'épuration de capacité globale de **1 565 000 EH**), **SEAOR** pour Oran, **SEACO** pour Constantine et **SEATA** pour ANNABA et AL TARAF.

V.4.4.2 Dessalement de l'eau de mer :

Le volume dessalé mobilisé actuellement est de : **111.45** millions de mètre cube par an, dont:

- ♣ 105,85 Hm³/an produites par les grandes stations de dessalement de l'eau de mer.
- ♣ 5.60 Hm³/an produites par les stations monoblocs de dessalement de l'eau de mer.

Nous reproduisons dans le tableau V.2 le bilan de l'évolution des principaux indicateurs du secteur entre 1999 et 2011.

Chapitre V : Situation de l'assainissement en Algérie

Tableau V.2 : Evolution des principaux indicateurs du secteur de l'eau entre 1999 et 2011.[45]

Année	1999	2011
Indicateur		
Nombre de barrages	47	68
Capacité de mobilisation des eaux superficielles	4,2 Mds de m ³	7,4 Mds de m ³
Volume d'eau potable produit	1,26 Md de m ³ /an	2,9 Mds de m ³ /an
Taux de raccordement aux réseaux d'assainissement et d'eau potable	78 %	94 %
Fréquence de distribution d'eau sur les 1541 chefs-lieux de communes du pays :		
• Quotidien	45%	73%
• 1 jour sur 2	30%	17%
• 1 jour sur 3 et plus	25%	10%
Volume d'eaux usées rejetées	600 M de m ³ /an	750 M de m ³ /an
Nombre de stations d'épuration	28 (dont 12 opérationnelles)	61
Nombre de lagunes	0	67
Capacité nationale de traitement des eaux usées	90 M de m ³ /an	750 M de m ³ / an

V.4.5 Progressions dans le domaine de l'eau et de l'assainissement en Algérie:

V.4.5.1 Expérience de l'ONA :

A travers sa politique environnementale, l'ONA à son plus haut niveau s'est engagé à :

- ◆ Réduire au minimum les risques de l'activité sur l'environnement.
- ◆ Assurer la conformité réglementaire aux exigences légales applicables auxquelles l'Office a souscrit et autres exigences.
- ◆ Assurer une gestion intégrée des déchets.
- ◆ Valoriser les boues et eaux épurée. En **2011**, le **volume réutilisé** est estimé à **24,5 Millions de m³/an**, irriguant **plus de 12000 ha** de superficie agricole.
- ◆ Mettre en place le dispositif du tri sélectif pour le recyclage du papier, des caoutchoucs d'encre usagée et du plastique.
- ◆ Instaurer un système de gestion des rejets chimiques dangereux issus de l'activité des laboratoires.
- ◆ Introduction des techniques de consommation propre « énergies renouvelables ».
- ◆ Mettre en place un dispositif d'optimisation de la consommation de l'énergie électrique.
- ◆ Former et sensibiliser le personnel sur les bonnes pratiques environnementales
- ◆ Suivre et évaluer périodiquement la performance du système de management environnemental (SME).

V.4.5.2 Expérience de SEEAL : Progrès réalisés de 2006 à 2011

- En **2011**, Alger est alimentée à **53%** par des eaux de barrages, à **28%** par des eaux souterraines et à **19%** par des eaux non conventionnelles (dessalement d'eau de mer)
- Développement d'un Système d'Information Géographique (SIG) performant adossé à une base d'exploitation (Saisie de l'ensemble des fuites, outils d'aide à la décision de maintenance et de renouvellement)
- Modulation et régulation de pression sur **500 Km** du réseau d'Alger.
- **3 300 Km** de réseaux non visitables ont été diagnostiqués depuis 2006 (100% du réseau).
- Curage de **90%** des collecteurs visitables et **100%** des collecteurs non visitables.
- **25 000** regards ont été rehaussés depuis 2006.
- Le taux de raccordement à une STEP est passé de **6% en 2006** à **53% en 2011**.
- La station de Staouali (15000 EH) a été réhabilitée et remise en service en **janvier 2011**.
- SEEAL a repris en exploitation deux nouvelles stations en **mars 2011**(Baraki et Réghaia)
- Réalisation du Schéma Directeur Assainissement qui donne une vision claire sur les **15 ans** à venir :
 - Près de 1250 Km de nouveaux réseaux, 41 nouveaux postes de pompage, 170 000 m³ de bassin de stockage à créer.
 - Plus de 1000 Km de réseau à réhabiliter.
 - 5250 000 EH de stations d'épurations à construire
- La mise en place d'une démarche innovante de transfert de savoir-faire par la méthodologie WIKTI (Water International Knowledge Transfer : cette méthodologie, certifiée ISO 9001 permet de mesurer le niveau de maîtrise pour l'ensemble des métiers de SEEAL.

V.5 Conclusion :

Ces dernières années l'Algérie a investi beaucoup dans des infrastructures conventionnelles comme les barrages et les grands transferts, ou non-conventionnelles comme le Dessalement et la réutilisation des eaux usées. Elle investit aujourd'hui dans le domaine de la gestion et de la protection de la ressource via des contrats de gestion déléguée qui préservent la souveraineté de l'État, propriétaire des réseaux et unique décideur en matière de tarification. En dix ans, l'Algérie a déjà multiplié par huit ses capacités d'assainissement et devrait continuer dans cette voie car la rareté de la ressource en eau ne doit pas être oubliée.

Partie expérimentale

Problématique et objectifs d'étude

Problématique:

«Il faut savoir où en est pour savoir où aller»!!

Dans une démarche de développement durable, l'activité humaine cherche à optimiser au mieux ses constructions. Dans le domaine du traitement des eaux usées nous retrouvons également cette démarche. Les premières stations qui au départ devaient répondre à des besoins immédiats de collecte et de traitement des eaux usées domestiques, doivent aujourd'hui faire face à de nouvelles problématiques.

Les objectifs de ces stations d'épuration sont devenus de plus en plus qualitatifs : c'est pourquoi les problèmes d'assainissement demeurent une préoccupation majeure en Algérie et nécessitent une prise en charge conséquente par des mesures appropriées.

Cette opération de plus en plus délicate, oblige les exploitants du service de l'eau à constamment innover.

Mais comment faire pour atteindre ces objectifs?!

La réponse à cette question ne met pas en place un choix multiples, une technique qui demeure assez facile, mais particulièrement utile vient répondre à cette préoccupation par la mise en place des indicateurs de performances dans nos stations d'épurations.

Objectifs d'étude:

Notre démarche consiste à appliquer cette technique sur la STEP de Réghaia dans le but de cibler les points suivants:

- ❖ Détecter les problèmes existants au niveau des différents postes de la station.
- ❖ Chercher les causes des dysfonctionnements.
- ❖ Proposer des solutions en visant l'amélioration du traitement et l'optimisation du fonctionnement.

Chapitre VI:

Présentation de la Station d'épuration de Réghaia.

*Pas à pas: Vue d'ensemble des éléments et processus du circuit
d'eau usées.*

Chapitre VI : Présentation de la station d'épuration de Réghaia

VI.1 Introduction :

Collectées, transportées jusqu'à un point de rejet, les eaux usées doivent être épurées avant d'être rejetées dans le milieu naturel. Laver l'eau après utilisation est devenu aussi indispensable que traiter nos déchets. C'est pourquoi en 1997, une station d'épuration de 18 hectares, située en amont du lac de Réghaia a vu le jour. Cette station qui assurait uniquement le traitement primaire des eaux usées domestiques et industrielles, assure depuis 2008, le traitement biologique des eaux usées.

VI.2 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.



Figure VI.1 : STEP de Réghaia-Algérie



Figure VI.2 : Vue de dessus de la STEP de Réghaia par satellite [Google Earth]

VI.3 Caractéristiques techniques [44]:

La station d'épuration de Réghaia est de type boues activées fonctionnant en aération prolongée et en faible charge ($C_m=0,117$ kg DBO/kg MVS/jour). Les principales caractéristiques sont précisées ci-après:

VI.3.1 Caractéristique de l'eau à traiter :

La station d'épuration de Réghaia reçoit les eaux domestiques de la commune de Réghaia, Ain Taya, Rouiba, El Marsa, Bordj el Bahri, Bordj el Kiffan et H'raoua ainsi que les eaux usées des deux zones industrielles, celles de Rouïba et de Réghaïa regroupant 130 usines et déversant au quotidien $20\,000\text{ m}^3$ de déchets.

Les sources d'émissions industrielles et leurs paramètres organiques et toxiques sont consignés dans les tableaux se trouvant en Annexe II.



Figure VI.3 : Regard des rejets industriels de l'usine nouvelle de conserverie algérienne [8]

Chapitre VI : Présentation de la station d'épuration de Réghaia

VI.3.2 Caractéristiques générales :

Les caractéristiques générales de la station d'épuration de Réghaia sont mentionnées dans le tableau VI.1:

Tableau VI.1: Caractéristiques générales de la station de Réghaia [44]

Adresse	STATION D'EPURATION DE REGHAIA RN 24 - REGHAIA
Maître d'ouvrage / Exploitant	Direction d'hydraulique W.ALGER / SEAAL
Constructeur :	Traitement primaire : DEGREMONT Traitement biologique: Groupe C.G.E.C & WABAG
Année de mise en route	Traitement primaire : 1997 Traitement biologique : 2008
Capacité nominale	80000 m ³ /j
Equivalent habitant	263000 EH

VI.3.3 Données de base du constructeur:

Le tableau.VI.2 donne les capacités nominales en charges hydrauliques fournies par le constructeur:

Tableau VI.2 : Charge hydraulique pour le dimensionnement. [44]

Débit moyen journalier	80000 m ³ /j
Débit moyen horaire	3 333 m ³ /h
Débit de pointe de temps sec	5 022 m ³ /h
Débit de pointe de temps de pluie	8118 m ³ /h

Le tableau VI.3 donne les capacités nominales en charges polluantes fournies par le constructeur :

Tableau VI.3 : Charges polluantes (capacité nominale de la station). [44]

Charges polluantes	Eau brute (Flux nominal journalier)
MES	19960 kg/j
DBO₅	15800 kg/j
DCO	28560 kg/j
NGL	1960 kg/j
P_T	540 kg/j

VI.3.4 Objectifs de qualité :

Les objectifs ciblés et requis en sortie de la station sont donnés dans le tableau VI.4

Tableau VI.4: Objectif du traitement [44]

	MES	DBO₅	DCO	NGL	Pt
Concentration maximale	20 mg/l	15 mg/l	50 mg/l	10 mg/l	3 mg/l
Rendement minimal	90 %	90 %	85 %	59%	55 %

VI.4 Procédé d'épuration [44]:

Les eaux usées arrivent à la station par gravité ou par pompage, les étapes par lesquelles passent ces eaux usées dans la station de Réghaia sont schématisées dans la figure suivante:

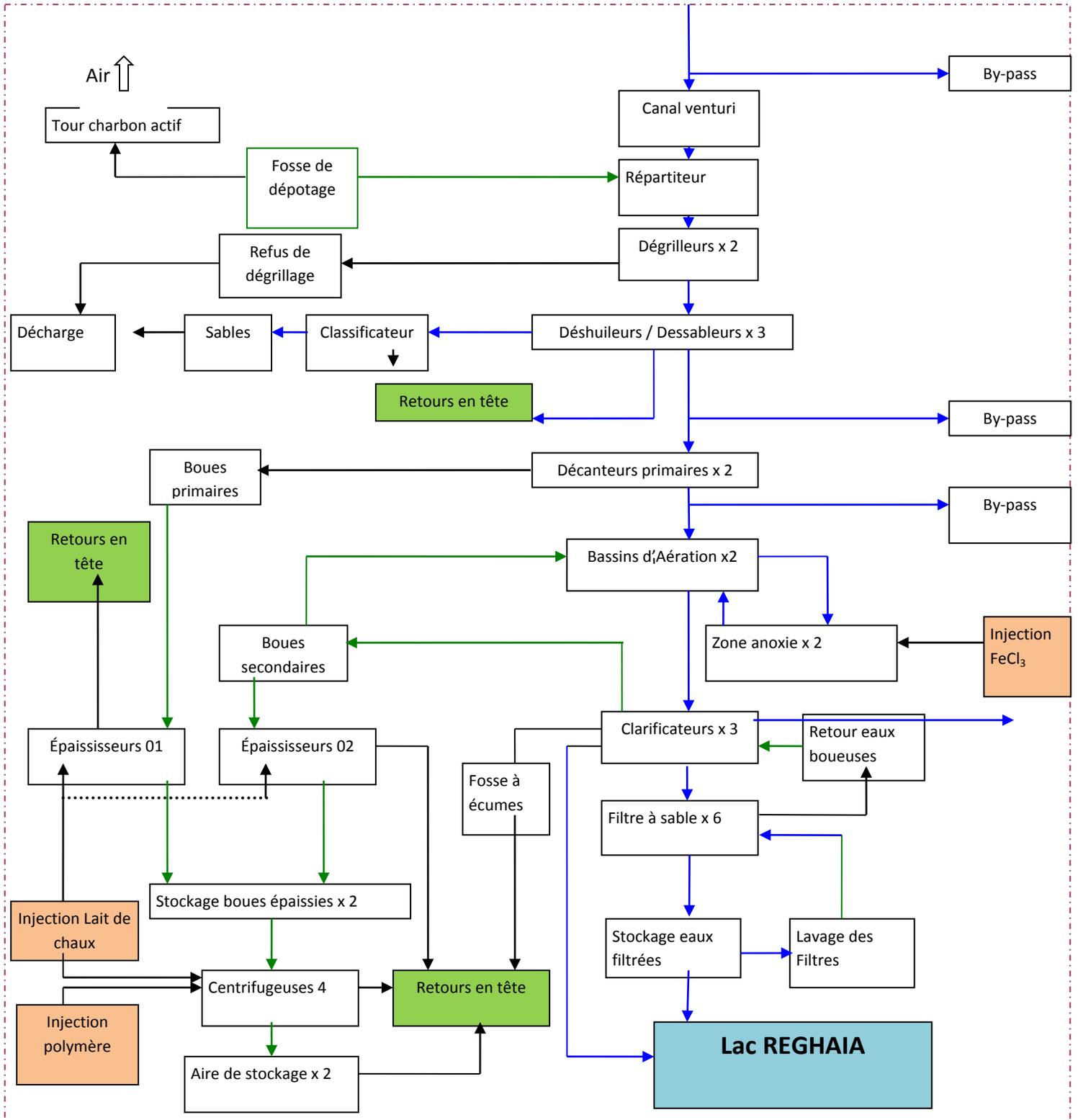


Figure VI.4 : La synoptique de la station de Réghaia[44]

VI.4.1 Arrivée des eaux brutes et l'ouvrage de Comptage:

Les réseaux du type mixte acheminent les eaux usées urbaines et industrielles vers l'entrée de la station. Ces eaux usées sont ensuite acheminées du bassin d'arrivée vers le bassin de comptage pour quantifier le débit journalier par mesure de hauteur d'eaux par deux sondes ultrasons en amont de deux canaux venturisiés ($2 \times 9360 \text{ m}^3/\text{h}$).

Un déversoir d'orage de volume 4000 m^3 a été installé pour la réception des eaux qui surpassent le débit de $8118 \text{ m}^3/\text{h}$, doté de deux pompes submersibles ($2 \times 180 \text{ m}^3/\text{h}$), quatre agitateurs et un déversoir vers le canal de BY-PASS au cas de trop plein.



Figure VI.5 : Ouvrage de comptage



Figure VI.6 : Déversoir d'orage
(Station de Réghaia)

VI.4.2 Prétraitement:

VI.4.2.1 Dégrilleur:

Les dégrilleurs assurent la protection des équipements électromécaniques et réduisent les risques de colmatage des conduites mises en place dans la station d'épuration.

Pour l'élimination des déchets solides les effluents passent à travers deux dégrilleurs automatiques fins à champ courbé de 20 mm d'espacement entre les barreaux. Il existe un dégrilleur manuel de secours à champ plat de 30 mm d'espacement entre les barreaux. Les refus des dégrilleurs sont envoyés vers une benne de stockage au moyen d'un tapis roulant.



Figure VI.7 Dégrilleur [STEP Réghaia]



Figure VI.8 : Tapis roulant [STEP Réghaia]

VI.4.2.2 Dessaleur / Dégraisseur :

Après l'élimination des déchets solides, les effluents sont ensuite admis dans les trois canaux, pour subir une élimination combinée des graisses et des sables.

♣ Dégraissage :

Chapitre VI : Présentation de la station d'épuration de Réghaia

Pour que les matières organiques ne se décantent pas avec le sable au fond du bassin, les canaux de dessablage dans leur deux premiers tiers amont, sont brassés à l'air. Le dernier tiers en aval de chaque canal est équipé de trois aérateurs mécaniques immergés, produisant des micro bulles d'air particulièrement favorables à la flottation des graisses. Les flottants sont poussés par trois bras racleur vers une goulotte de récupération.

♣ Dessablage :

Le sable est recueilli à la partie inférieure des bassins. Le mélange eau / sable est relevé au moyen d'air lifts d'un débit de $55\text{m}^3/\text{h}$ montés sur un pont enjambant les deux bassins et parcourant leur longueur en va-et-vient. Les sables sont envoyés vers une goulotte inclinée d'où l'extraction de sable se fait soit par une vis d'Archimède ou par un classificateur de sable équipé d'une pompe de sable et une vis.



Figure VI.9: Dégraisseur-Dessaleur (STEP de Réghaia) [44]

VI.4.3 Décanteur primaire:

A la sortie de l'ouvrage de dessablage/dégraissage, les effluents prétraités sont répartis sur deux décanteurs primaires d'un diamètre de 42 m chacun et d'une hauteur d'eau cylindrique de 2.6 m, le volume unitaire de chaque décanteur est de 4259m^3 et la surface unitaire est de 1385m^2 . L'alimentation du décanteur circulaire se fait en partie centrale. Une jupe de répartition assure une équi-répartition du volume sur l'ensemble de surface.

Les paramètres caractéristiques du fonctionnement sont :

- ♣ La vitesse ascensionnelle maximale admissible ($V_a=Q/S$)=1.2 à 2.93 m/h
- ♣ le temps de séjour des effluents dans l'ouvrage ($T_s= V/Q$)= 1.05h à 2.56h

Les rendements d'élimination sont généralement comme suit :60% de MES, 30% de DCO et DBO_5 et 12 % de P_T .

Les eaux décantées sont recueillies par sur verses dans une rigole périphérique pour être dirigées vers un bassin d'aération. Les boues décantées au fond de chaque ouvrage sont dirigées à l'aide de racleur vers un puits central de collecte. Elles sont reprises par des tuyauteries les acheminant vers la bache de pompage. Les boues primaires sont ensuite extraites par deux pompes d'un débit de $150\text{m}^3/\text{h}$ chacune, dont une en secours.



Chapitre VI : Présentation de la station d'épuration de Réghaia

Figure VI.10: *Décanteur primaire* (Station de Réghaia) [44]

VI.4.4 Bassin d'aération :

Les eaux décantées sont acheminées vers deux bassins d'aération fonctionnant en parallèle, chaque bassin à un volume de 11866 m^3 et il est équipé de dispositif d'oxygénation (3 aérateurs de puissance $3 \cdot 110 \text{ KWh}$) et de brassage permettant d'éviter la décantation des boues dans le fond de l'ouvrage.



Figure VI.11 : *la zone aérée du réacteur biologique (nitrification)*



Figure VI.12 : *la zone anoxie du réacteur biologique (dénitrification)*

Chaque bassin d'aération est équipé:

- D'un bassin d'anoxie de volume égale à 8890 m^3 .
- D'une pompe de recirculation interne d'un débit de $1600 \text{ m}^3/\text{h}$ permettent de réintroduire les nitrates produites dans le bassin biologique lors de ses phases d'aération vers le bassin d'anoxie ou se passe la dénitrification.
- D'un agitateur submersible pour l'agitation du mélange eaux brute- boues recirculées.
- D'une pompe de recirculations des boues.
- D'une pompe doseuse d'un débit de 350 l/h qui injecte le chlorure ferrique dans la zone anoxie pour le traitement chimique du phosphore. (ce traitement n'est pas utilisé à présent du fait des faibles charges en phosphore reçues par la STEP).



Figure VI.13: *pompe doseuse du chlorure ferrique*



Figure VI.14: *cuve de stockage du chlorure ferrique*

A la sortie des deux bassins d'aération un ouvrage semi circulaire assure la répartition de la liqueur mixte vers les trois clarificateurs.

VI.4.5 Clarificateur :

Le clarificateur est un ouvrage circulaire de base cylindro-conique de diamètre de 58 m , ayant un volume de 9200 m^3 et une surface unitaire de 2640 m^2 , il assure la séparation des phases

Chapitre VI : Présentation de la station d'épuration de Réghaia

de la liqueur mixte après avoir subi des séances d'aération dans le réacteur biologique d'une part et d'assurer la concentration de boue afin de la réintroduire dans le bassin d'aération d'autre part.

Les eaux clarifiées sont reprises dans une double goulotte en partie supérieure pour rejet dans le milieu récepteur ou envoyées vers les filtres à sable pour le traitement tertiaire. L'extraction des boues secondaires se fait à l'aide de deux pompes de 100 m³/h chacune, tandis que la recirculation de ces boues biologiques est assurée par trois pompes de 2222 m³/h chacune.



Figure VI.15: Clarificateur (Station de Réghaia) [44]

VI.4.6 Filtration :

Après avoir subi un traitement biologique, les eaux épurées sont acheminées vers une unité de traitement poussé dite «traitement tertiaire» dans le but de réduire la contamination microbologique. L'opération de filtration consiste à faire passer les eaux épurées sur un lit filtrant constitué du sable d'une granulométrie de 0,95mm, les MES restent piégées entre les espaces intergranulaires du sable. Sous la forces de l'air et des eaux propres envoyées dans le sens contraire d'écoulement des eaux destinées à la filtration, les MES seront enlevées du matériel filtrant et envoyées vers les clarificateurs pour la décantation.



Figure VI.16 : filtre plein pendant le fonctionnement
(Station de Réghaia) [44]



Figure VI.17 : filtre vide Pendant pendant l'arrêt

VI.5 Traitement des boues :

VI.5.1 Epaissement des boues :

L'épaissement consiste à réduire le volume de boues et l'augmentation de leurs concentrations par gravitation. Les boues alimentent l'ouvrage de 1000 m³ au centre et se précipitent au fond du radier sous l'effet de la gravité, tandis que le surnageant récupéré au niveau de la goulotte rejoint le poste toutes eaux. Le soutirage des boues épaissies se fait au fond de l'ouvrage et elles sont menées vers les bassins de stockage à l'aide de deux pompes de 28 m³/h chacune.

Chapitre VI : Présentation de la station d'épuration de Réghaia



Figure VI.18 : *Epaisseur primaire fermé*
(Station de Réghaia) [44]



Figure VI.19 : *Epaisseur biologique ouvert*

VI.5.2 Stabilisation chimique des boues:

Le lait de chaux est transporté vers les jupes de tranquillisation des deux épaisseurs par deux conduites en PEHD, trois pompes doseuses d'un débit de 30 l/h chacune dont une de secours assurent le dosage voulu. L'injection du lait de chaux dans les centrifugeuses est possible, selon le choix de l'opérateur, cette opération est assurée par quatre pompes doseuses d'un débit variant entre 100 et 700 l/h.



Silo à chaux



Pompes d'injection
vers épaisseurs



Pompes d'injection
vers centrifugeuses

Figure VI.20: *Stabilisation chimique des boues* (Station de Réghaia) [44]

VI.5.3 Stockage des boues:

Les boues mixtes peuvent être stockées avant leur envoi à la centrifugation, le stockage a pour but d'homogénéiser les deux types de boues produites au niveau de la STEP et ce par une agitation continue. Il existe deux bâches de stockage des boues au niveau de la STEP de Réghaia de volume de 441 m³ chacune, les bâches sont alimentées par deux pompes d'un débit de 23,2 m³/h chacune. Les sondes de mesures de niveau des deux bâches permettent l'arrêt des pompes des boues épaissies si un seuil prédéfini via la supervision est atteint. Les boues des bâches de stockage alimentent les centrifugeuses par quatre pompes d'un débit de 15 à 50 m³/h.



Figure VI.21 : *Bâche de stockage des boues* (Station de Réghaia) [44]

VI.5.4 Déshydratation des boues par centrifugation:

La boue arrive à la machine par un des deux cotés à l'aide de quatre pompes à débit variable, entre (5 et 50m³/h) .La partie liquide traverse alors toute la centrifugeuse (il existe quatre centrifugeuses au niveau de la STEP) dans sa zone la plus centrale tandis que les matières solides restent plaquées contre le bol extérieur sous la force de sa vitesse de rotation (3000 tr/min).La vis intérieure tourne dans le même sens que le bol mais à une vitesse plus importante peut récupérer les boues et les évacuer en sens inverse de l'eau jusqu' à la deuxième sortie de la machine. Afin de rendre possible la déshydratation des boues, l'ajout du polymère est indispensable pour leur floculation à l'intérieur des centrifugeuses.



Centrifugeuse



Boues déshydratées

Figure VI.22 : *Déshydratation des boues par centrifugation* (Station de Réghaia) [44]

VI.6 Poste toutes eaux :

Récupère et évacue les eaux chargées issues du prétraitement, surverse des deux épaisseurs, concentrât de la déshydratation, les écumes des fosses des trois clarificateurs et les eaux usées venant du bâtiment d'exploitation. Les eaux chargées sont acheminées par gravité vers la fosse à l'exception des écumes qui sont relevées par pompage. Les poires de niveau assurent le fonctionnement automatique des deux pompes d'un débit de 325 m³/h chacune dont une en secours, ainsi leur protection contre la marche à sec.



Figure VI 23 : *Poste toutes eaux* (Station de Réghaia) [44]

VI.7 Le pont bascule :

Le pont bascule est un système de pesage ayant une capacité de 60 tonnes constitué d'une plate-forme métallique et des capteurs, il mesure le poids des déchets, sables, boues évacuées et réactifs chimiques livrés.



Figure VI.24 : *Pont bascule* (Station de Réghaia) [44]

VI.8 Conclusion :

La STEP de Réghaia est l'une des plus grandes stations d'épuration en Algérie, située à un endroit stratégique, en amont du lac de Réghaia: un véritable joyeux naturel, classé depuis 2002 sur la liste RAMSAR des zones humides d'importance internationale. Cette station reçoit quotidiennement les rejets de l'une des plus importantes zones industrielles du pays. De ce fait, sa tâche n'est pas facile!

Avec des équipements relativement sophistiqués, mais une situation de plus en plus compliquée, cette station peut-elle atteindre ses objectifs ?

Nous allons répondre à cette question tout au long de ce travail

1. Récolte des données:

La première partie de l'étude a consisté à recueillir, pour la station d'épuration de Réghaia toutes les données disponibles. Les sources utilisées ont été les bilans d'auto-surveillance, les comptes rendu techniques, et les documents que possède l'exploitant.

Les données collectées sont consignées dans les tableaux se trouvant en Annexes II et III.

2. Interprétation des données disponibles:

La deuxième partie de l'étude a consisté à interpréter les résultats d'analyses disponibles, d'étudier les causes de variations et de vérifier le respect des normes.

3. Choix des indicateurs:

La troisième partie de l'étude a consisté à croiser les données obtenues sur plusieurs mois afin de définir des indicateurs, ceux-ci sont sous forme de ratios afin de pouvoir servir d'outils de comparaison.

Nous avons calculé divers indicateurs et en avons retenu un certain nombre. Pour être retenus, ils devaient :

- ♣ Pouvoir servir d'outils de suivi d'un phénomène bien précis,
- ♣ Avoir un point d'action précis pour pouvoir identifier les actions à mener en cas de déviation de l'indicateur,
- ♣ Etre interprétable, c'est-à-dire qu'il soit possible de leur associer des causes de variation.

L'interprétation des données disponibles et des ratios calculés nous a permis de **détecter les dysfonctionnements au sein de la STEP de Réghaia.**

4. Identification des causes des dysfonctionnements:

Dans cette partie nous avons identifié toutes les causes potentielles ayant pour origine des problèmes de fonctionnement de la station d'épuration et nous avons sélectionné celles qui ont fait l'objet d'une analyse poussée.

5. Recherche de solutions aux dysfonctionnements:

Après avoir identifié les causes principales des dysfonctionnements, nous avons cherché pour les causes les plus importantes toutes les solutions possibles en choisissant la solution qui répond le mieux aux critères de faisabilité, de couts et d'efficacité.

6. Optimisation de fonctionnement de la STEP de Réghaia:

Dans cette dernière partie nous avons étudié la possibilité d'introduire des technologies plus sophistiquées afin d'améliorer les performances de traitement biologique tout en diminuant les coûts d'exploitation.

Chapitre VII:

Détection des dysfonctionnements de la station d'épuration de Réghaia

[Si nous ne savons pas quel est le problème, comment peut-on savoir ce qui
doit être fait pour le résoudre?!]

Chapitre VII: Détection des dysfonctionnements de la station d'épuration de Réghaia

VII.1 Introduction:

L'identification des problèmes est le premier pas vers l'amélioration. C'est pourquoi nous allons voir dans ce chapitre comment détecter les dysfonctionnements de la station d'épuration de Réghaia en interprétant dans une première étape les données disponibles, dans une seconde étape, nous calculons les ratios et nous allons tenter de les interpréter dans une vision globale pour repérer les postes nécessitant une optimisation.

VII.2 Interprétation des paramètres de pollution:

La station ayant changé d'exploitant à partir de mars 2011. Nous avons décidé d'étudier les données disponibles pour la période avril 2011 à février 2012.

Les bilans mensuels d'analyses se trouvant en annexe III, nous présentons dans le tableau VII.1 les valeurs extrêmes minimales et maximales ainsi que les valeurs moyennes pour les différents paramètres.

Tableau VII.1 : Les paramètres de pollution dans les eaux brutes et les eaux épurées pour la STEP de Réghaia [STEP de Réghaia]

Paramètres	Valeurs minimales		Valeurs moyennes		Valeurs maximales		Rendement (%)
	Eau brute	Eau épurée	Eau brute	Eau épurée	Eau brute	Eau épurée	
Débit (m ³ /j)	16635	Absence de débitmètre à la sortie	34187	Absence de débitmètre à la sortie	71929	Absence de débitmètre à la sortie	
Température (°C)	10,36	10,21	20,73	20,61	31	30	
pH	7,16	7	7,45	7,37	7,73	8	
Conductivité (µS/cm)	1365	1170	2032	1874	2326	2207	
MES (mg/l)	201	9	333	22	442	42	93
MES (kg/j)	6051	301	10321	608	22165	1318	
DCO (mg/l)	357r	27	448	54	625	91	87
DCO (kg/j)	1117	91	13281	1329	26437	2517	
DBO ₅ (mg/l)	152	3	212	11	316	16	94
DBO ₅ (kg/j)	3492	213	6796	306	1193	467	
NTK (mg/l)	17,65	3,11	33,5	14,45	92	36	43
NGL (mg/l)	35	16,84	47,61	28	92	36	
NGL (kg/j)	582	438	1777	1003	1501	1907	37,75
N-NH ₄ ⁺ (mg/l)	9,17	0,17	16,22	11,16	23,00	23,42	
NH ₄ ⁺ (mg/l)	11,83	0,22	20,92	14,4	29,67	30,18	
N-NO ₃ ⁻ (mg/l)	0,5	0,15	2,67	5,43	5,78	13,51	
NO ₃ ⁻ (mg/l)	2,21	0,66	11,82	24,05	25,6	59,85	
N-NO ₂ ⁻ (mg/l)	0,44	0,05	0,79	0,35	1,24	0,82	
NO ₂ ⁻ (mg/l)	1,44	0,16	2,6	1,15	4,07	2,69	
P _T (mg/l)	2,58	0,12	3,79	1,36	6,11	2,51	72
P _T (kg/j)	52	3	174	54	435	105	
O ₂ dissous (mg/l) (BA)	1,62		3,54		6		

Chapitre VII: Détection des dysfonctionnements de la station d'épuration de Réghaia

Le tableau VII.2 donne la consommation des produits de traitement et d'électricité.

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

Valeurs Paramètres	Valeurs minimales	Valeurs moyennes	Valeurs maximales
Consommation électrique (KWh /j)	13592	16742	22618
Polymère (kg/j)	27	39	61

VII.2.1 Evolution du débit entrant:



Figure VII.1: Evolution du débit d'entrée d'avril 2011 à février 2012 pour la STEP de Réghaia

A l'entrée de la station les débits sont extrêmement variables, allant de 16635 m³/j mesuré en septembre 2011 à 71929 m³/j mesuré en février 2012. Ce débit maximum est 4 fois plus élevé que le débit minimal et représente 90% de la capacité nominale de la station (Tableau VII.1). Ce fort débit est dû à des précipitations intenses supérieures à 83 mm/jour.

La valeur moyenne est autour de 33234 m³/j représentant 41,5 % du débit nominal.

Taux de dilution:

On mesure ponctuellement des pointes brutales de charges hydrauliques, ces dépassements en volumes sont imprévisibles et peuvent détériorer de façon durable les performances de traitement de la station. Ainsi, la station a reçu des dépassements en volumes d'eaux usées à dix reprises entre le 29/11/2011 et le 20/02/2012 dont neuf dépassements sont enregistrés au cours du mois de février 2012 avec un taux de dilution moyen de 391% et un taux de dilution maximal, enregistré le 20/02/2011 de 739 %. Les eaux claires parasites ont représenté environ 901049 m³ durant la période (avril 2011 à février 2012). Ceci est à relier à des événements pluvieux importants et à la nature du réseau (réseau unitaire). Les résultats enregistrés durant le mois de février 2012 démontrent une sensibilité du réseau aux eaux claires parasites.

Le tableau VII.3 représente les résultats de calcul des volumes d'eaux claires parasites ainsi que les taux de dilutions correspondants aux pointes de charges hydrauliques.

Chapitre VII: *Détection des dysfonctionnements de la station d'épuration de Réghaia*

Tableau VII.3: Taux de dilution

Date	Eau Brute m³/j	Charge entrante kgDBO₅/j	Charge entrante(EH) 1EH=60g DBO₅/j	Volume d'eaux domestiques 150l/EH/j	Volume d'eaux claires parasites m³/j	Taux de Dilution %
29/11/2011	103813	13496	224933	33740	70073	208
02/02/2012	83728	20932	348867	52330	31398	60
03/02/2012	106189	8495	141583	21237	84952	400
04/02/2012	80255	4815	80250	12038	68217	567
13/02/2012	91364	4568	76133	11420	79944	700
14/02/2012	90568	7245	120750	18113	72455	399
15/02/2012	88382	7071	117850	17678	70704	400
16/02/2012	82458	9895	164917	24736	57722	233
19/02/2012	86254	11213	186883	28032	58222	208
20/02/2012	88038	20249	337483	50622	37416	739
Moyenne	90105	10798	179970	25084	63110	391

Pour la station d'épuration de Réghaia, les conséquences techniques de la présence de ces eaux parasites sont les suivantes :

- ♣ Surcharge des postes de relèvement avec augmentation des durées de pompage et donc des consommations d'énergie, usure mécanique des équipements...
- ♣ Une surcharge hydraulique provoquant le dépassement de la capacité de la station d'épuration et des rejets non traités au milieu naturel.
- ♣ La dilution de la pollution dont la réduction devient plus difficile et plus onéreuse donc une baisse du rendement épuratoire. De plus, les pointes de débit importantes nuisent à la qualité du processus d'épuration (décantation notamment par baisse des temps de séjour).

Un travail important reste à faire sur le réseau, de façon à se rapprocher de la valeur cible « 150 litres d'eaux usées par jour et par habitant » en éliminant progressivement les eaux claires. Cela permettra d'améliorer les performances de la station et la réduction des frais d'exploitation

Chapitre VII: Détection des dysfonctionnements de la station d'épuration de Réghaia

VII.2.2 Evolution des paramètres physico-chimiques:

♣ VII.2.2.1 Température:

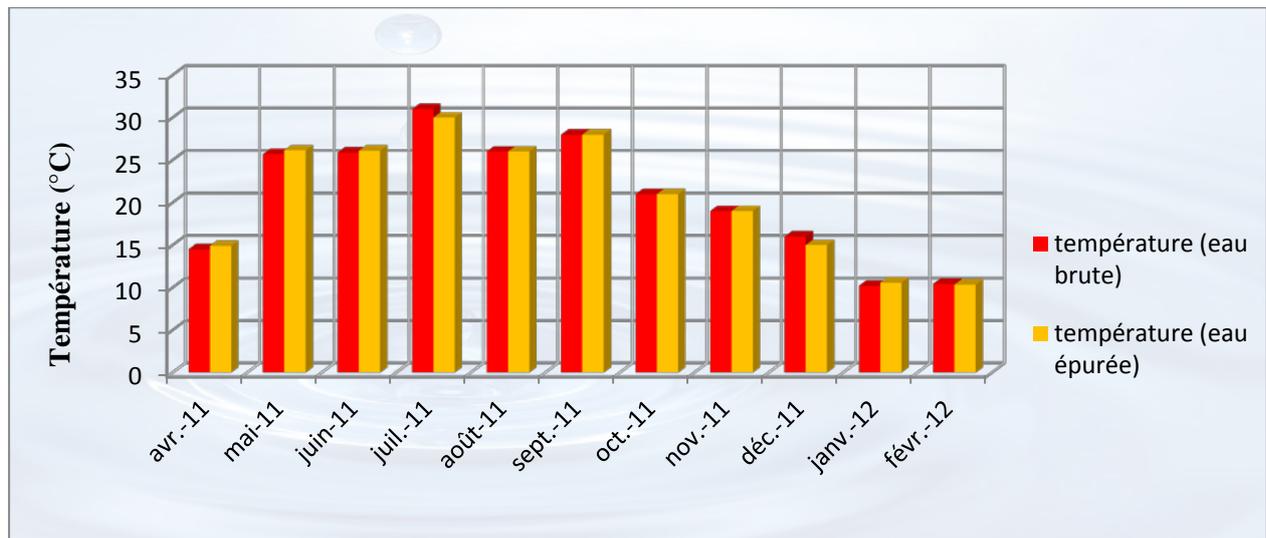


Figure VII.2: Evolution de la température d'avril 2011 à février 2012 pour la STEP de Réghaia

A l'entrée de la STEP de Réghaia les températures des eaux usées brutes sont comprises entre 10.2°C et 31°C comme valeurs extrêmes minimales et maximales enregistrées pour les mois de janvier 2012 et juillet 2011 respectivement avec une valeur moyenne de 21.7°C, ces variations de températures sont dues aux variations saisonnières et à la nature des rejets industriels.

Comparativement aux valeurs de températures enregistrées à l'entrée, aucune variation significative n'a été observée à la sortie. Les valeurs sont comprises entre 10.3 °C et 30 °C avec 20.6 °C comme valeur moyenne (tableau VII.1).

Toutes les températures enregistrées pendant la période avril 2011 à février 2012 sont conformes aux normes qui fixent 30 °C comme valeur limite de rejet direct dans le milieu récepteur [45]. De même ces valeurs de température sont inférieures à 35°C, considérée comme valeur limite indicative pour les eaux destinées à l'irrigation [46].

Chapitre VII: Détection des dysfonctionnements de la station d'épuration de Réghaia

VII.2.2.2 Le pH:

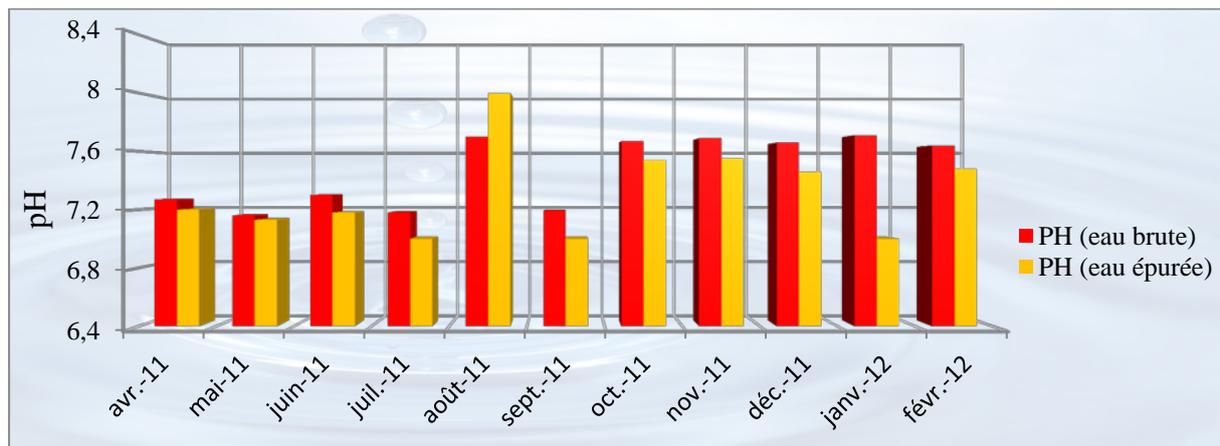


Figure VII.3 : Evolution du pH d'avril 2011 à février 2012 pour la STEP de Réghaia

A l'entrée de la station, les valeurs du pH varient entre 7.16 et 7.7 avec 7.4 comme valeur moyenne (Tableau VII.1), durant la période avril 2011 à février 2012, le pH a oscillé entre des valeurs voisines de la neutralité et des valeurs légèrement basiques.

A la sortie de la STEP le pH varie légèrement et oscille entre 7.1 et 8, respectivement comme valeurs extrêmes minimales et maximales avec une moyenne de 7.3.

Le pH est lié directement au phénomène de corrosion au niveau des canalisations, vu la nature en béton des canalisations raccordées à la STEP de Réghaia, ce problème reste négligeable. Ces valeurs concernant le pH sont en accord non seulement avec les limites [6.5-8.5] fixées par l'OMS, mais aussi avec les normes algériennes [6.5 -7.5].

VII.2.2.3 La conductivité électrique (CE):

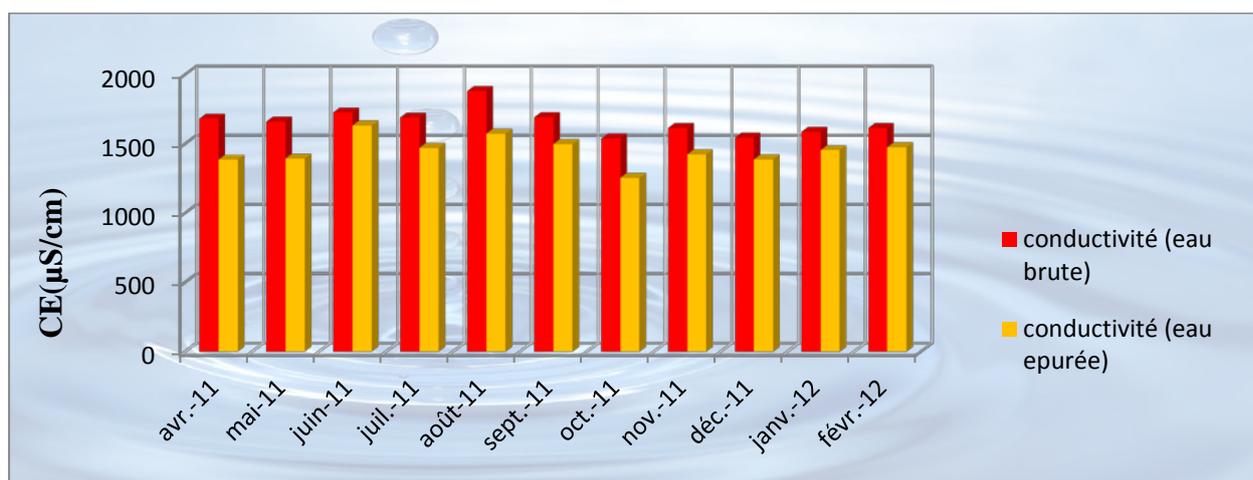


Figure VII.4: Evolution de la conductivité d'avril 2011 à février 2012 pour la STEP de Réghaia

La conductivité électrique de l'eau brute varie entre 1538 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 1880 $\mu\text{S}/\text{cm}$ comme valeurs extrêmes enregistrées respectivement aux mois de octobre 2011 et de août 2011 avec une moyenne de 1665 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

A la sortie de la STEP les valeurs de conductivité sont comprises entre 1254 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 1631 $\mu\text{S}/\text{cm}$ avec une moyenne de 1550 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Chapitre VII: Détection des dysfonctionnements de la station d'épuration de Réghaia

Que ce soit pour les eaux brutes ou pour les eaux épurées, les résultats obtenus mettent en évidence une minéralisation relativement importante de ces eaux exprimée en conductivité moyenne. Ces valeurs de conductivité pourraient être expliquées par des rejets industriels fortement minéralisés raccordés au collecteur.

Ces valeurs élevées de la conductivité de l'eau brute est à relier à une pollution industrielle à dominance métallurgique, c'est-à-dire les secteurs suivants : Sidérurgie et fabrication d'acier inox, fonderies, traitement de surface et galvanisation, fabrication de produits chimiques en général.

Les valeurs moyennes à la sortie de la STEP sont inférieures à 2700 $\mu\text{S}/\text{cm}$, considérée comme valeur limite de rejet dans le milieu récepteur [45]. 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 $\mu\text{S}/\text{cm}$, donc 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. [47]

VII.2.2.4 Oxygène dissous:



Figure VII.5 : Evolution de la concentration d'oxygène dissous d'avril 2011 à février 2012 pour la STEP de Réghaia

D'après le graphe donnant la concentration en oxygène dissous au niveau du bassin d'aération, on remarque des valeurs extrêmement variables allant de 1,62mg/l à 6 mg/l durant la période d'avril 2011 à février 2012 avec une moyenne de 3,54 mg/l. (Tableau VII.2)

En effet le niveau d'oxygénation de l'eau est la résultante d'un grand nombre de processus microbiologiques et physicochimiques, les trois mécanismes influençant fortement la concentration en oxygène dissous sont : l'activité hétérotrophe (dégradation de la matière organique), la respiration endogène et la nitrification [9].

On peut penser en premier lieu qu'une diminution de la quantité d' O_2 dissous est due à une forte charge organique représentée par la DBO_5 , en effet pour le mois de février 2012 la quantité d' O_2 dissous atteint un maximum de 6 mg/l pour une concentration faible en DBO_5 de 152 mg/l, néanmoins l'examen de la variation de la quantité d' O_2 dissous en fonction de la DBO_5 montre l'absence d'une proportionnalité (Annexe III), l'hypothèse précédente est peu probable, de plus des concentrations en O_2 dissous comprises entre 2-3mg/l sont largement

Chapitre VII: Détection des dysfonctionnements de la station d'épuration de Réghaia

suffisantes durant la phase d'aération (nitrification). De ce fait on peut penser en deuxième lieu à un mauvais choix de la vitesse d'aération et de la puissance adaptée à la charge à traiter.

La concentration en O₂ dissous dépend de la vitesse d'appauvrissement du milieu en O₂ par activité des organismes aquatiques. Cette activité de la biomasse épuratrice est en relation directe avec les conditions du milieu (pH, température, conductivité), il y a lieu d'examiner les valeurs de ces paramètres au niveau du bassin d'aération.

Quel que soit la cause de cette anomalie, l'efficacité du traitement est influencée. Cette suraération peut entraîner un dégazage dans le clarificateur et favoriser la formation du flottants, elle peut également conduire à une diminution de la qualité d'eau traitée par la présence de fortes concentrations en nitrates à la sortie de la station (ce qui est remarqué) (tableau VII.1).

VII.2.3 Les paramètres de la pollution particulaire: Matières en suspension

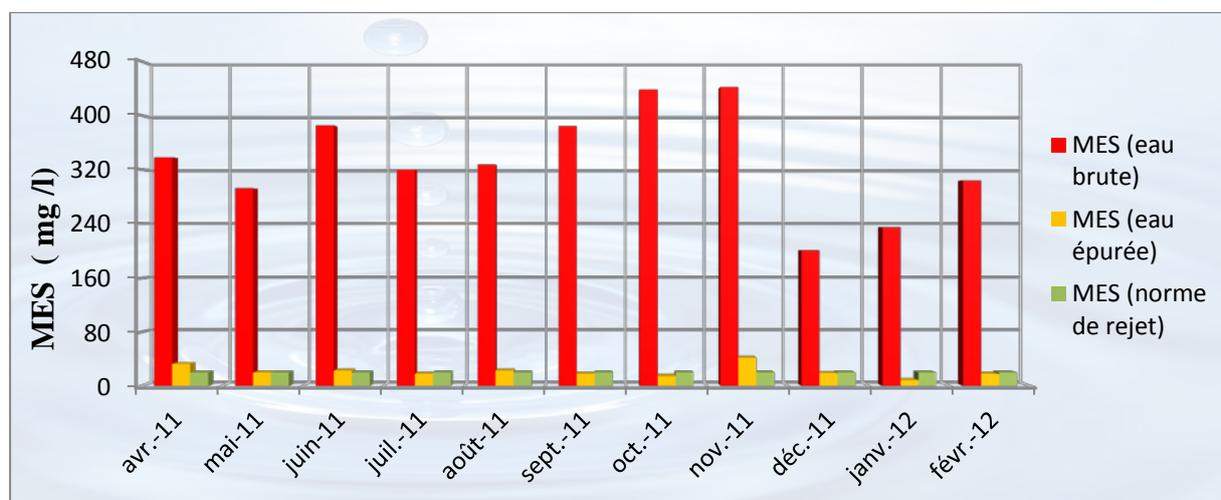


Figure VII.6: Evolution de la concentration en MES d'avril 2011 à février 2012 pour la STEP de Réghaia

Les eaux usées à l'entrée de la STEP de Réghaia sont caractérisées par une concentration moyenne de 333 mg/l en MES avec une concentration maximale de 442 mg/l et une concentration minimale de 201 mg/l (Tableau VII.1). Les valeurs enregistrées sont inférieures à la charge nominale de la station à l'exception du mois de février 2012 où la charge massique en MES atteint 22165 kg/j, soit encore 111% de la charge nominale (Annexe III). Ceci est à relier à l'augmentation du flux de MES par temps de pluie qui provient majoritairement de la remise en suspension des dépôts accumulés (dépôts et biofilms) dans le collecteur. [29-30]

A la sortie de la station les valeurs de MES oscillent entre 9 mg/l et 42 mg/l comme valeurs extrêmes respectives minimales et maximales avec une moyenne de 22 mg/l. Le rendement d'élimination varie entre 89% et 96% avec une moyenne de 93%. Ceci est dû principalement à la variation du débit d'entrée induisant une variation de temps de séjour dans le décanteur primaire. Malgré ces valeurs importantes de rendement, la valeur moyenne à la sortie dépasse légèrement la norme de rejet fixée par l'OMS qui est de 20 mg/l (Tableau II-2). Ceci est dû aux fortes charges entrantes atteignant en moyenne 55 % de la charge nominale. Néanmoins, ces valeurs restent inférieures à la norme algérienne qui est de 35mg/l.

Chapitre VII: Détection des dysfonctionnements de la station d'épuration de Réghaia

VII.2.4 Evolution des paramètres de la pollution organique globale:

VII.2.4.1 La demande chimique en oxygène (DCO):

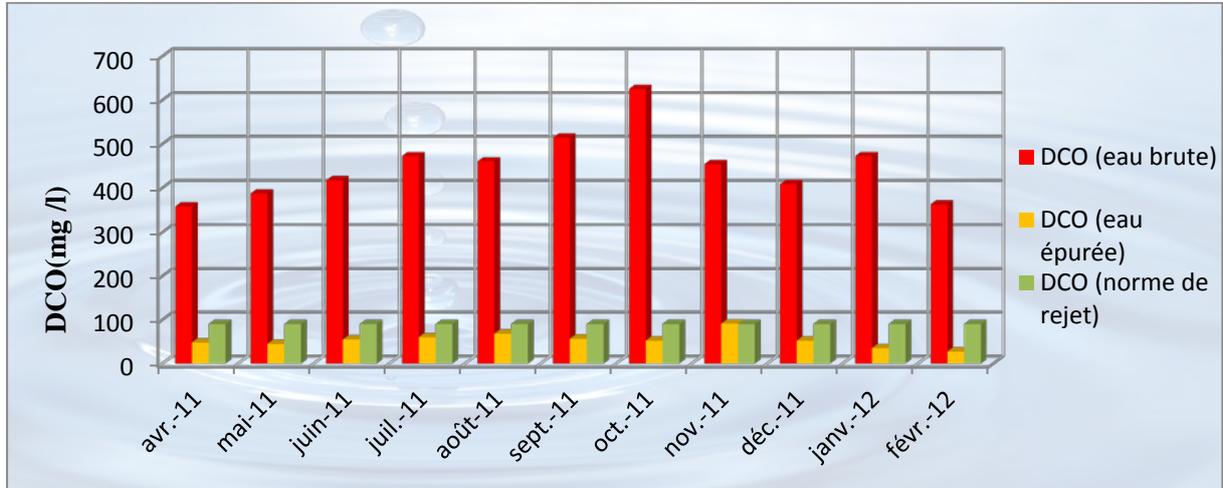


Figure VII.7 : Evolution de la demande chimique en oxygène d'avril 2011 à février 2012 pour la STEP de Réghaia

Les valeurs de la DCO enregistrées à l'entrée de la station varient entre 357 mg/l et 625mg/l comme valeurs maximales et minimales respectives avec une moyenne de 440 mg/l (Tableau VII.1).

La pointe de la charge en DCO atteint 26437 kg/j, soit 93% de la capacité nominale (Tableau VII.1), ceci a pour origine les débits élevés enregistrés pendant le mois de février 2012 par suite des précipitations intenses supérieures à 83 mm/jour [A]

A la sortie de la station, la concentration en DCO varie entre 27 mg/l et 91 mg/l avec 51 mg/l comme valeur moyenne. Ces valeurs sont en général inférieures à 90 mg/l, considérée comme valeur limite de rejet direct fixée par l'OMS. (Tableau II.3), de même la valeur moyenne est inférieure à 120 mg/l (norme de DCO prescrite dans le journal officiel de la république algérienne).

Le degré d'abattement de la DCO varie entre 83% et 91% avec une moyenne de 87% (Tableau VII.1), la valeur minimale du rendement a pour origine une forte concentration en DCO dure qui ne peut pas être métabolisée par les bactéries (pollution industrielle).

Chapitre VII: Détection des dysfonctionnements de la station d'épuration de Réghaia

VII.2.4.2 La demande biologique en oxygène (DBO₅):

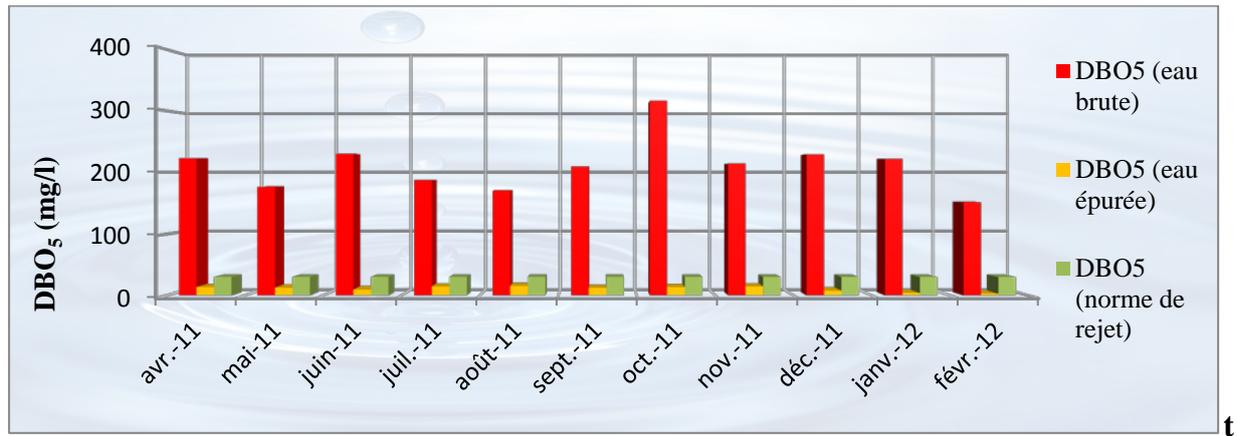


Figure VII.8: Evolution de la demande biologique en oxygène d'avril 2011 à février 2012 pour la STEP de Réghaia

Les valeurs de la DBO₅ enregistrées à l'entrée de la station varient entre 152 mg/l et 316 mg/l comme valeurs maximales et minimales respectivement. La moyenne oscille autour de 207 mg/l soit encore 6592 kg/j ce qui représente 42% de la capacité nominale de la station (Tableau VII.1)

A la sortie de la station, les valeurs de la DBO₅ oscillent entre 3 mg/l et 16 mg/l avec une moyenne de 11 mg/l. Ces valeurs sont inférieures à 30 mg/l considérée comme valeur limite de rejet direct fixée par l'OMS (tableau II.3). De même ces valeurs restent au-dessous de la norme algérienne qui fixe à 35 mg/l la valeur extrême. Ceci peut être expliqué par un rendement d'élimination important variant entre 90% et 98% avec une moyenne de 94% (Tableau VII.1)

VII.2.5 Evolution des paramètres de pollution dissoute :

VII.2.5.1 Le phosphore total :

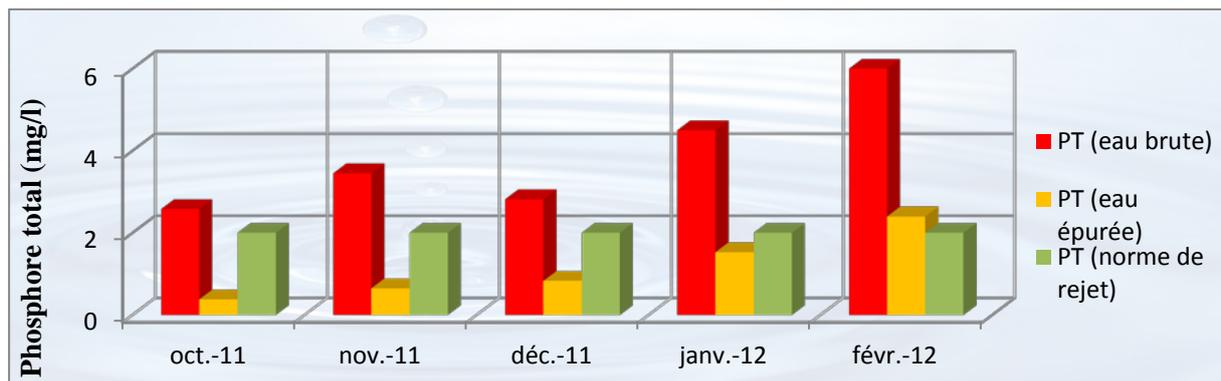


Figure VII.9 : Evolution de la concentration du phosphore total de octobre 2011 à février 2012 pour la STEP de Réghaia

A l'entrée de la STEP de Réghaia, la concentration du phosphore total oscille entre 2,58 mg/l et 6 mg/l avec une moyenne de 3,82 mg/l, soit encore une charge massique de 122 kg/j ce qui représente 22% de la capacité nominale de la station (Tableau VII.1)

Chapitre VII: Détection des dysfonctionnements de la station d'épuration de Réghaia

Les concentrations en phosphore total à la sortie de la station varient entre 0,38 mg/l et 2,4 mg/l avec une moyenne de 1,13 mg/l (Tableau VII.1). Ces valeurs sont inférieures à la norme de rejet fixée par l'OMS qui est de 2mg/l (Tableau II. 4) à l'exception du mois de février 2012 où elle atteint 2,4 mg/l ayant pour origine une charge massique forte en entrée de station représentant 81% de la capacité nominale. Néanmoins ces concentrations restent largement inférieures à la norme algérienne qui est de 10 mg/l.

Les rendements d'abattement du phosphore total varient entre 66% et 85% avec une moyenne de 72 %, en effet la station reçoit des quantités relativement faibles en phosphore total, et ne nécessite donc pas l'utilisation de la filière du traitement chimique du phosphore existante.

VII.2.5.2 Azote global:

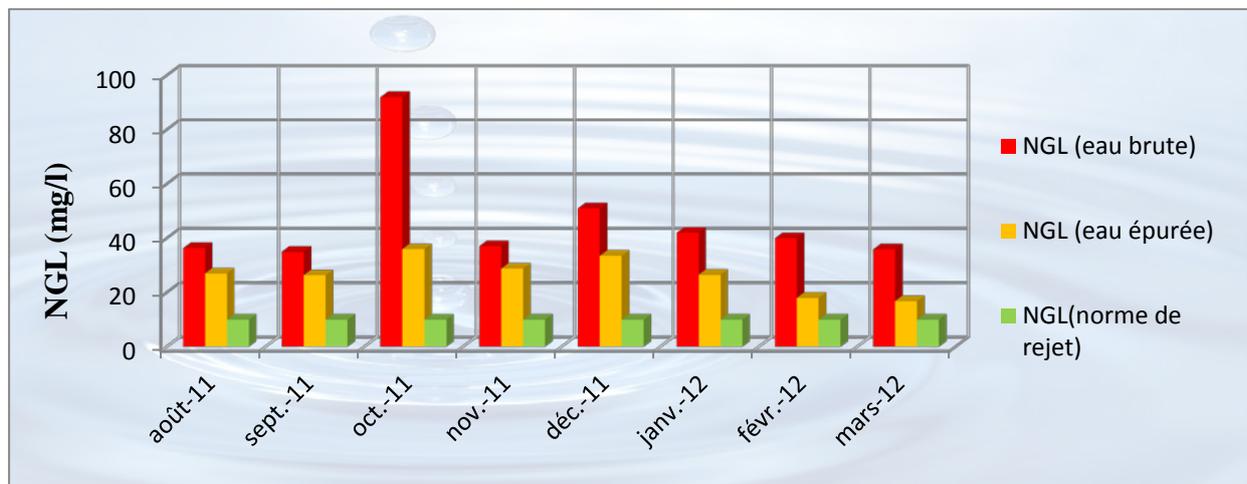


Figure VII.10: Evolution de la concentration en azote global de août 2011 à février 2012 pour la STEP de Réghaia

A l'entrée de la STEP de Réghaia les concentrations en azote global varient entre 35 mg/l et 92 mg/l avec une moyenne de 48 mg/l (Tableau VII.1) soit encore une charge massique de 1529 kg/j ce qui représente 78% de la capacité nominale de la station. On remarque des dépassements respectifs de 27%, 14% et 46% de la capacité nominale pour les mois de décembre, janvier et février 2012, ayant pour origine les débits élevés pendant cette période.

A la sortie de la STEP les concentrations en azote global oscillent entre 17 mg/l et 36 mg/l avec une moyenne de 28 mg/l (Tableau VII.1), ces valeurs dépassent largement la norme commune fixée par l'OMS et par le journal officiel de la république algérienne qui est de 10 mg/l (Tableau II.4), cela peut avoir pour origine des effluents très chargés à l'entrée de la station avec des rendements épuratoires faibles, en effet le degré d'abattement moyen de l'azote global est de 37,75 %.

Chapitre VII: Détection des dysfonctionnements de la station d'épuration de Réghaia

VII.2.5.3 Ammonium:

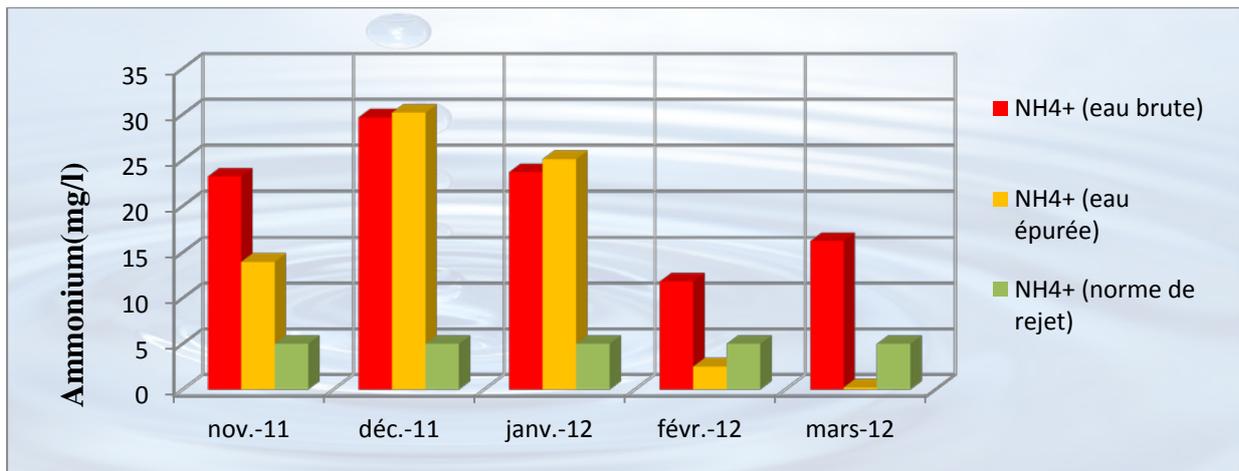


Figure VII.11 : Evolution de la concentration d'ammonium de novembre 2011 à mars 2012 pour la STEP de Réghaia

A l'entrée de la station les concentrations d'ammonium varient entre 11,83 mg/l et 29,67 mg/l avec une moyenne de 20,93 mg/l (Tableau VII.1), ces variations sont fonction de la température et du temps de séjour dans le réseau de collecte. [9]

A la sortie de la STEP, les concentrations d'ammonium sont extrêmement variables, allant de 0,22mg/l à 30,18 mg/l avec une moyenne de 14,41 mg/l, la valeur moyenne est supérieure à la valeur limite de 5 mg/l fixée par l'OMS (Tableau II.4).

Durant la période décembre 2011 à janvier 2012, la concentration d'ammonium en sortie de STEP est supérieure à celle en entrée, on suppose un problème au niveau de la nitrification, ceci peut être dû à une aération insuffisante et/ou à des fortes charges organiques entrantes [9].

Ces valeurs élevées en ammonium à la sortie de la STEP ont un effet néfaste sur la vie aquatique au niveau du lac de Réghaia, sachant que cette dernière peut être gravement atteinte pour des concentrations en azote ammoniacal de l'ordre de 2 mg/l et un pH de 7,4 à 8,5. De plus certaines espèces de poissons sont sensibles à des seuils beaucoup plus bas.

Chapitre VII: Détection des dysfonctionnements de la station d'épuration de Réghaia

VII.2.5.4 Nitrates:

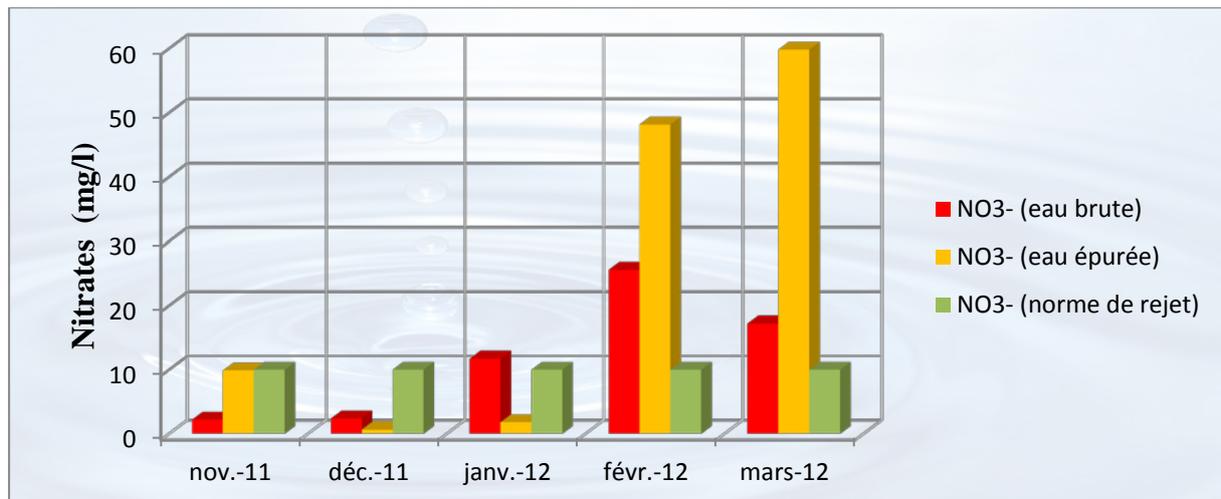


Figure VII.12: Evolution de la concentration de nitrates de novembre 2011 à mars 2012 pour la STEP de Réghaia

A l'entrée de la STEP, les concentrations de nitrates varient entre 2,22 mg/l et 25,61 mg/l avec une moyenne de 11,84 mg/l.

Les valeurs de nitrates enregistrées à la sortie de la station présentent des variations considérables allant de 0,66 mg/l à 59,85 mg/l avec une moyenne de 24,07 mg/l, cette valeur dépasse la valeur de rejet direct fixée par l'OMS qui est de 10 mg/l [28].

En effet les concentrations élevées de nitrates à la sortie de la STEP enregistrées pour les deux mois de février et mars 2012 indiquent une forte oxygénation (6 mg/l et 6,5 mg/l respectivement) et laissent supposer un problème au niveau de la dénitrification, ce dernier peut être dû à :

- ♣ Une utilisation directe de l'oxygène dissous par les bactéries dénitrifiantes au lieu d'utiliser l'oxygène contenu dans les nitrates.
- ♣ Indépendamment du problème de l'oxygène, on pense à des conditions défavorables pour l'activité des bactéries dénitrifiantes (pH, température, conductivité).

VII.3 Calcul et interprétation des ratios :

Nous avons déterminé huit ratios concernant la file eau et trois ratios relatifs à la file boues, les résultats de calcul sont donnés en Annexe VI.

VII.3.1 Ratios file eau :

VII.3.1.1 Indice de biodégradabilité : Rapport DCO/DBO₅



Figure VII.13 : Evolution du rapport DCO/DBO₅ d'avril 2011 à février 2012 à l'entrée de la STEP de Réghaia.

Le rapport DCO/DBO₅ qui caractérise la biodégradabilité de l'effluent est ici compris entre 1,61 et 2,69 en entrée de station avec une moyenne de 2,15. Cette variation est liée à la nature des rejets industriels. Pour un effluent urbain moyen cette valeur est d'environ 2,3 (Tableau III.1).

Ce rapport est plus élevé quand la part de matières oxydables non biodégradables est importante, en effet la plus grande valeur est enregistrée pendant le mois de août 2011, cette dernière peut être liée à un flux de rejet industriel riche en métaux lourds et matières minérales difficilement biodégradables induisant une conductivité électrique élevée de 1880 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Une valeur élevée de ce ratio est obtenue lors d'un événement pluvial important (février 2012) est en rapport avec le lessivage des sols en amont du réseau traduisant une DCO élevée. Cette tendance est en accord avec celle trouvée dans la littérature [48].

Nous représentons sur la figure VII.14 l'évolution du rapport DCO/DBO₅ à l'entrée et à la sortie de la STEP de Réghaia.

Chapitre VII: Détection des dysfonctionnements de la station d'épuration de Réghaia

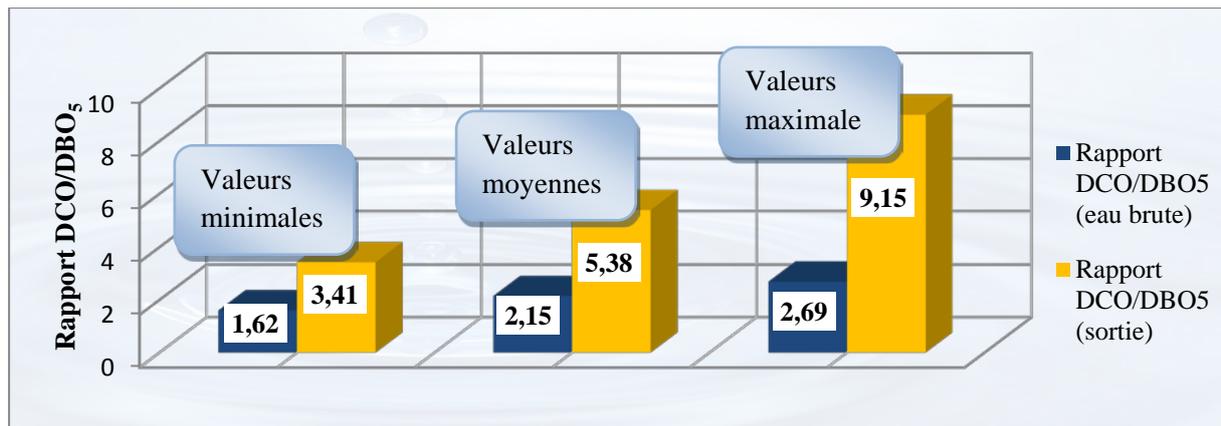


Figure VII.14 : Comparaison de la biodégradabilité de l'effluent à l'entrée et à la sortie de la STEP de Réghaia.

Les résultats montrent une diminution de la part de matières organiques oxydables durant le processus de traitement avec un rapport DCO/DBO₅ moyen en entrée de 2,15 et un rapport DCO/DBO₅ moyen en sortie de 5,38. (Annexe VI)

L'examen du rapport DCO/DBO₅ souligne bien le **caractère biodégradable** des eaux usées à l'entrée de la STEP de Réghaia (Tableau III.1). La valeur moyenne de ce rapport à la sortie de la STEP vient conforter cette observation. Cependant, dans **82 %** des cas, cette valeur est sensiblement **inférieure à 2,5**, de ce fait **l'effluent est apte au traitement biologique**.

VII.3.1.2 Rapport nutritionnel: Rapport C/N/P :

La concentration des différents éléments nutritifs dans les eaux usées doit être équilibrée et correspondre aux besoins des microorganismes épurateurs au sein des boues activées. Cela est primordial pour l'efficacité des processus de décomposition biologique. Les principaux éléments nutritifs nécessaires sont le carbone, l'azote et le phosphore. Un équilibre nutritionnel est primordial pour que les microorganismes puissent effectuer une décomposition optimale. Cet équilibre est exprimé par le ratio DBO₅ / N-NH₄⁺ / P-PO₄³⁻.

Le métabolisme bactérien s'accompagne de besoins azotés sous forme d'azote ammoniacal et de besoins phosphorés sous forme d'orthophosphates dans les proportions suivantes : DBO₅/N-NH₄⁺/P-PO₄³⁻ (100/5/1). Ce rapport est appelé aussi rapport C/N/P.[27]

Les calculs du rapport C/N/P sont donnés dans le tableau VII.4:

Tableau VII.4 : Evolution du rapport nutritionnel de novembre 2012 à mars 2012 pour la STEP de Réghaia

Mois	Novembre 2011	Décembre 2011	Janvier 2012	Février 2012	Mars 2012
Rapport C/N/P	100/8,41/1,62	100/10/1,23	100/8,28/2	100/6/3,95	100/8,81/2

Dans le cas de la STEP de Réghaia, pour une DBO₅ moyenne de 192 mg/l et pour respecter ce ratio théorique, les concentrations en N-NH₄⁺ et P-PO₄³⁻ doivent être respectivement de 9,6 mg/l et 1,92 mg/l. Or les valeurs moyennes enregistrées à savoir 16,23 mg/l en N-NH₄⁺ et 3,95 mg/l en P-PO₄³⁻ indiquent des hausses de 69 % pour N-NH₄⁺ et de 106 % pour P-PO₄³⁻ par rapport au ratio théorique. Ce déséquilibre en nutriments peut constituer un handicap au niveau

Chapitre VII: Détection des dysfonctionnements de la station d'épuration de Réghaia

du traitement biologique. Ces concentrations élevées en ammonium et en orthophosphates sont liées à des rejets industriels.

Un excès en nutriments implique des rejets non conformes aux normes, en effet pour le mois de novembre 2011, l'augmentation de la concentration d'ammonium à l'entrée de la STEP provoquant un déséquilibre nutritionnel a causé un rejet avec une concentration en ammonium de 10,53 mg/l, dépassant largement la valeur fixée par l'OMS (5 mg/l).

Pour le phosphore, même si les concentrations en entrée de la STEP dépassent le besoin nutritionnel, les valeurs en sortie de station sont dans la plus part des cas inférieures à la norme fixée par l'OMS (2mg/l). Ceci s'explique par des temps de séjour suffisants dans les décanteurs primaires (anaérobie) (> 4h) et dans les bassins d'aération (aérobie) (>2h) pour que les réactions de relargage puis de réabsorption soient assurées. De même, il faut noter que le phosphore subit une élimination préalable au niveau du décanteur primaire avec un rendement épuratoire de 12% [44] avant son arrivée au bassin d'aération, cette élimination est principalement due à une précipitation naturelle qui a lieu au contact de cations (tels que les ions calcium ou ferriques) apportés par les eaux usées.

VII.3.1.3 Caractérisation du type de la pollution à l'entrée de la STEP de Réghaia : Rapport MES/DBO₅

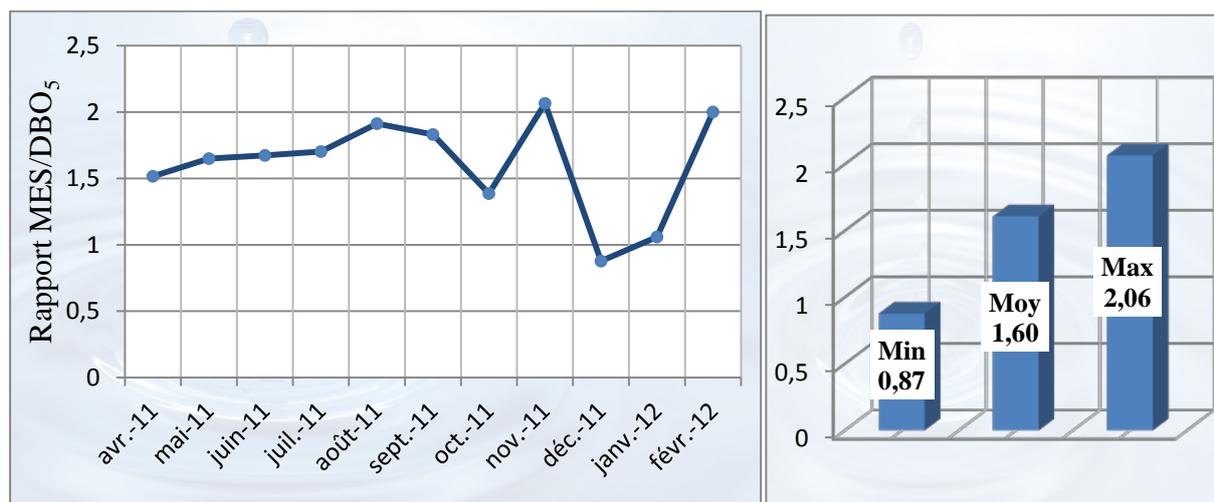


Figure VII.15 : Evolution du rapport MES/DBO₅ à l'entrée de la STEP de Réghaia d'avril 2011 à février 2012.

Nous calculons ce ratio pour caractériser le type de la pollution des eaux usées à l'entrée de la STEP de Réghaia, avec une valeur moyenne de 1,6, nous constatons que la pollution de ces eaux est plutôt particulaire que dissoute, ce qui caractérise un réseau essentiellement unitaire, un prétraitement suivi d'une décantation visant à éliminer une grande partie de cette pollution particulaire est donc indispensable pour ne pas perturber la chaîne d'épuration et particulièrement le réacteur biologique.

Des variations concernant ce ratio sont ainsi observées et peuvent être attribuées au phénomène de sédimentation-érosion au sein du réseau ainsi qu'au lessivage du sol. Des valeurs élevées de ce rapport sont généralement dues à l'augmentation du flux de MES rejetés par temps de pluie dans les milieux récepteurs à cause de la remise en suspension des dépôts accumulés dans le collecteur. [6 et 15].

Chapitre VII: Détection des dysfonctionnements de la station d'épuration de Réghaia

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

VII.3.1.4 Evaluation de l'organicité de l'effluent à l'entrée de la STEP de Réghaia : Rapport MVS/MES:

Afin d'évaluer l'organicité de l'effluent à l'entrée de la station, nous avons déterminé le rapport matières volatiles en suspension par matières en suspension (MVS/MES):

♣ Détermination du pourcentage des matières volatiles dans l'eau brute:

Le pourcentage en matières volatiles en fonction du rapport MES/DBO₅ est donné dans le tableau VII.5 d'après [49].

Tableau VII.5 : Evolution du % en MVS en fonction du rapport MES/DBO₅ [49]

MES/DBO ₅	% MVS
0,67	75
0,83	70
1	68
1,17	65

Nous déterminons par la suite une corrélation reliant le pourcentage en matières volatiles en fonction du rapport MES/DBO₅.

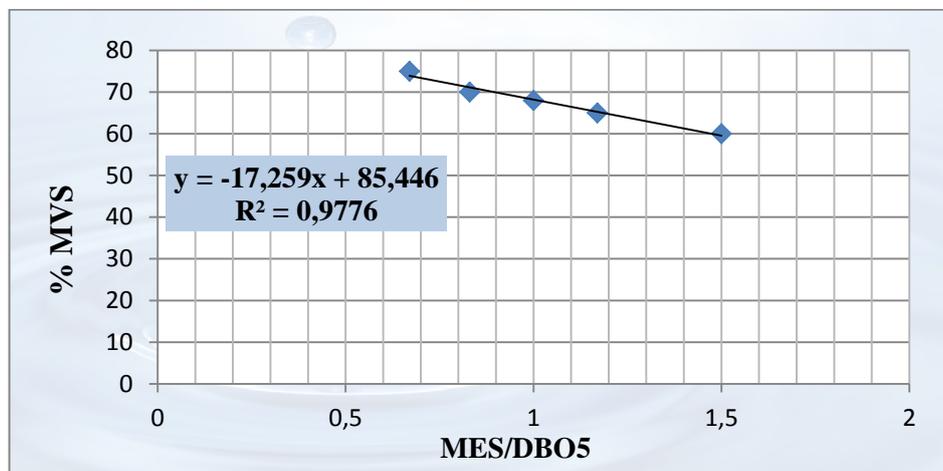


Figure VII.16 : Evolution du % en MVS en fonction du rapport MES/DBO₅

Nous calculons alors, les concentrations en MVS à l'entrée de la station ainsi que le rapport MVS/MES, les résultats sont illustrés dans le graphe VII.17

Chapitre VII: Détection des dysfonctionnements de la station d'épuration de Réghaia



Figure VII.17 : Evolution de l'organicité de l'effluent à l'entrée de la STEP de Réghaia d'avril 2011 à février 2012.

Les valeurs du rapport MVS/MES qui indique l'organicité de l'effluent varient entre 0,5 et 0,7 avec une moyenne de 0,58. Ce rapport est situé généralement entre 0.65 et 0.75. (Tableau III.1)

Les valeurs enregistrées sont dans 82% des cas inférieures à 0,65, ce qui caractérise un réseau unitaire par temps de pluie ou un rejet industriel à caractère minéral.

Nous remarquons ainsi des valeurs relativement élevées de ce ratio pour la période de décembre à janvier 2012 indiquant que les particules en suspension dans ces eaux usées sont en grande majorité de nature organique, la diminution de ce rapport pour le mois de février 2012 révèle une pollution minérale importante durant les événements pluvieux suite au lessivage du bassin versant.

La valeur élevée du rapport MVS/MES enregistrée pendant le mois de décembre 2012 indique que l'effluent est de nature organique, ce qui a conduit à :

- Une importante production de boues biologiques en excès, (65689 kg)
- Un taux de MVS important dans le réacteur biologique atteignant 58 %.
- Un indice de Mohlman élevé de 128.

VII.3.1.5 Degré d'ammonification : Rapport NH_4^+/NTK



Figure VII.18 : Evolution du rapport NH_4^+/NTK de novembre 2011 à mars 2012 à l'entrée de la STEP de Réghaia.

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 NH_4^+/NTK [34].

Comme il est illustré sur le graphe ci-dessus, des variations remarquables et parfois brusques de ce ratio sont constatées, en effet ces valeurs varient entre 0,35 et 0,65 avec une moyenne de 0,54 (Annexe VI). Pour un effluent urbain classique, le rapport NH_4^+/NTK est compris entre 0,6 et 0,8. (Tableau III.1).

Pendant la période de novembre 2011 à janvier 2012, les valeurs élevées de ce ratio ont pour origine un taux d'ammonification important pendant le transfert de l'effluent dans le réseau, ce taux d'ammonification est directement lié au temps de séjour qui devient plus élevé lorsque les évènements pluvieux sont moins importantes, de ce fait la majorité de la pollution azotée passe sous la forme d'ion ammonium.

La valeur minimale de ce rapport atteinte pendant le mois de février 2012 coïncide avec le débit maximal reçu par la STEP suite à des évènements pluvieux importants qui conduisent à un temps de séjour très court de l'effluent dans le réseau, de plus des valeurs basses de températures (10°C) ralentissent la vitesse de la réaction d'ammonification, de ce fait la quasi-totalité de la pollution azotée se trouve en entrée de STEP sous forme organique.

Un rapport NH_4^+/NTK faible indique qu'une grande partie d'azote se trouve sous forme organique et ne peut pas être assimilée et donc traitée biologiquement, ce qui constitue la limite du traitement biologique d'azote. Néanmoins l'examen du rendement d'élimination de l'azote global en fonction du degré d'ammonification indique la présence d'autres facteurs qui perturbent le traitement de la pollution azotée, en effet pour le mois de janvier 2012, le degré d'abattement de l'azote global reste faible (26%) pour un degré d'ammonification élevé de 0,61.

VII.3.1.6 Efficacité de la nitrification : Rapport DCO/NTK :



Figure VII.19 : Evolution du rapport DCO/NTK de novembre 2011 à mars 2012 à l'entrée de la STEP de Réghaia.

Les valeurs du ratio DCO/NTK sont comprises entre 8,29 et 12,73 avec une moyenne de 10,79 (Annexe V). Rappelons que pour un effluent urbain, la valeur du ratio DCO/NTK est d'environ 8,8 à 12 (Tableau III.1).

En effet ces variations sont dues à de grandes fluctuations des charges polluantes en entrée de station, causées par des événements pluvieux importants d'une part et par la variation notable de la concentration en azote Kjeldahl à l'entrée de la STEP d'autre part.

Ces valeurs élevées perturbent la réaction de nitrification et donc influence le taux d'abattement de l'azote. En effet Thiem, (1988) et Hanaki (1996) rapportent que de fortes charges organiques impliquent un % de nitrification plus faible. Ainsi, les bactéries hétérotrophes peuvent entrer en compétition pour l'azote qu'elles consomment pour leurs besoins anaboliques et limitent le processus de nitrification en réduisant la quantité d'ammoniaque et d'oxygène disponible pour la nitrification et en limitant localement l'accès à l'ammoniaque pour les bactéries nitrifiantes.

On peut remarquer qu'une valeur élevée de ce rapport correspond à un taux d'abattement d'azote faible, ainsi la plus grande valeur de ce rapport enregistrée pendant le mois de novembre 2011 coïncide avec le plus faible rendement d'élimination de l'azote global (23%) tandis qu'une valeur faible de ce rapport pour le mois de mars 2012 correspond à un taux d'abattement d'azote globale de 53%.

Enfin l'examen du rapport **DCO/NTK** indiquera les possibilités et la faisabilité de la réaction de **nitrification** et donne une idée globale sur le taux d'abattement de l'azote. Néanmoins la charge polluante n'est pas le seul paramètre influençant le processus de nitrification. En effet pour le mois de décembre 2011, ce ratio atteint sa valeur minimale de 8,29 alors que le rendement d'élimination reste faible (environ 33%) ce qui suppose la présence d'autres paramètres influençant la cinétique de nitrification.

VII.3.1.7 Cinétique de dénitrification : Rapport DBO_5/N à dénitrifier:



Figure VII.20 : Evolution du rapport DBO_5/N à dénitrifier de décembre 2011 à mars 2012 à l'entrée de la STEP de Réghaia

Nous calculons ce rapport pour juger la cinétique de dénitrification, en terme de quantité, le procédé de dénitrification est ralenti si le rapport DBO_5/N à dénitrifier devient inférieur à 2, l'USEPA (agence environnementale américaine) préconise même une valeur minimale de 3. Idéalement, ce rapport est de 10. [35]

Le rapport DBO_5/N à dénitrifier qui est directement lié au processus de dénitrification présente des valeurs variables allant de 10,34 à 21,47 en entrée de la STEP de Réghaia avec une moyenne de 15,46 (Annexe VI).

En effet durant la période de décembre 2011 à janvier 2012, la valeur de ce rapport reste supérieure à la valeur critique de 3 (Tableau III.1), ce qui implique que la dénitrification est bonne. L'augmentation du rapport est due à l'augmentation de la charge de DBO_5 à l'entrée de la station suite à l'augmentation du débit entrant (Réhabilitation de postes de relevage).

Une diminution du rapport est observée durant la deuxième période allant de janvier 2012 à février 2012, cette diminution est due principalement à une augmentation de la charge d'azote en entrée de la STEP, en effet un dépassement de 46% de la capacité nominale est enregistré.

A partir du mois de février 2012, ce ratio a augmenté pour atteindre sa valeur maximale de 21,47 au mois de mars 2012, ceci s'explique par une diminution de la pollution azotée en entrée de la station, notamment la charge entrante en azote Kjeldahl qui présente une baisse de 20% par rapport au mois de février 2012.

Pour toute la période d'étude, les valeurs du ratio DBO_5/N à dénitrifier sont supérieures à 3, de ce fait l'apport en matières organiques biodégradables nécessaires au processus de dénitrification est assuré, ce qui suppose une bonne réduction de nitrates en azote moléculaire (N_2), sachant que le rendement de la dénitrification est amélioré par l'augmentation de la charge organique [9]. Néanmoins des concentrations élevées en nitrates à la sortie de la station durant la période allant de février à mars 2012 (25,6 mg/l et 17,23 mg/l respectivement) indiquent **l'inhibition de la dénitrification et suppose la présence d'autres paramètres influençant le rendement d'élimination de nitrates**. Les rejets en sortie de la STEP ne sont pas conformes aux normes, la concentration élevée en nitrates à la sortie de la station constitue un problème crucial provoquant l'eutrophisation du milieu récepteur et pouvant être responsable de la méthémoglobinémie (cyanose) des nourrissons après réduction en nitrites [50].

VII.3.1.8 Etude de traitement biologique du phosphore : Rapport DCO/ P_T

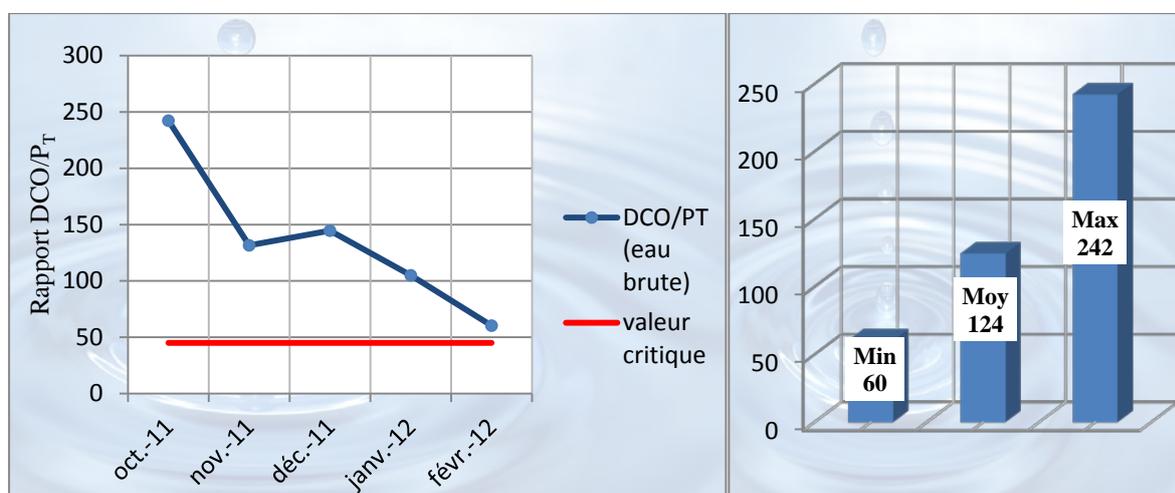


Figure VII.21 : Evolution du rapport DCO/ P_T de octobre 2011 à février 2012 à l'entrée de la STEP de Réghaia.

Le rapport DCO/ P_T qui indiquera les possibilités et la faisabilité d'un traitement biologique du phosphore est ici compris entre 60 et 242 en entrée de station avec une moyenne de 125. Pour un effluent domestique urbain moyen cette valeur est d'environ 47 (Tableau III.1)

Un rapport faible indique une mauvaise déphosphatation pouvant être liée à une quantité de DCO facilement biodégradable (AGV) moins importante : afin d'assurer une déphosphatation efficace, les eaux usées doivent contenir une quantité minimale d'AGV comprise entre 25 et 100 mg/l pour chaque mg de P à éliminer. En effet la plus faible valeur est enregistrée pour le mois de février 2012, par temps de pluie, la concentration d'AGV dans l'eau usée diminue et le rendement de déphosphatation également, de même la diminution de la température pour les deux mois de janvier 2012 et février 2012 influence les vitesses de relargage/réabsorption de phosphore, de croissance bactérienne et de consommation de substrat ralentissant ainsi le processus d'absorption-désorption, de plus on peut constater une augmentation de la quantité de nitrates dans l'effluent pendant le mois de février 2012 (19 mg/l), le sous-groupe des bactéries déphosphatantes aérobies facultatives (intervenant dans le processus de dénitrification) oxyde les acides gras à l'aide de nitrates, au lieu de les transformer en PHA, de ce fait le rendement d'élimination du phosphore atteint sa valeur minimale de 66%. Néanmoins cette valeur reste bonne, vu le nombre élevé de paramètres influençant le taux d'abattement du phosphore.

Chapitre VII: *Détection des dysfonctionnements de la station d'épuration de Réghaia*

Le rendement moyen de 72% est bon sachant que le rendement moyen dans les stations d'épuration urbaine est compris entre 60% et 70% [32].

Enfin, le rapport DCO/P_T très élevé (très supérieur à 45) indique **une bonne aptitude au traitement biologique du phosphore**, sans avoir recours au traitement physico-chimique (existant au niveau de la STEP), ce qui traduit **un réel gain en produits chimiques et en énergie**.

VII.3.2 Ratios file boues :

VII.3.2.1 Efficacité de la décantation physique dans le décanteur primaire : production de boues primaires / production de boues primaires théorique

Afin d'évaluer l'efficacité de la décantation physique dans le décanteur primaire, nous calculons le rapport de la production de boues primaires par la production de boues primaires théorique.

♣ **Calcul de la production de boues primaires théorique [51] :**

Pour calculer la production théorique de boues primaires au niveau du décanteur primaire, nous utilisons la relation suivant :

$$\text{P boues primaires théorique (PBP}^*) = \text{Flux MES}_{24\text{h}} \times 0,6$$

Avec:

- ♦ Flux MES_{24h} = [MES]_{Entrée} * Débit journalier_{Entrée}
- ♦ Rendement d'élimination de MES maximal théorique au niveau de décanteur primaire = 60%

♣ **Calcul de la production de boues primaires au niveau de la STEP de Réghaia:**

Pour le calcul de la production de boues au niveau du décanteur primaire de la STEP de Réghaia, nous utilisons la relation suivant :

$$\text{P boues primaires STEP(PBP)} = \text{Flux MES}_{24\text{h}} \times \text{Rdt (Décanteur)}$$

Avec:

Rdt: le rendement d'élimination de MES au niveau du décanteur primaire.

Les résultats de calcul sont consignés dans le tableau se trouvant en Annexe IV

Chapitre VII: Détection des dysfonctionnements de la station d'épuration de Réghaia

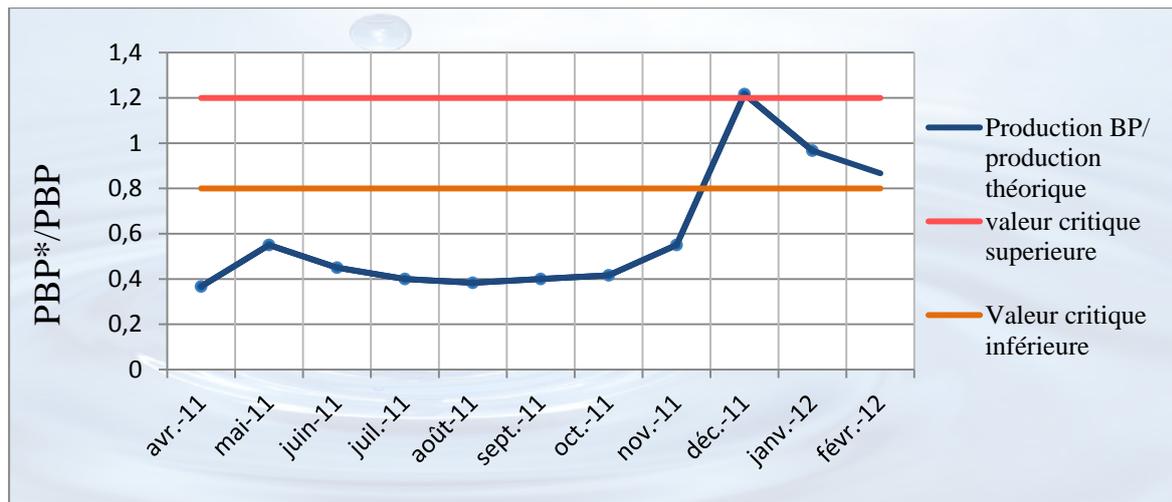


Figure VII.22: Evolution du rapport production de boues primaires / production de boues primaires théorique d'avril 2011 à février 2012 pour la STEP de Réghaia.

Le rapport production de boues primaires par production de boues primaires théorique est compris entre 0,36 et 1,22 avec une moyenne de 0,59. La valeur requise pour une bonne élimination des matières en suspension est comprise entre de 0,8 et 1,2.

Durant la période d'avril 2011 à novembre 2011, les valeurs de ce rapport sont inférieures à 0,8 et atteignent des seuils allant jusqu'à 0,36 pour le mois d'avril 2011.

En effet des temps de séjour de l'eau élevés au niveau du décanteur (6h pour le mois de septembre 2011)(Annexe IV) ainsi que de fortes concentrations en MES des boues primaires (la valeur moyenne est de 73 g/l) qui dépassent largement la valeur optimale de 15 g/l provoquent des phénomènes de fermentation avec remontées de boues noirâtres et malodorantes en surface par dégagement du méthane d'où un rendement de décantation moyen faible de 31% (Annexe IV).

Vers la fin de novembre 2011 et suite à des concentrations élevées en MES dans le clarificateur (décanteur secondaire) et au sein du bassin d'aération qui atteignent respectivement des valeurs moyennes de 23 g/l et 9 g/l, la STEP a ouvert sa deuxième filière de traitement, le volume assurant la décantation physique a augmenté par ajout d'un deuxième décanteur, dans cette même période, on enregistre l'augmentation du débit d'entrée grâce à la réhabilitation de postes de relevages. Des temps de séjours convenables (Annexe IV) ont permis d'améliorer la décantation physique des boues ce qui a conduit à une augmentation du rendement d'élimination de MES au niveau de décanteur, le rendement moyen atteint une valeur de 54% soit encore 90% du rendement théorique.

La production de boues primaires est fonction du flux de MES entrant, et du rendement d'élimination, ce rendement est fonction de la vitesse ascensionnelle et du temps de séjour dans le décanteur primaire. Il faut donc respecter les paramètres caractéristiques du fonctionnement de ce dernier afin d'optimiser la décantation physique.

Chapitre VII: *Détection des dysfonctionnements de la station d'épuration de Réghaia*

VII.3.2.2 Extraction de boues : Rapport kg MS extraites / kg DCO éliminée:

Afin d'examiner l'extraction de boues, nous avons déterminé le rapport quantité de matières sèches extraites par quantité de DCO éliminée dans le cas réel (données de la station) et nous avons comparé ce rapport avec le rapport théorique.

♣ **Calcul de la production de boues théoriques:**

La production de boues théorique est donnée par la relation suivante d'après[31]

$$\text{Boues extraites} = S \text{ Min} + S \text{ Dur} + B \text{ Bio} + B \text{ Chi} - S \text{ Eff}$$

Avec :

S Min : matières minérales en suspension = 30% * flux entrant MES (kg/j)

S Dur : Fraction non biodégradable des matières organiques en suspension dans l'effluent brut = 17% * flux entrant MES (kg/j)

B Bio : Boues biologiques = $(0,83 + 0,2 * \log C_m)$ * flux entrant DBO (kg/j).

B Chi : Boues physico-chimique = $2,7 * Fe^{3+}$ (kg/j).

S Eff : Norme de rejet de MES.

♣ **Calcul de la production de boues au niveau de la STEP de Réghaia:**

La production de boues est donnée par la relation suivante :

$$P \text{ boues STEP} = P \text{ boues primaires} + P \text{ boues théoriques}$$

- ✓ La production de boues primaires est calculée précédemment (VII.3.2)
- ✓ La production de boues biologiques est calculée comme suit :

$$P \text{ boues biologiques (kg/j)} = [\text{MES}]_{\text{bio}} \text{ extraites (kg/m}^3) * \text{débit}_{\text{journalier}} \text{ d'extraction (m}^3/\text{j)}$$

Les résultats de calcul sont consignés dans le tableau se trouvant en Annexe V.

Chapitre VII: Détection des dysfonctionnements de la station d'épuration de Réghaia

Les valeurs du ratio kg MS extraites / kg DCO éliminée sont données dans la figure suivante :

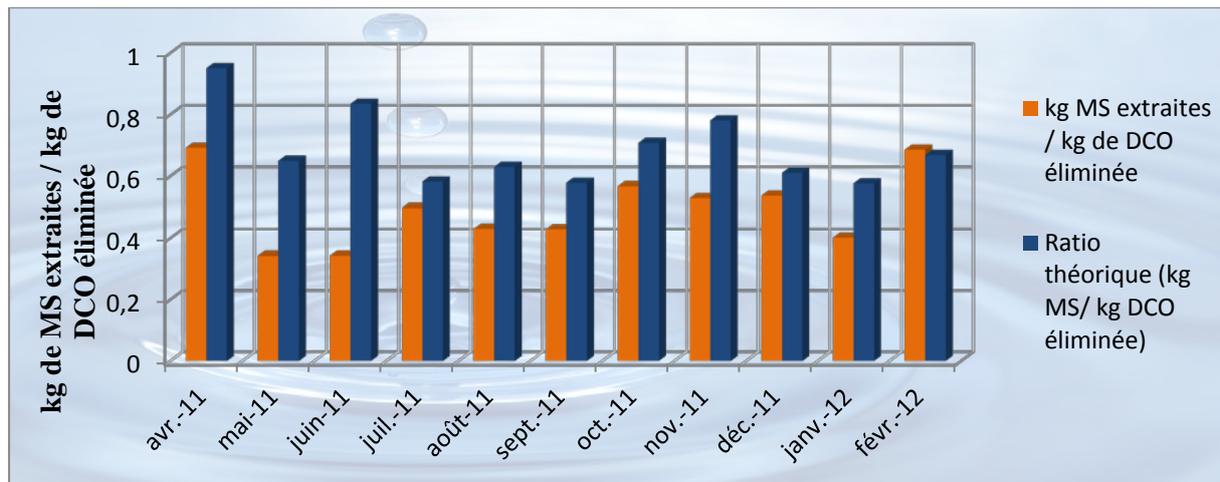


Figure VII.23 : Evolution du rapport de MS extraites/kg de DCO éliminée d'avril 2011 à février 2012 pour la STEP de Réghaia.

Pour la STEP de Réghaia le rapport quantité de matières sèches extraites par quantité de DCO éliminée varie entre 0,34 et 0,69 avec une moyenne de 0,49 (Annexe VI). Les valeurs théoriques de ce rapport varient entre 0,57 et 0,95 avec une moyenne de 0,69.

Pour la période d'avril 2011 à juillet 2011, le rapport atteint une valeur moyenne de 0,46, en effet l'examen des charges de MES dans le bassin d'aération montre que l'extraction des boues biologiques était maîtrisée (4,3 g/l), ce qui nous laisse supposer un problème d'extraction des boues primaires, effectivement durant cette période où la STEP travaillait avec une seule filière, le temps de séjour dans le décanteur primaire a atteint une valeur de 4,2 h contre une valeur optimale de 2 h, ce problème a engendré la fermentation des boues avec dégagement du CH_4 , ce qui justifie les faibles rendements d'élimination de MES qui atteignaient une valeur de 27% pendant cette période.

Durant la deuxième période allant de août 2011 à novembre 2012, les faibles valeurs de ce ratio ont pour origine une mauvaise extraction des boues primaires et des boues biologiques, en effet, la concentration dans le bassin d'aération atteint une moyenne de 7,35g/l contre une valeur optimale de 4g/l, ce qui explique une mauvaise extraction des boues biologiques, parallèlement à cette situation les rendements d'abattement de la pollution particulaire dans le décanteur primaire restent toujours faibles (26%), ce qui induit une faible production de boues primaires (2140kg/j contre une valeur théorique de 5724kg/j)

Pendant la période allant de décembre 2011 à février 2012, on enregistre une forte production de boues primaires. En effet pendant le mois de décembre 2011, la production de boues primaires était très élevée de 7145 kg/j soit encore 1,2% de la production théorique. Durant ce même mois le rapport (kg MS extraites /kg DCO éliminée) reste faible, de l'ordre de 0,53 contre une valeur théorique de 0,61.

Notons par ailleurs que l'examen des concentrations en MES dans le bassin d'aération donne des valeurs élevées, supérieures à la valeur requise de 4 à 4,5 g/l [42], allant jusqu'à 8,5 g/l fin décembre 2011. De ce fait nous justifions ce dysfonctionnement par une extraction incorrecte de boues biologiques.

Chapitre VII: Détection des dysfonctionnements de la station d'épuration de Réghaia

Les données du terrain viennent conforter notre constatation, en effet la deuxième filière de traitement existante au niveau de la STEP de Réghaia a été ouverte fin novembre 2011, durant ce même mois, on enregistre une augmentation de débit entrant suite à une réhabilitation de postes de relevage, engendrant une augmentation de la production de boues primaires ce qui a coïncidé avec une panne de deux centrifugeuses, en ayant en tête qu'une panne au niveau des centrifugeuses va influencer la capacité de stockage des boues. L'exploitant a dû diminuer le taux d'extraction des boues biologiques afin de pouvoir traiter l'immense quantité de boues primaires en fonction de la capacité des deux centrifugeuses qui restent fonctionnelles.

L'examen du rapport quantité de matières sèches extraites/ quantité de DCO éliminée indique que **l'extraction des boues est insuffisante**, quoique cette mauvaise extraction est justifiée en exploitation, elle reste néanmoins un problème majeur, une bonne gestion de la filière de traitement biologique passe tout d'abord par une bonne maîtrise de l'extraction de boues et de l'aération, cette dernière est fortement influencée par des concentrations en MES dans le bassin d'aération supérieures à 4-4,5 g/l.

VII.3.2.3 Taux de traitement en polymère : Rapport kg polymère / T MS extraites:

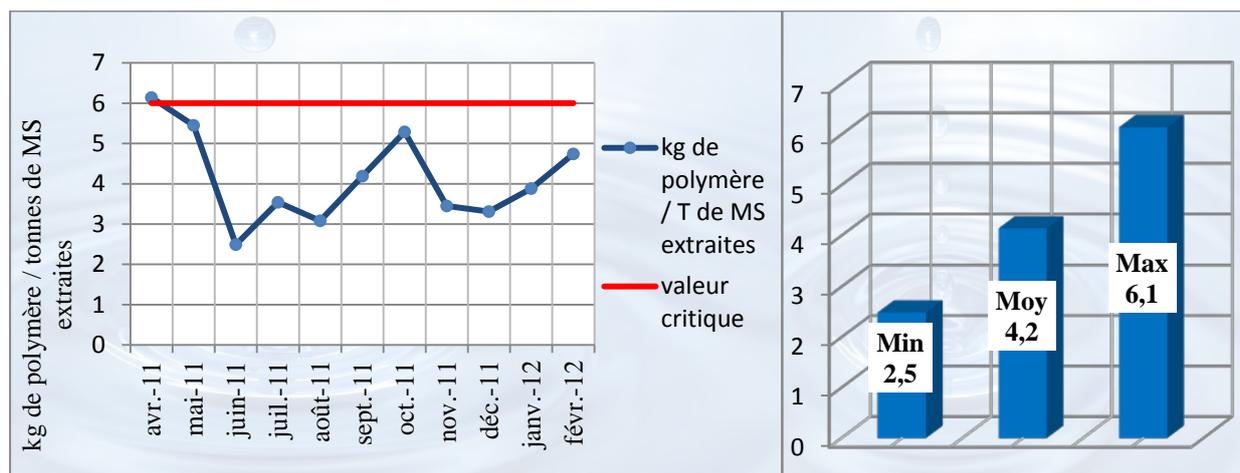


Figure VII.24 : Evolution du taux de traitement en polymère d'avril 2011 à février 2012 pour la STEP de Réghaia.

Le taux de traitement en polymère s'exprime en kg de polymère par tonne de matière sèche traitée. Il dépend surtout de la nature de la boue et de l'appareil utilisé. En épaissement et en déshydratation les taux de traitement à appliquer sont différents. Entre une centrifugeuse et un filtre à bandes, les taux sont aussi différents [49].

Pour la STEP de Réghaia utilisant une déshydratation par centrifugation, le taux de traitement en polymère varie entre 2,5 et 6,1 comme valeurs extrêmes minimales et maximales respectivement avec une moyenne de 4,2. En effet ces variations sont dues à la variation de types de boues à déshydrater, la station de Réghaia utilise des boues mixtes (x% de boues primaires et y% de boues biologiques), sachant que l'aptitude à la déshydratation des boues primaires est très bonne et supérieure à celle des boues biologiques, de ce fait le taux de traitement en polymère dans le cas des boues primaires est compris entre 3 et 5 en général, tandis qu'il oscille entre 6 à 8 pour des boues mixtes (50/50) et varie de 8 à 12 pour des boues biologiques (Annexe VII).

Chapitre VII: *Détection des dysfonctionnements de la station d'épuration de Réghaia*

Effectivement suite à une extraction élevée de boues biologiques traduisant la valeur maximale du rapport 'MS extraite/DCO éliminée' en mois d'avril 2011, et accompagnée ainsi par une consommation énorme du polymère dépassant 1590 kg, le ratio 'kg de polymère/Tonne de MS totale extraite' atteint son maximum et la siccité atteint sa valeur minimale (30%).

Les valeurs enregistrées pour ce ratio pendant la période avril 2011 à février 2012 sont dans 75% des cas inférieures à 5, ceci peut être expliqué par le fait que le pourcentage en boues primaires dans les boues mixtes de la STEP de Réghaia est élevé (atteignant 75 à 80%) du fait de l'augmentation de la production de boues primaires d'une part et la diminution du taux d'extraction de boues biologiques d'autre part.

Ainsi pour une même qualité de boues, les variations du rapport peuvent être dues à la nature du polymère et la façon dont il est préparé.

L'examen du rapport **quantité de polymère/ quantité de matières sèches extraites** indique que **l'injection de polymère est bien maîtrisée**, la siccité finale des boues traitées est comprise entre 30% et 40% avec une moyenne de **34,5%** (Annexe IV), ces valeurs sont bonnes comparativement aux valeurs données par la littérature (Annexe VII), en effet l'utilisation des centrifugeuses permet d'augmenter la siccité des boues, néanmoins ce mode de déshydratation consomme beaucoup d'énergie. Dans tous les cas, il s'agit d'un poste important de dépense pour l'exploitant qu'il conviendra d'optimiser pour diminuer les coûts d'exploitation.

VII.4 Conclusion:

L'examen des résultats d'analyses disponibles durant la période d'étude, la détermination des ratios ainsi que leurs interprétations dans une approche globale, nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- ♣ L'effluent est biodégradable,
- ♣ les paramètres physico-chimiques à savoir la température, le pH et la conductivité ne peuvent en aucun cas gêner le traitement biologique.

Néanmoins, des problèmes sérieux ont été détectés au niveau du:

- ♣ Traitement de la pollution azotée.
- ♣ L'extraction des boues.

Ces problèmes constituent un obstacle qui ne permet pas à la station de Réghaia d'atteindre ses objectifs, c'est pourquoi nous allons dans le prochain chapitre chercher les causes de ces dysfonctionnements afin de pouvoir proposer les solutions nécessaires.

Chapitre VIII :

Dysfonctionnements de la Station d'épuration de Réghaia:

Remise en cause

[Rien ne se produit sans raison, que chaque fait a un sens quel qu'il puisse être... qu'il y a un message au cœur du moindre événement Celui qui écoute attentivement les choses devrait être capable de l'entendre !!]

VIII.1 Introduction :

Trouver la bonne solution commence tout d'abord par chercher la bonne cause, c'est dans ce sens que nous allons dans le présent chapitre rassembler un ensemble d'éléments pour en extraire des informations utiles concernant les origines des dysfonctionnements rencontrés au niveau de la STEP de Réghaia : à savoir les problèmes de nitrification, dénitrification et l'extraction des boues, ces informations vont servir non seulement à valider un certain nombre d'hypothèses que nous allons poser le long de ce chapitre et que nous pensons qu'ils sont les causes des dysfonctionnements observés, mais aussi pour nous aider à la prise de décisions stratégiques dans le but de perfectionner le fonctionnement de la STEP.

VIII.2 Causes du problème de nitrification survenu à la STEP de Réghaia pendant la période de décembre 2011 à janvier 2012

L'examen du rapport DCO/NTK, nous a permis de détecter une mauvaise nitrification au niveau de la STEP de Réghaia pendant les mois de décembre 2011 à janvier 2012, faisant suite à des concentrations très élevées en azote ammoniacal dans l'eau épurée qui dépassent excessivement la norme autorisée. En absence du mécanisme de nitrification, l'abattement de la pollution azotée devient quasiment impossible ce qui génère des rejets non conformes aux normes.

Ce handicap au niveau du traitement biologique nous emmène à chercher les paramètres pouvant être à l'origine de ce dysfonctionnement et de proposer les solutions nécessaires. De ce fait notre étude passe nécessairement par une évaluation aussi précise que possible des différents paramètres mis en jeu.

VIII.2.1 Evaluation des paramètres de la pollution physico chimiques:

Dans une première étape nous allons évaluer les paramètres de la pollution physico chimique tels que le pH, la température et la conductivité pour les deux mois concernés en prenant les valeurs hebdomadaires.

♣ VIII.2.1.1 Effet de la température sur la nitrification :

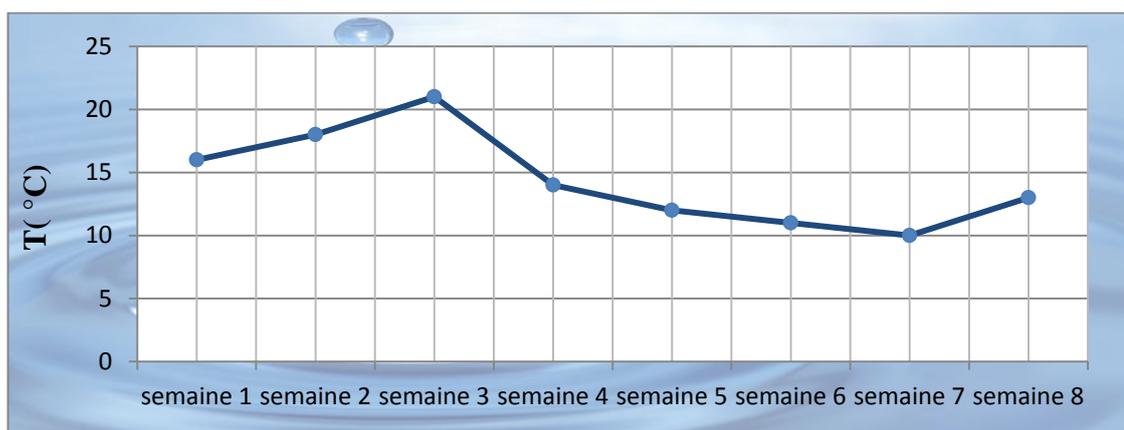


Figure VIII.1: Evolution des valeurs hebdomadaires de la température de décembre 2011 à janvier 2012 pour la STEP de Réghaia.

La nitrification est, comme tout processus biochimique, sous la dépendance de la température. Les températures enregistrées, même si elles sont au-dessous de la valeur optimale qui est de 30°C [35], elles permettent des réactions de nitrification avec une cinétique plus lente,

mais elles ne peuvent en aucun cas inhiber la réaction, sachant que le mécanisme de nitrification est totalement inhibé par des températures inférieures à 8°C pendant plusieurs jours.

♣ VIII.2.1.2 Effet du pH sur la nitrification :

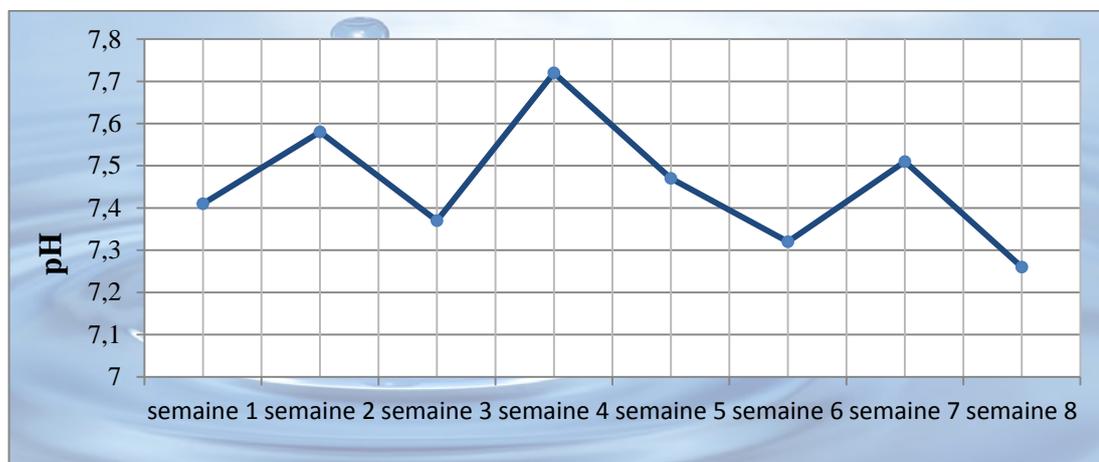


Figure VIII.2: Evolution des valeurs hebdomadaires du pH de décembre 2011 à janvier 2012 Pour la STEP de Réghaia.

La vitesse de nitrification n'est pas influencée par le pH dans une gamme comprise entre 7,2 et 8,5. Un pH un peu plus acide ou un peu plus basique peut la ralentir, bien que les bactéries puissent s'adapter à ces conditions. Pour des valeurs du pH inférieures à 6, la nitrification est complètement inhibée ce qui est également le cas pour les pH très basiques [9].

L'analyse des valeurs du pH représentées sur le graphe ci-dessus montre que la gamme de pH optimale pour la faisabilité de la réaction de nitrification est bien respectée, de ce fait on peut conclure que le pH n'est pas la cause de l'inhibition de la nitrification.

♣ VIII.2.1.3 Effet de la conductivité sur la nitrification:

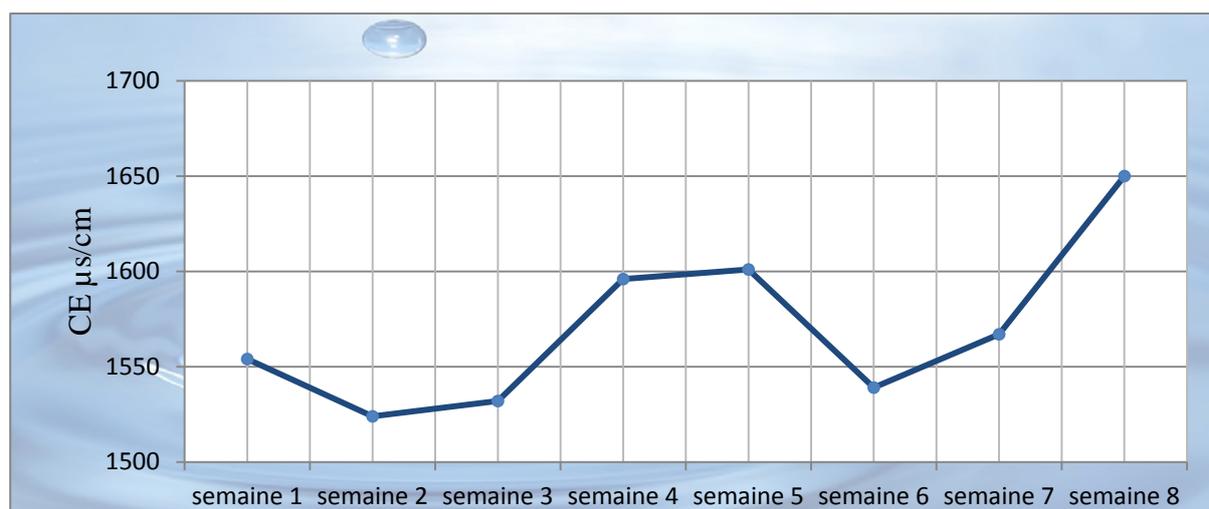


Figure VIII.3: Evolution des valeurs hebdomadaires de la conductivité de décembre 2011 à janvier 2012 pour la STEP de Réghaia.

Les valeurs de la conductivité portées sur le graphe ci-dessus (figure VIII.3) traduisent une minéralisation importante, ces résultats pourraient être expliqués par le rejet des eaux usées résiduelles des unités industrielles, ce qui nous laisse penser à des eaux chargées en ions

Chapitre VIII: Dysfonctionnements : Remise en cause

toxiques qui peuvent inhiber la nitrification, en effet cette interprétation reste une hypothèse que nous devons soit valider soit écarter à travers l'analyse des autres paramètres .

VIII.2.2 Evaluation des paramètres de la pollution particulaire et organique :

Dans une seconde étape nous avons pensé à un problème causé par les paramètres de la pollution organique et particulaire et plus précisément la DBO₅ et les MES.

♣ VIII.2.2 .1 Effet de la turbidité sur la nitrification:

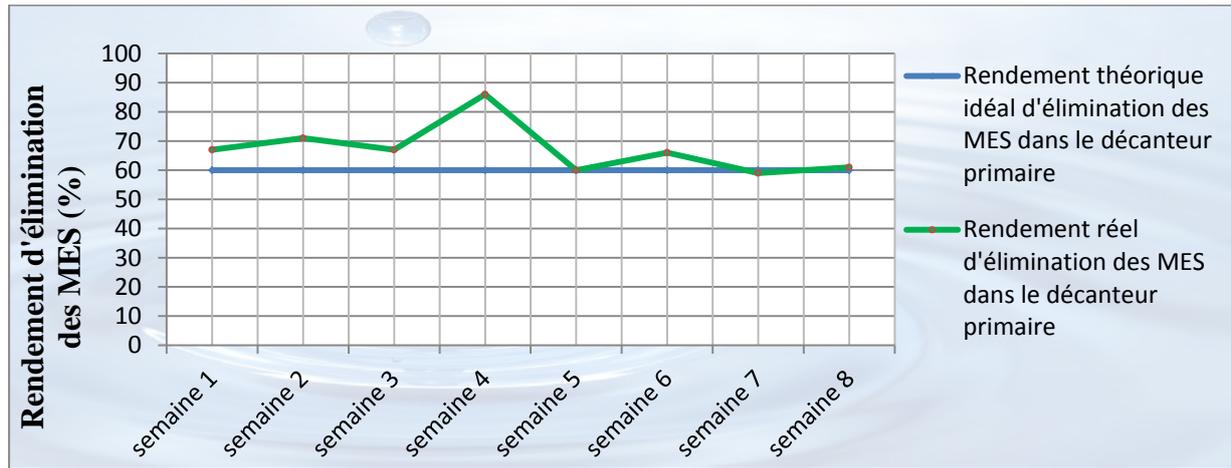


Figure VIII.4: Evolution des valeurs hebdomadaires du rendement d'élimination de la pollution particulaire dans le décanteur primaire de décembre 2011 à janvier 2012 pour la STEP de Réghaia.

L'analyse des concentrations en MES montre que le meilleur abattement de la pollution particulaire a été enregistré pendant ces deux mois suite à un rendement d'élimination de MES dans le décanteur primaire égale à 67%, ce rendement dépasse même la valeur idéale qui est de 60%, de ce fait la limitation du transfert de l'oxygène à la biomasse épuratrice qui est principalement due à une hausse de turbidité de l'eau suite à des concentrations élevées en MES dans le bassin d'aération est à écarter.

♣ VIII.2.2 .2 Effet de la charge massique sur la nitrification :

Nous regroupons dans le tableau VIII.1 les valeurs de la charge massique pour la période allant de décembre 2011 à janvier 2012

Tableau VIII.1 : Charge massique pour les deux mois de décembre 2011 et janvier 2012

Mois de décembre 2011	Semaine1	Semaine2	Semaine3	Semaine 4
Charge massique (Cm)	0,12	0,11	0,06	0,08
Mois de janvier 2012	Semaine5	Semaine6	Semaine7	Semaine8
Charge massique (Cm)	0,17	0,09	0,20	0,14

Le développement des bactéries autotrophes est plus lent que celui des bactéries hétérotrophes. Ainsi, pour assurer une nitrification importante, il faut favoriser l'accroissement de la biomasse nitrifiante. Cela se traduit par une faible charge massique inférieure à 0,2.

Les valeurs de la charge massique regroupées dans le tableau ci-dessus sont faibles. Nous constatons donc que la charge massique ne peut pas être à l'origine du problème de nitrification.

La charge appliquée permet la croissance et le maintien des bactéries autotrophes nécessaires à la réaction de nitrification.

L'étape suivante consiste à évaluer la quantité d'oxygène nécessaire à l'activité bactérienne dans une période où la concentration de la biomasse épuratrice dans le bassin d'aération dépassait considérablement la valeur pour laquelle le réacteur biologique est dimensionné (4_ 4,5 g/l), ceci est dû à une extraction de boues principalement primaires pour éviter le problème de fermentation de boues dans le clarificateur.

Nous avons donc décidé de calculer le besoin en oxygène dans le bassin d'aération. Pour ce faire nous déterminons tout d'abord le besoin théorique en oxygène.

VIII.2.3 Effet de l'aération sur la nitrification :

VIII.2.3.1 Détermination du besoin théorique en oxygène [52] :

Les bactéries constituant la boue activée ont besoin d'oxygène, d'une part pour se nourrir et se développer à partir d'une certaine quantité de pollution consommée (L_e) et d'autre part, pour répondre aux besoins de leur métabolisme de base qui correspondent à la respiration endogène et qui sont proportionnels à la biomasse active de boue en aération (S_v).

De plus dans un procédé biologique où s'effectue le traitement de la pollution azotée, on ajoute la demande en oxygène nécessaire à la réaction de nitrification et on soustrait la quantité d'oxygène apportée par la réaction de dénitrification.

◆ Quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation de la matière organique [9]:

Elle est donnée par la relation suivante:

$$Q(O_2) \text{ (kg/j)} = a' * L_e + b' * S_v$$

Avec :

L_e = quantité de pollution détruite (kg DBO₅/j)=flux de DBO₅ (entrant)* Rdt (d'élimination)

S_v = quantité de matière cellulaire en aération (kg MVS)

a' = consommation d'oxygène à des fins énergétiques (kg O₂/kg DBO₅)

b' = consommation d'oxygène pour l'auto-oxydation(kg O₂/kg MVS)

a' et b' sont des coefficients respiratoires mesurables à l'échelle du laboratoire par des techniques respirométriques. Les valeurs de a' et b' varient selon les caractéristiques des eaux résiduaires et en fonction des charges massiques appliquées.

Le tableau VIII.2 résume les valeurs de ces coefficients pour une eau urbaine.

Tableau VIII.2 : Valeurs des coefficients de consommation d'oxygène à des fins énergétiques et pour l'autoépuration en fonction de la charge massique appliquée. [52]

Charge massique C_m (kg DBO ₅ /kg MVS)	Coefficient a'	Coefficient b'
< 0,1	0,66	0,06
0,1	0,65	
0,15	0,62	0,07
0,2	0,6	
0,3	0,56	
0,4	0,53	
0,5	0,55	1,2

♦ **Quantité d'oxygène nécessaire à la réaction de nitrification [9]:**

Le besoin en oxygène pour assurer l'élimination de la pollution azotée est la somme de la quantité d'oxygène nécessaire à la réaction de nitrification et celle produite lors de processus de dénitrification donné par la relation suivante:

$$\text{Besoin (O}_2\text{) Elimination de la pollution azotée} = \text{Besoin (O}_2\text{) nitrification} + \text{Besoin (O}_2\text{)Dénitrification}$$

Avec : Besoin (O₂) nitrification = + 4,2 g O₂ / g NH₄⁺ à nitrifier.

Besoin (O₂) dénitrification = - 2,85 g O₂/ g NO₃⁻ à dénitrifier.

On a :

- ♣ La masse d'azote journalière à nitrifier [N_{nit}] est égale à la masse d'azote Kjeldahl [NTK entrée] apportée par l'eau brute diminuée de :

- ❖ la masse d'azote organique particulaire réfractaire [N_{opr}] (piégée dans les boues),

Les boues extraites des systèmes d'épuration biologique présentent une teneur en azote de l'ordre de **7 %des matières en suspension (MES) en moyenne.**

- ❖ la masse d'azote organique soluble réfractaire [N_{osr}] (rejetée),

Cette masse représente en général **2%** de l'azote **Kjeldahl**

- ❖ la masse d'azote assimilée essentiellement par les bactéries du carbone [N_{ass}], (incorporée aux boues).

Les besoins en azote sont de l'ordre de **5 % de la DBO₅ éliminée** par la culture bactérienne.

Comme nous ne disposons pas des analyses concernant ces trois formes d'azote, nous avons calculé théoriquement les valeurs correspondantes.

- ❖ la masse d'azote ammoniacal rejetée avec l'eau épurée [N-NH₄⁺ rejet].

La limite de rejet pour N-NH₄⁺ est de 5-6 mg/l pour les faibles charges et de 2 mg/l pour l'aération prolongée [53]. Pour une charge massique moyenne de 0,09 kg DBO₅/kg MVS durant ces quatre mois, on prend comme valeur limite une concentration en N-NH₄⁺ de 2 mg/l soit encore 2,58 mg/l en N-NH₄⁺

Par suite :

$$N_{nit} = NTK_{entrée} - N_{opr} - N_{osr} - N_{ass} - N-NH_4^+ \text{ rejet}$$

Ce qui donne :

$$N_{nit} = NTK_{entrée} - 7\% * MS_{boues\ extraites} - 2\% NTK_{entrée} - 5\% * DBO_5 \text{ éliminée} - N-NH_4^+ \text{ valeur limite de rejet}$$

- ♣ La masse d'azote journalière à dénitrifier [N_{dénit}] est la différence entre la masse journalière d'azote ammoniacal nitrifiée (N_{nit}) et la masse journalière d'azote nitrique rejetée (N-NO₃⁻ rejet).

Chapitre VIII: Dysfonctionnements : Remise en cause

La limite de rejet pour $N-NO_3^-$ est de 5-6 mg/l pour les faibles charges et de 1-2mg/l pour l'aération prolongée [53]. Pour une charge massique moyenne de 0,09 kg DBO₅/kg MVS durant ces quatre mois, on prend comme valeur limite une concentration en $N-NO_3^-$ de 2 mg/l soit encore 8,86 mg/l en NO_3^-

Nous avons tout d'abord calculé les valeurs de N_{nit} et $N_{dénit}$ que nous regroupons dans le tableau VIII.3 :

Tableau VIII.3 : Détermination des différentes formes d'azote

Paramètres Mois	NTK (kg/j)	N_{opr} (kg/j)	N_{osr} (kg/j)	N_{ass} (kg/j)	N- NH_4^+ rejetée (kg/j)	N_{nit} (kg/j)	$N_{dénit}$ (kg/j)
Décembre 2011	2388,65	530,66	47,77	536,02	97,06	1177,14	1080,08
Janvier 2012	2070,56	567,21	41,41	586,19	106,43	769,32	662,89
Février 2012	2420,41	619,92	48,41	541,94	143,86	1066,28	922,43
Mars 2012	1938,53	772,80	38,77	447,90	124,46	554,59	430,13

Notons que:

L'apport en oxygène (AO) du système d'aération en boues doit être égal ou supérieur à la demande en oxygène (DO). [9]

$$DO = AO * \text{Coefficient de transfert}$$

Le coefficient de transfert en boue est égal à **0,7** pour des aérateurs de surface. (Donnée du constructeur)

Le tableau VIII.4 donne les besoins théoriques en oxygène pour les différents mécanismes mis en jeu :

Tableau VIII.4 : Calcul des besoins théoriques en oxygène

Paramètres Mois	C_m (kg DBO ₅ / kg MVS) _{BA}	a'	b'	B(O ₂) Synthèse de la biomasse (kg O ₂ / kg DBO ₅ /j)	B(O ₂) Respiration endogène (kg O ₂ / kg MVS/j)	B(O ₂) nitrification (kg/j)	B(O ₂) Dénitrific ation (kg/j)
Décembre 2011	0,09	0,66	0,06	3537,71	2030,37	2472,00	-1539,12
Janvier 2012	0,07	0,66		3868,83	2762,97	1615,57	-944,62
Février 2012	0,11	0,65		3522,61	2073,23	2239,20	-1314,46
Mars 2012	0,09	0,66		2956,12	2001,00	1164,65	-612,94

Chapitre VIII: Dysfonctionnements : Remise en cause

Nous regroupons dans le tableau VIII.5 les résultats de calcul du besoin théorique en oxygène et de l'apport d'oxygène nécessaire pour satisfaire le besoin théorique.

Tableau VIII.5: Calcul du besoin et de l'apport théorique total en oxygène.

Paramètres Mois	Besoin théorique en oxygène DO (kg/j)	Apport d'oxygène nécessaire au besoin théorique AO (kg/j)
Décembre 2011	4470,59	6386,55
Janvier 2012	4539,79	6485,41
Février 2012	4447,35	6353,36
Mars 2012	3507,84	5011,19

VIII.2.3.2 Détermination du temps d'aération journalier nécessaire pour satisfaire le besoin théorique en oxygène :

Le temps d'aération journalier (h/j) est calculé en faisant le rapport entre l'apport total journalier en oxygène nécessaire au besoin théorique et la capacité d'aération.

- ◆ Au niveau de la station : pour un seul bassin d'aération : **trois** aérateurs de **110 KW**
- ◆ Capacité d'aération unitaire: **207 kg O₂ / h** (donnée du constructeur)

Par suite :

$$\text{Temps d'aération journalier (h/j)} = \text{Apport en O}_2 \text{ (kg/j)} / (207*3)$$

Les résultats de calcul figurent dans le tableau VIII.6 :

Tableau VIII.6 : Temps d'aération journalier pour satisfaire la demande théorique en oxygène

Paramètres Mois	Besoin théorique total en oxygène (kg/j)	Temps d'aération journalier nécessaire (h/j)
Décembre 2011	6386,55	10,28
Janvier 2012	6485,41	10,44
Février 2012	6353,36	10,23
Mars 2012	5011,19	8,07

De plus pour que l'épuration soit optimale, il faut fournir l'oxygène, nécessaire pour satisfaire les besoins, mais encore s'assurer que cet élément atteint toutes les cellules actives et peut les pénétrer. Outre l'apport d'oxygène, les systèmes d'aération doivent réaliser une turbulence suffisante pour éviter les dépôts de boues au fond du bassin qui risqueraient d'entrer en anaérobiose, il s'agit du brassage.

Le brassage des chenaux d'aération pose moins de problèmes lorsqu'ils sont équipés en air sur pressé que lorsqu'ils sont pourvus d'aérateurs de surface, comme pour le cas de la STEP de Réghaia, sachant que le temps nécessaire au brassage est fonction de la concentration de MES biologiques dans le bassin d'aération, nous avons donc calculé dans une deuxième étape, les

Chapitre VIII: Dysfonctionnements : Remise en cause

temps de marche théoriques nécessaires afin de les comparer avec les temps d'aération fixés au niveau de la STEP durant la période d'étude. Ce temps de marche inclut le temps minimal nécessaire pour couvrir juste les besoin théoriques en oxygène de la biomasse épuratrice ainsi que le temps nécessaire au brassage.

Pour effectuer ce calcul nous avons besoin des formules ci-après qui sont fonction de quelques paramètres caractéristiques relatifs à la STEP de Réghaia, les données de base pour le calcul sont regroupées dans le tableau VIII.7.

$$\text{Energie journalière} = 0,3 * \left(\frac{H \text{ eau}}{1,892 + 0,0347 * \frac{W_{\max}}{Nb \text{ turbines}}} \right)^2 * \sqrt{\frac{MES_{\text{biol}}}{3}} * V_{\text{aéré}}$$

$$\text{Temps de marche journalier } \left(\frac{h}{j} \right) = \frac{\text{Energie journalière}}{P * Nb \text{ turbines}}$$

Tableau VIII.7 : Paramètres caractéristiques du bassin d'aération (STEP Réghaia)

Paramètre	Valeur	Unité
Hauteur du bassin d'aération (H eau)	5,86	m
Puissance maximale absorbée (W max)	462	KW/h
Nombre de turbine (Nb turbines)	6	
Puissance d'une turbine P	110	KW/h
Concentration en MES dans le bassin biologique (MES bio)	Valeur limite=4	g/l
Volume aéré (V aéré)	8900	m ³
Temps de marche (t)	à déterminer	h
Energie de brassage moyenne nécessaire (e)	0,6 pour MESbio=4,3g/l	KWh/m ³ aéré/j

Il est à signaler que la STEP de Réghaia a été dimensionnée pour travailler à aération prolongée à la limite à faibles charges, ceci nécessite une concentration de la biomasse épuratrice exprimée par le terme MESbiol égale à 4g/l allant jusqu'à une valeur limite de 4,5 g/l, nous avons remarqué que cette condition n'est pas respectée, car cette concentration excède excessivement 4g/l suite à une mauvaise extraction des boues biologiques pendant cette période, pour cette raison nous allons recalculer les valeurs de l'énergie moyenne journalière du brassage. Cette dernière ne demeure pas constante suite à des variations enregistrées pour MESbiol.

Les valeurs de MESbiol (MES_{BA}) sont consignées en Annexe IV.

Le tableau VIII.8 résume les résultats du calcul:

Chapitre VIII: Dysfonctionnements : Remise en cause

Tableau VIII.8 : Calcul du temps de marche des aérateurs

Paramètres Mois	e (KWh/m ³ aéré/j)	Temps de marche calculé (h/j)	Temps d'aération fixé par STEP (h/j)
Décembre 2011	0,667	17,98	18
Janvier 2012	0,758	20,44	20
Février 2012	0,710	19,15	20
Mars 2012	0,761	20,55	20

La comparaison entre les données de la STEP et les valeurs calculées montre que les temps d'aération fixés par la station durant la période décembre 2011 à mars 2012 permettent de fournir le besoin en oxygène nécessaire pour assurer les fonctions de brassage et d'aération.

En réalité, il ne s'agit pas d'assurer seulement la quantité nécessaire d'oxygène pour la biomasse épuratrice mais aussi d'assurer la bonne dissolution de la quantité d'oxygène apportée qui est fonction de plusieurs paramètres notamment la température. Nous avons ainsi analysé les données disponibles, pour savoir s'il ne s'agit pas en fait d'un problème de ce genre. En effet la température moyenne au niveau du bassin d'aération permet au contraire d'augmenter la concentration de saturation en oxygène dissous qui atteint des valeurs élevées de 4,2 et 5,5 mg/l pour les deux mois de décembre 2011 et janvier 2012 respectivement (températures basses 16°C et 10,5 °C respectivement).

La présence d'un moussage blanc léger caractéristique (envol possible sous l'effet du vent) causé par des rejets industriels chargés en produits détergents (fabrication des produits céramiques, traitement de surface et galvanisation, ...) comme l'illustre la figure ci-dessous peut influencer le transfert d'oxygène dans l'eau au niveau du réacteur biologique. Néanmoins certains tensioactifs anioniques semblent sans effet sur le transfert d'oxygène (Cemagref), de même un bon raclage de surface permet de les éliminer, de ce fait, la valeur de la concentration en oxygène dissous mesurée au niveau du bassin d'aération est de l'ordre de 3 à 4 mg/l, une concentration largement suffisante pour le développement de la biomasse nitrifiante.



Figure VIII.5 : moussage blanc léger (STEP Réghaia)

Le problème de nitrification survenu au niveau de la STEP pendant les mois de décembre 2011 et janvier 2012 n'a pas pour origine un problème de sous-aération.

VIII.2.4 Effet des toxiques sur la nitrification :

Enfin, il reste à examiner **la présence de toxiques**, un autre paramètre influençant fortement la réaction de nitrification. Les toxiques inhibant l'activité des bactéries nitrifiantes, comme d'ailleurs celle de l'ensemble de la microflore épuratrice. Parmi les métaux, les ions Ni, Cu, Cd, Pb, Ag et Zn apparaissent comme les plus susceptibles de bloquer la nitrification à très faible concentration (Annexe X) sans avoir d'effet notable sur le reste des microorganismes. En effet l'intégration des métaux lourds dans les boues activées met en jeu trois mécanismes principaux :

- la rétention mécanique des métaux insolubles dans les floccs de boue,
- la complexation des métaux initialement solubles par des polymères extracellulaires,
- l'accumulation des métaux solubles à l'intérieur des cellules.

Ce mécanisme d'intégration des métaux lourds dans les boues est en réalité le résultat de plusieurs études qui montrent que différentes bactéries présentes dans les boues activées produisent des polymères extracellulaires. Ces derniers apparaissent dans les boues sous forme de gels ou de capsules et microcapsules qui adhèrent aux parois des cellules. Ces polymères extracellulaires, notamment ceux de type polysaccharide, sont capables de complexer ou de lier les ions métalliques [54].

En écartant le problème d'aération, nous pensons que la présence de toxiques dans les boues biologiques constitue la cause principale de l'inhibition de la nitrification.

Effectivement durant la période de décembre 2011 à janvier 2012 où la nitrification semble totalement inhibée, les valeurs de la concentration d'oxygène étaient supérieures à la valeur habituelle qui se situe entre (2 à 3 mg/l). En effet pour le mois de décembre 2012 où la concentration en DBO₅ a atteint une valeur élevée de 222 mg/l, des valeurs anormales d'oxygène dissous ont été enregistrées, on note par exemple **10 mg/l** pour le **13/12/2011** et **7,28 mg/l** pour le **14/12/2011**. Sur la base de ces observations, nous supposons que les bactéries nitrifiantes ne consommaient pas l'oxygène malgré sa disponibilité, ce qui fait penser à leur mortalité.

Après chaque événement de ce type, les boues activées auront besoin de quelques jours pour se rétablir. Si les périodicités de l'arrivée des eaux toxiques sont « conservées », il n'y aura que très peu de temps de fonctionnement normal entre les périodes de perturbations et de rétablissement.

Malheureusement et en absence de toute analyses concernant les teneurs en métaux lourds dans les eaux usées arrivant à la STEP de Réghaia, une justification concrète par les résultats d'analyse n'est pas possible.

À noter, par ailleurs, que les eaux provenant à la STEP de Réghaia sont caractérisées par des valeurs de pH oscillants entre des valeurs neutres vers des valeurs légèrement basiques, cette caractéristique des eaux permet une très bonne précipitation de ces métaux dans les boues qui induit à leur contamination et les rendre inaptes à leur valorisation agricole.

Nous avons donc pensé à examiner les concentrations des métaux lourds toxiques dans les boues produites au niveau de la STEP.

Chapitre VIII: Dysfonctionnements : Remise en cause

Nous ne disposons pas encore des résultats d'analyse concernant les mois de décembre 2011 et janvier 2012, mais vu de la périodicité de l'arrivée de ces eaux ainsi polluées et toxiques à la STEP causant une contamination des boues comme il est illustré dans le tableau VIII.9, cette explication reste fortement probable puisque la STEP déclare depuis longtemps ce type de problème suite à la présence des eaux industrielles.

Tableau VIII.9: Concentration des métaux toxiques dans les boues activées (STEP de Réghaia)

Les métaux Lourds	Normes limites AFNOR mg/Kg de MS	05/01/2011	06/02/2011	07/03/2011	11/04/2011	02/05/2011	08/06/2011
Zinc (Zn)	3000	2680		1460	3200	480	3050
Mercuré (Hg)	15				0,48	1,13	
Cadmium (Cd)	20			9,6			
Nickel (Ni)	100	96	116	164	48	64	172
Cuivre (Cu)	500	88	108	79,2	64	156	100
Chrome (Cr)	200						2872

De ce fait le bon fonctionnement de la STEP serait mis en péril en fonction de la fréquence (ou la périodicité) de l'arrivée de ces eaux toxiques puisqu'ils agiront directement sur le taux d'inhibition causant ainsi un blocage du mécanisme de nitrification.

Sachant que pour résoudre ce problème le temps d'aération a été augmenté de deux heures à partir du mois de janvier 2012, suite à une augmentation de la concentration d'ammonium à la sortie de la STEP, et qui suppose au premier abord un problème de sous-aération, or nos calculs montrent que l'aération est bonne, cette augmentation de la durée de marche des aérateurs coïncide avec une augmentation des besoins en oxygène suite à la diminution des taux d'extraction des boues biologiques, une question nous vient à l'esprit :

Est-il judicieux d'augmenter la durée d'aération pour satisfaire les besoins de la biomasse épuratrice ou de penser en premier lieu à diminuer la concentration en MES dans le bassin d'aération, qui est l'une des causes principales de la sous-aération ? Cette question est justifiée tout en ayant en tête que pour un système où s'effectuent les deux processus de nitrification et de dénitrification, il est important de ne pas monter trop haut en oxygène pour pouvoir revenir pratiquement à 0 mg/l dans le bassin d'anoxie.

Cette concentration élevée en oxygène dans le bassin d'aération, peut avoir des conséquences néfastes et cause des problèmes au niveau de la réaction de dénitrification, sachant que cette dernière est complètement inhibée durant la période de février 2012 à avril 2012.

L'augmentation de la concentration en oxygène dans le bassin d'aération est-elle la cause de l'inhibition du mécanisme de dénitrification ou bien existe-t-il d'autres causes plus sérieuses ?

Pour avoir une réponse à cette question, nous étudions dans la partie suivante, le problème de la dénitrification et nous cherchons à déterminer ses causes principales.

VIII.3 Causes du problème de dénitrification survenu à la STEP de Réghaia pendant la période de février 2012 à avril 2012:

Durant cette deuxième période d'étude nous remarquons que le processus de nitrification qui est sous dépendance totale des rejets industriels, est instantanément rétabli suite à l'absence de toutes sources toxiques pendant ces deux mois, les résultats d'analyse relatifs à cette période viennent prouver cette constatation. A la sortie de la STEP, les concentrations d'ammonium sont très faibles, ce qui signifie que la réaction de nitrification permettant de transformer l'ammonium en nitrate a eu lieu au sein du réacteur biologique, parallèlement à cette constatation, **des concentrations en nitrates dans les eaux épurées de l'ordre de 48 mg/l et 60 mg/l** pour les mois de février et mars 2012 respectivement signalent qu'il y a un problème quelque part, la norme souhaitable de 10 mg/l est fortement dépassée. On peut conclure sans aucune doute que cette fois-ci c'est le procédé de dénitrification qui est affecté.

Notre procédure repose sur un raisonnement logique, le problème étant théoriquement connu, maintenant il s'agit de lui affecter ses causes. Ceci implique une parfaite connaissance des paramètres qui peuvent influencer le procédé de dénitrification.

Avec la possibilité d'agir sur place nous avons recommandé aux responsables de la STEP de nous offrir la chance d'effectuer des analyses sur plusieurs paramètres qui semblent les plus pertinents.

Nous avons donc décidé de suivre et d'examiner pendant notre période de stage les paramètres qui régissent le procédé de dénitrification.

L'analyse et le suivi des paramètres que nous avons choisi s'effectuent dans le bassin d'aération qui est le cœur des réactions de nitrification-dénitrification.

Nous avons évalué les paramètres suivants :

- Les paramètres physico-chimiques (pH, température) dans les deux compartiments du réacteur biologique qui sont la zone aérée et la zone anoxie.
- La concentration de l'oxygène dissous dans les deux compartiments.
- Suivi des concentrations de nitrates de l'eau à épurer à la sortie du bassin d'aération juste après avoir traversé la zone anoxie.
- Examen des concentrations d'ammonium, de nitrites et de nitrates à l'entrée et à la sortie de la STEP de Réghaia.
- Les concentrations de la DBO₅ à l'entrée de la STEP.

Chapitre VIII: Dysfonctionnements : Remise en cause

VIII.3.1 Résultats d'analyses des paramètres physico chimiques au niveau du bassin d'aération

Les résultats d'analyses sont regroupés dans le tableau VIII.10, nous avons associé à chaque paramètre sa valeur optimale (T*, pH * et O₂*) [9], donnée dans la littérature :

Tableau VIII.10 : Résultats d'analyses au niveau du bassin d'aération.

Paramètres Jours	BA	T (°C)	T* (°C)	pH	pH*	O ₂ dissous (mg/l)	O ₂ * dissous (mg/l)
29/03/2012	Zone aérobie	17,5	10-30	7,2	7,2-8,5	6,1	2-3
	Zone anoxie	17,5	5-50	7,1	6-8	1,6	0,2
03/04/2012	Zone aérobie	18	10-30	8,3	7,2-8,5	5,9	2-3
	Zone anoxie	17,8	5-50	8,2	6-8	1,9	0,2
05/04/2012	Zone aérobie	17,9	10-30	7,1	7,2-8,5	6,2	2-3
	Zone anoxie	17,4	5-50	6,7	6-8	2,6	0,2
08/04/2012	Zone aérobie	18,4	10-30	7,5	7,2-8,5	4,7	2-3
	Zone anoxie	18,7	5-50	7,7	6-8	0,15	0,2
10/04/2012	Zone aérobie	18,4	10-30	7,7	7,2-8,5	2,4	2-3
	Zone anoxie	18	5-50	7,9	6-8	0,10	0,2
12/04/2012	Zone aérobie	16	10-30	8	7,2-8,5	2,8	2-3
	Zone anoxie	16,3	5-50	8,2	6-8	0,15	0,2

Chapitre VIII: Dysfonctionnements : Remise en cause

VIII.3.2 Résultats d'analyses de la DBO₅ et des composés azotés à l'entrée et à la sortie de la STEP de Réghaia:

Parallèlement aux résultats d'analyses effectués au niveau du bassin d'aération, nous regroupons dans le tableau suivant les analyses des composés azotés, ainsi que celles de la DBO₅ à l'entrée et à la sortie de la station, vu de l'impossibilité de les mesurer in situ.

Tableau VIII.11 : Résultats d'analyse à l'entrée et à la sortie de la STEP de Réghaia.

Paramètres		NH ₄ ⁺ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	DBO ₅ (kg/j) (entrée)	N à dénitrifier (N dénit)* (kg/j)	DBO ₅ / N à dénitrifier
Jours							
29/03/2012	Entrée	15,87	1,65	19,85	5892	36,38	161,97
	Sortie	0,38	0,03	92,15			
03/04/2012	Entrée	17,28	2,84	18,74	5195	210,33	24,70
	Sortie	0,06	0,11	78,41			
05/04/2012	Entrée	18,96	2,59	21,04	2383	38,29	62,23
	Sortie	0,06	0,15	88,60			
08/04/2012	Entrée	23,22	2,39	12,36	4806	313,28	15,34
	Sortie	1,06	0,59	53,12			
10/04/2012	Entrée	8,20	0,66	14,31	4081	774,43	5,27
	Sortie	0,36	0,03	46,65			
12/04/2012	Entrée	12,23	1,13	15,16	5629	1798,55	3,13
	Sortie	0,58	0,02	57,37			

* : la méthode de calcul de N à dénitrifier est donnée en VIII.2.3

VIII.3.3 Interprétation des résultats d'analyses :

L'examen des résultats obtenus durant la première période d'analyse allant du **29/03/2012** au **05/04/2012** montre que les valeurs des paramètres physico-chimiques à savoir la température et le pH sont bien dans la fourchette permettant le développement des bactéries hétérotrophes nécessaires à la réaction de dénitrification. Néanmoins, un petit dépassement pour le pH au niveau du bassin d'anoxie est observé le 03/04/2012. Notons par ailleurs que pour ce même jour, la valeur du pH au niveau du bassin aérobie, et même si elle ne dépasse pas les valeurs optimales pour la nitrification, est relativement élevée, ceci s'explique par des rejets industriels (de nettoyage, de produits cosmétiques, des usines de fabrication de jus...)

La comparaison des valeurs du pH au niveau des deux compartiments, montre que ce dernier ne subit pas une grande variation. Sachant que dans le cas de la dénitrification, on observe une augmentation de l'alcalinité qui implique une augmentation du pH vers des valeurs basiques [9] même si cette variation dépend fortement du pouvoir tampon des eaux à traiter et ne peut pas justifier de manière exacte **l'absence de la dénitrification, les valeurs du pH qui tendent à diminuer** supposent, une **continuité de la réaction de nitrification au sein du bassin d'anoxie** avec une augmentation de l'acidité du milieu.

Nous représentons dans la figure VIII.6, les valeurs d'oxygène dissous mesurées au niveau du bassin d'aération



Figure VIII.6: Evolution de la concentration d'oxygène dissous dans la zone aérée et dans la zone anoxie du réacteur biologique du 29/03/2012 au 12/04/2012 pour la STEP de Rghaia.

Les valeurs élevées en oxygène dissous durant la période allant du **29/03/2012 au 05/04/2012** au niveau du bassin anoxie variant entre **1,6 mg/l** et **2,6 mg/l**, indiquent que la réaction de dénitrification ne peut pas avoir lieu, avec des valeurs **largement supérieures à 0 mg/l**, les bactéries hétérotrophes dont le développement nécessite un apport d'énergie vont consommer l'énergie libérée par l'oxydation de la matière organique en présence de l'oxygène vu que cette énergie est nettement supérieure à celle libérée en présence de nitrates, de ce fait, on remarque durant cette première période d'étude, des concentrations accrues en nitrates à la sortie du bassin d'aération allant jusqu'à **92 mg/l pour le 29/03/2012**.

Nous supposons donc que la suraération (augmentation de la durée de marche des aérateurs) est la cause principale de l'inhibition de la réaction de dénitrification, mais est-elle la seule cause de cette augmentation importante de la concentration de nitrates à la sortie du bassin d'aération ?

Pour répondre à cette question, il fallait en premier lieu éliminer le problème de la suraération (diminuer la concentration d'oxygène dissous dans le bassin d'anoxie). En effet l'abaissement de la durée d'aération permet de se focaliser sur les autres paramètres qui peuvent affecter la dénitrification.

A partir du **05/04/2012**, la concentration d'oxygène dissous au niveau du bassin aérobie a diminué de **4,7 mg/l à 2,4 mg/l**, de même la concentration d'oxygène au niveau du bassin anoxie a baissé pour atteindre une valeur moyenne de **0,13 mg/l**, ces valeurs faibles en oxygène doivent normalement permettre aux bactéries hétérotrophes d'adopter une voie métabolique plus complexe en réduisant ainsi la concentration de nitrates à la sortie du bassin d'aération. Néanmoins une diminution insignifiante des concentrations de nitrates enregistrées durant la période allant de **08/04/2012 au 12/04/2012**, qui oscillent autour d'une moyenne de **52,38 mg/l** indiquant une perturbation dans le cycle dynamique responsable de la réaction de dénitrification !

Par ailleurs l'examen de la charge de DBO_5 à l'entrée de la station ainsi que les valeurs du rapport DBO_5/N à dénitrifier qui tend à diminuer, nous fait penser que ces faibles charges sont la cause de la défaillance de la réaction de dénitrification, avec un faible apport en substrat carboné facilement biodégradable (60 mg/l à l'entrée de la STEP et 42 mg/l au niveau du bassin d'aération), les bactéries dénitrifiantes ne peuvent pas assurer la réduction de nitrates en azote moléculaire.

Enfin nous concluons que le problème de la dénitrification survenant pour la STEP de Réghaia a pour origine deux causes principales :

*Une sur aération au niveau du réacteur biologique conduisant à l'absence d'une zone anoxie nécessaire à la réaction de dénitrification.

*Les faibles charges organiques entrantes qui provoquent une carence nutritionnelle dans la zone anoxie.

VIII.4 Causes de problème d'extraction des boues dans la STEP de Réghaia :

L'analyse et l'interprétation du ratio «kg MS extraites/ kg de DCO éliminée » nous a permis de conclure que l'extraction des boues est insuffisante.

Une mauvaise extraction des boues primaires cause un problème de fermentation dans le décanteur , de même les concentrations en matières en suspension (MES) au niveau du réacteur biologique doivent être adaptées à la charge polluante reçue afin de respecter la charge massique de dimensionnement, cette concentration doit systématiquement être maintenue voisine de 4 g/l, toute déviation par rapport à la valeur optimale déclenche un dysfonctionnement au niveau de la chaîne d'épuration , de ce fait des valeurs plus élevées peuvent occasionner :

- des situations de limite hydraulique du clarificateur et un engorgement de celui-ci
- des risques de sous-aération,
- une carence nutritionnelle (charge massique faible)
- des dépôts
- des surconsommations électriques.

Cette partie vise à trouver une explication à ce problème d'extraction des boues, en effet notre interprétation repose sur une étude comparative entre les quantités de boues optimales qu'il fallait extraire pour respecter la charge de dimensionnement avec la capacité de déshydratation, et cela pour savoir si les centrifugeuses en bon état de fonctionnement sont capables de recevoir une telle capacité de boues .Pour ce faire nous avons besoin de quelques données concernant les centrifugeuses de la STEP de Réghaia dont les caractéristiques sont regroupées dans le tableau VIII.12.

Tableau VIII.12 : Caractéristiques des centrifugeuses de la STEP de Réghaia

Nombre de centrifugeuses	4
Nombre de centrifugeuses en bon état de fonctionnement	2/4
Nombre pompes d'alimentation des centrifugeuses en boues	4
Débit des pompes d'alimentation des centrifugeuses	5 - 50 m ³ /h
Flux massique unitaire	633 kg/h
Débit de fonctionnement	20 m ³ /h
Nombres d'heures de fonctionnement	17 h/j

VIII.4.1 Calcul de la quantité de boues stockées (à déshydrater) au niveau de la STEP de Réghaia:

$$\text{Quantité de boues stockées (QB)} = \text{quantité de boues biologiques (QBB)} + \text{quantité de boues primaires (QBP)}$$

Les formules de calcul de la production de boues au niveau de la STEP de Réghaia sont données en VII.3.3.2. Les résultats de calcul sont mentionnés en annexe IV.

VIII.4.2 Calcul de la quantité théorique de boues à extraire

$$\text{Quantité de boues stockées (optimale) QB}^* = \text{quantité de boues biologiques optimale (QBB}^*) + \text{quantité de boues primaires optimale (QBP}^*)$$

VIII.4.2.1 Calcul de la quantité de boues biologiques optimale à extraire :

On utilise la formule suivante d'après [31]

$$\text{Quantité de boues biologiques (QBB}^*) = (0,83 + 0,2 \log(C_m)) * \text{DBO}_{5(\text{EB})}$$

- C_m : charge massique calculée pour $\text{MES}_{\text{BA}} = 4 \text{ g/l}$
- $\text{DBO}_{5(\text{EB})}$: charge de la DBO_5 de l'eau brute.

VIII.4.2.2 Calcul de la quantité de boues primaires optimale à extraire (QBP*) :

L'extraction des boues primaires n'est pas influencée par la charge de dimensionnement, car elle dépend seulement du rendement d'élimination de MES dans le décanteur primaire.

La quantité de boues primaires optimale à extraire est donnée par la relation suivante d'après [51].

$$\text{QBP}^* = (\text{Flux MES}_{24\text{h}}) * 0,6$$

- Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau VIII.13

Tableau VIII.13: Résultats des calculs des quantités de boues biologiques et primaires réellement extraites et idéales à extraire pour la STEP de Réghaia .

Paramètres Mois	C_m	$\text{DBO}_{5(\text{EB})}$ (Kg/j)	QBB^* (kg/j)	(QBB) (kg/j)	QBP (kg/j)	QBP^* (kg/j)
Avril 2011	0,16	5867	3922	3530	1940	5292
Mai 2011	0,14	4858	3202	714	2652	4822
Juin 2011	0,15	4694	3114	456	2119	4708
Juillet 2011	0,08	3543	2176	2463	1452	3631
Aout 2011	0,10	3492	2185	1767	1534	4001
Septembre 2011	0,08	3648	2246	1936	1603	4007
Octobre 2011	0,17	6855	4620	4140	2266	5438
Novembre 2011	0,16	7613	5100	2607	5197	9449
Décembre 2011	0,11	11167	7105	2119	7145	5872
Janvier 2012	0,11	11963	7662	1080	7347	7600
Février 2012	0,16	11060	7425	4961	11526	13299

Chapitre VIII: Dysfonctionnements : Remise en cause

Les résultats des calculs montrent que l'extraction de boues primaires et de boues biologiques est insuffisante, elles représentent à eux deux respectivement **59,7%** et **59,9%** des quantités optimales à extraire, sachant qu'une bonne extraction permet d'éviter la fermentation dans le décanteur primaire, et la surcharge dans le bassin d'aération.

Nous allons maintenant voir si cette mauvaise extraction des boues est justifiée en exploitation, et pour ce faire nous comparons la capacité des centrifugeuses avec la quantité optimale de boues à extraire au niveau de la STEP de Réghaia.

VIII.4.3 Comparaison entre la quantité optimale de boues à déshydrater et la capacité des centrifugeuses

On utilise les caractéristiques des centrifugeuses de la STEP mentionnés dans le tableau VIII.9 pour calculer la capacité des centrifugeuses nécessaire à la déshydratation des boues produites.

$$\text{Capacité de déshydratation des centrifugeuses} = 2 \times 633 \times 17 = 21522 \text{ kg/j}$$

L'étude comparative est indiquée dans le tableau VIII.14 :

Tableau VIII.14: Comparaison de la quantité de boues optimale à déshydrater avec la capacité de déshydratation des centrifugeuses pour la STEP de Réghaia.

Paramètres Mois	Quantité de polymère utilisé (Q _P) (kg/j)	QB* (kg/j)	Q=QB*+ Q _P (kg/j)	Capacité de déshydratation des centrifugeuses (QC) (kg/j)	Q/QC %
Avril 2011	53	9214	9267	21522	43,0
Mai 2011	61	8024	8085	21522	37,5
Juin 2011	37	7822	7859	21522	36,5
Juillet 2011	31	5807	5838	21522	27,0
Aout 2011	27	6186	6213	21522	28,0
Septembre 2011	34	6253	6287	21522	29,0
Octobre 2011	50	10058	10108	21522	46,0
Novembre 2011	35	14549	14584	21522	67,0
Décembre 2011	25	12977	13002	21522	60,4
Janvier 2012	31	15262	15293	21522	71,0
Février 2012	42	20724	20766	21522	96,5

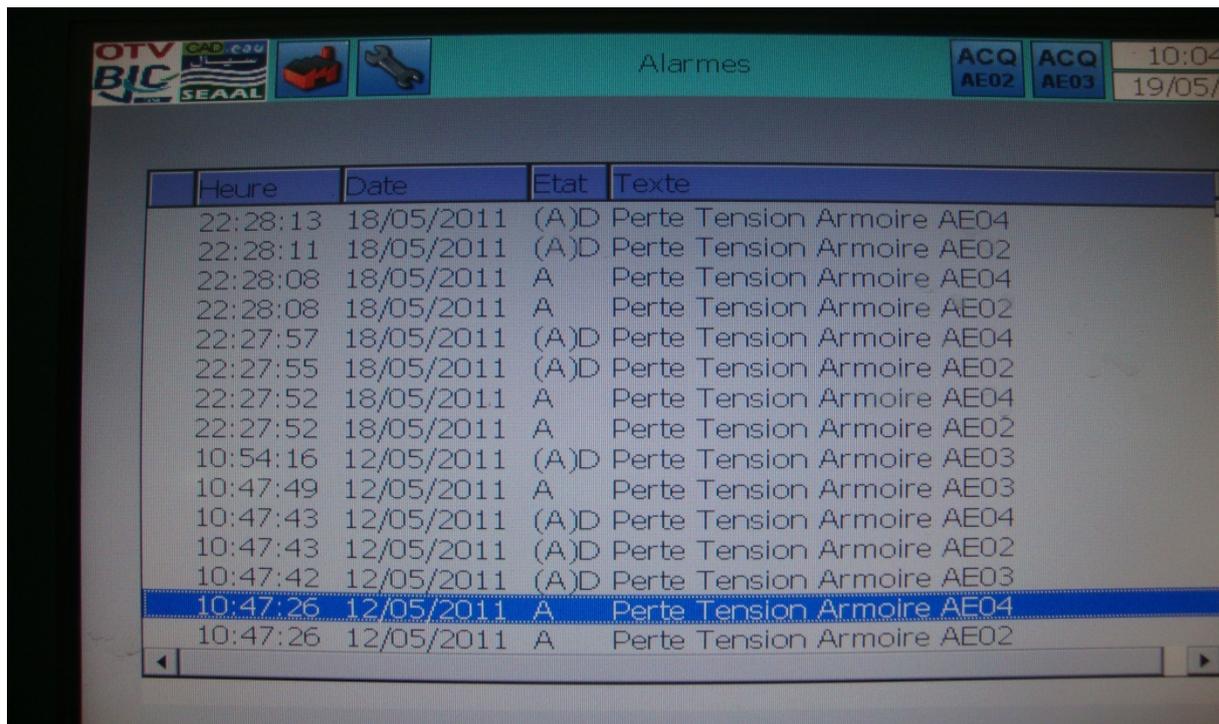
Tout en comparant la quantité de boues optimale à déshydrater (QB)* avec la capacité journalière des centrifugeuses, nous pensons en premier abord que la STEP pouvait extraire ces quantités de boues pour maintenir son bon état de fonctionnement, mais parallèlement à cette constatation, l'analyse de quelques données relatives au fonctionnement de ces centrifugeuses a montré que leur temps de marche journalier est bien inférieur à 17h/j, en effet leur pouvoir déshydratant est fortement influencé par des problèmes de coupure d'électricité du fait qu'une seule microcoupure au niveau de la STEP de Réghaia conduit à l'arrêt de ces centrifugeuses et nécessite 23 min pour qu'elles reprennent leur bon état de fonctionnement, à côté de ce problème de microcoupures, une autre explication vient justifier ce taux d'extraction insuffisant, en effet les exploitants de la STEP ont découvert un problème dans le réglage, ce dernier ne permet de déshydrater que 400kg/h de boues, représentant ainsi (2/3) de la capacité nominale de

Chapitre VIII: Dysfonctionnements : Remise en cause

chaque centrifugeuse qui est de 633 kg/h, à cet effet la capacité de déshydratation est réduite de 21522 kg/j à 13600 kg/j, et cela sans tenir compte au temps de fonctionnement réel qui est à son tour bien inférieur à 17 h /j (microcoupures d'électricité , lavage pendant 23 min après chaque déshydratation) .

Ces problèmes rencontrés aux niveaux des centrifugeuses et même s'ils viennent expliquer et justifier les actions des exploitants de la STEP qui ne pouvaient pas atteindre l'optimum de l'extraction des boues, **ils demandent une prise en charges urgente** pour permettre à la STEP d'atteindre ces performances.

Le schéma suivant illustre un exemple des microcoupures d'électricité (signalées par la consonne **D**) qui est détectée par l'automate des centrifugeuses.



Heure	Date	Etat	Texte
22:28:13	18/05/2011	(A)D	Perte Tension Armoire AE04
22:28:11	18/05/2011	(A)D	Perte Tension Armoire AE02
22:28:08	18/05/2011	A	Perte Tension Armoire AE04
22:28:08	18/05/2011	A	Perte Tension Armoire AE02
22:27:57	18/05/2011	(A)D	Perte Tension Armoire AE04
22:27:55	18/05/2011	(A)D	Perte Tension Armoire AE02
22:27:52	18/05/2011	A	Perte Tension Armoire AE04
22:27:52	18/05/2011	A	Perte Tension Armoire AE02
10:54:16	12/05/2011	(A)D	Perte Tension Armoire AE03
10:47:49	12/05/2011	A	Perte Tension Armoire AE03
10:47:43	12/05/2011	(A)D	Perte Tension Armoire AE04
10:47:43	12/05/2011	(A)D	Perte Tension Armoire AE02
10:47:42	12/05/2011	(A)D	Perte Tension Armoire AE03
10:47:26	12/05/2011	A	Perte Tension Armoire AE04
10:47:26	12/05/2011	A	Perte Tension Armoire AE02

Figure VIII.7 : Exemple des microcoupures d'électricité dans la STEP de Reghaia

Il est à signaler que le problème de réglage des centrifugeuses a été résolu le mois d'avril 2012, il reste à régler celui des microcoupures d'électricité afin d'optimiser le fonctionnement de ces centrifugeuses qui représentent de bonnes performances concernant la siccité des boues déshydratées.

Un point particulier attire notre attention , en effet depuis l'ouverture de la deuxième filière de traitement (fin novembre 2011), nous remarquons que la production de boues primaires est en forte croissance(Tableau VIII.10) suite à des rendements de décantation qui deviennent de plus en plus importants, cette caractéristique même si elle représente un avantage pour l'élimination de la pollution particulaire , **néanmoins** elle rend la possibilité d'extraction plus délicate et diminue l'efficacité de la déshydratation , chose qui pourra aggraver dans le futur le problème de l'extraction des boues.

VIII.5 Conclusion:

A travers l'analyse des données disponibles et l'exploitation des résultats des calculs que nous avons présentés dans ce chapitre nous avons pu valider un certain nombre d'hypothèses et démontrer qu'ils sont les causes principales des dysfonctionnements rencontrés au niveau de la STEP de Réghaia. Ces constatations ont permis :

- ✓ D'affecter le problème de nitrification à la présence de métaux lourds dont nous devons nous préoccuper prochainement.
- ✓ De lier le problème de la dénitrification à des concentrations élevées en oxygène dans le bassin d'aération et dans certains cas à une carence nutritionnelle dans la zone anoxie suite à des faibles charges organiques entrantes, ce bassin nécessite une optimisation de son fonctionnement
- ✓ D'attribuer le problème d'extraction des boues à la diminution de la capacité de déshydratation.
- ✓ De se poser la question sur l'état de la consommation énergétique dans une période où l'aération a fortement augmentée et dans un secteur assez énergivore comme la station d'épuration sans oublier l'impact sur l'environnement.

Ce dernier point fait l'objet du prochain chapitre

Chapitre IX :

Bilan énergétique de la STEP de Réghaia

[L'énergie est une histoire qui n'a pas fini de s'écrire. Continuons de
l'écrire avec moins de CO₂]

IX.1 Introduction :

Évidemment, les aspects environnementaux sont primordiaux et sont l'essence même de l'existence des STEP. Toutefois, il serait quelque peu hypocrite de prétendre que le fonctionnement de ces ouvrages soit uniquement dicté par de nobles élans écologiques. En effet les stations d'épuration pèchent souvent par leur consommation énergétique, souvent bien trop importante. Une STEP représente l'un des services les plus énergivores, de ce fait réduire les coûts d'exploitation passe nécessairement par une bonne maîtrise de la consommation d'énergie électrique, une énergie dont le prix menace d'augmenter drastiquement.

C'est pourquoi, nous étudions dans le chapitre suivant la situation de la consommation électrique au niveau de la STEP de Réghaia.

IX.2 Etat de la consommation électrique dans la STEP de Réghaia:

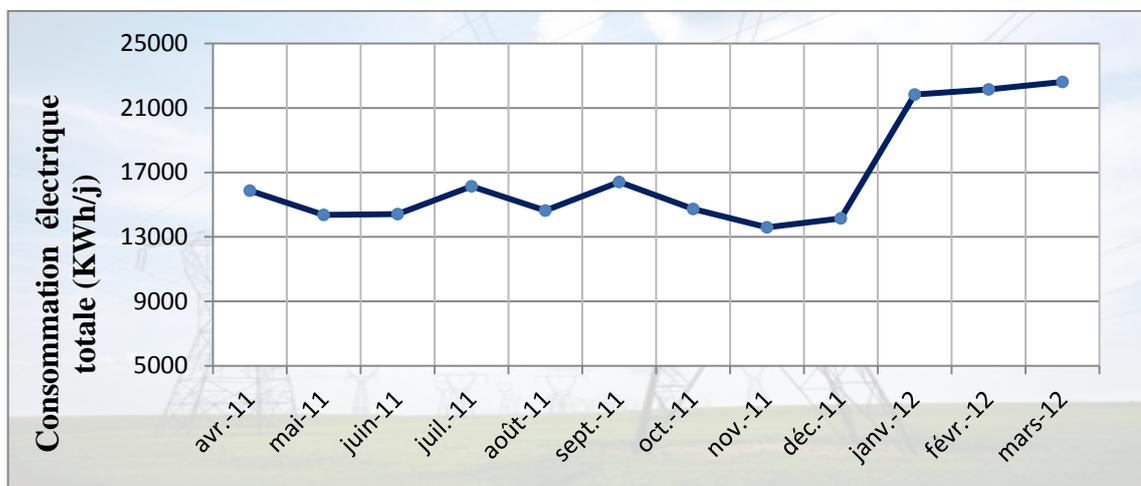


Figure IX.1 : Evolution de la consommation électrique totale au niveau de la STEP de Réghaia.

Sur le graphe ci-dessus nous remarquons que la consommation de l'énergie électrique au niveau de la STEP de Réghaia durant la période avril 2011 à décembre 2011 est relativement stable et oscille autour d'une valeur journalière de **15000 KWh**. Par contre une montée brusque dans cette consommation électrique est observée pendant les mois de janvier, février et mars 2012 atteignant des valeurs de l'ordre de **22000 KWh/j** pendant le mois de mars 2012, cette hausse est due à l'augmentation de la période de marche des aérateurs correspondant à un temps supplémentaire de 2 heures par jour.

La consommation totale d'énergie électrique de la station d'épuration de Réghaia s'est élevée à environ **6107140 KWh** durant la période d'avril 2011 à mars 2012, soit **23,22 KWh par équivalent-habitant**, ou **0.48 KWh/m³ d'eau traitée**.

IX.3 La part de l'aération dans le bilan global de la consommation électrique :

Concernant la consommation électrique dans la STEP de Réghaia, nous avons remarqué un saut de 15000 KWh/j à 22000 KWh/j suite à l'augmentation de la période d'aération de 2h par jours seulement, cette variation notable a marqué notre attention, ainsi pour connaître la part de l'aération dans la consommation énergétique totale, nous avons évalué le rapport «énergie électrique consommée dans les aérateurs / l'énergie électrique totale consommée dans la STEP de Réghaia »

Les résultats de calcul sont illustrés dans le graphe suivant :

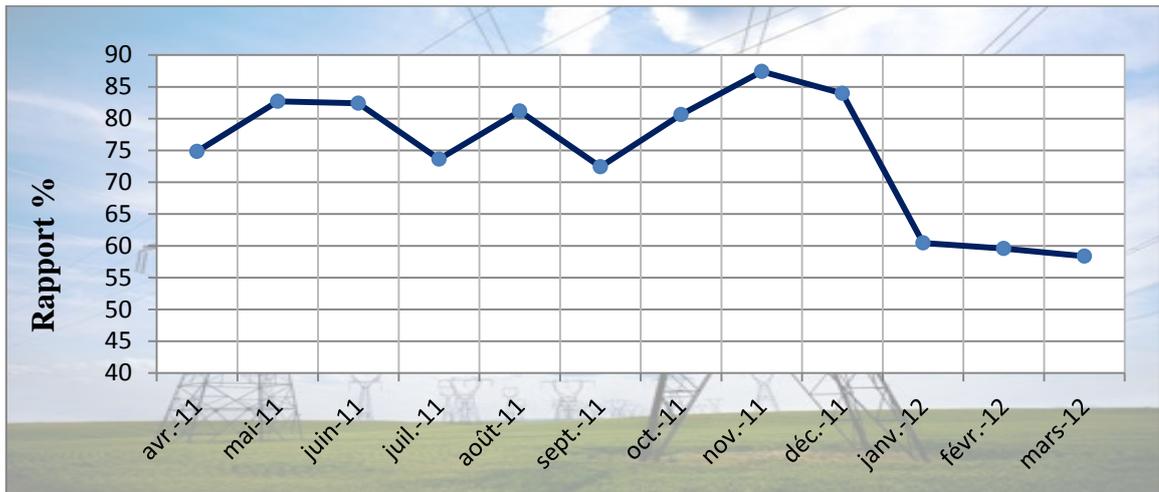


Figure IX.2 : Evolution du rapport consommation d'énergie électrique au niveau des aérateurs/consommation d'énergie électrique totale.

En effet le rapport calculé montre que l'aération et l'agitation sont les postes les plus consommateurs d'énergie, ils représentent, à eux deux, **75 %** de l'énergie totale consommée.

Une diminution du ratio consommation d'énergie électrique au niveau des aérateurs/consommation d'énergie électrique totale est observée durant la période de janvier 2012 à mars 2012, ceci a pour origine l'utilisation des filtres à sable, grands consommateurs d'énergie. Notons qu'il était possible de profiter de la topographie en plaçant le poste de filtration dans un endroit permettant l'arrivée des eaux traitées, par gravité, depuis le clarificateur diminuant ainsi la consommation d'énergie.

L'aération est le poste le plus énergivore dans la station d'épuration de Réghaia, de ce fait la maîtrise de la consommation électrique dans la STEP nécessite obligatoirement des actions correctives à ce niveau pour une meilleure gestion de ce poste afin d'optimiser et de réduire cette consommation d'énergie.

IX.4 La part de la déshydratation des boues dans le bilan global de la consommation électrique :

La déshydratation des boues par centrifugation permet d'obtenir des siccités élevées, cependant la technologie utilisée engendre des frais d'exploitation importants en matière d'énergie. Il est donc indispensable de connaître la part de la déshydratation dans la consommation totale d'électricité.

♣ Calcul de l'énergie consommée pour la déshydratation des boues durant la période d'avril 2011 à mars 2012:

Les quantités de boues produites données par la relation ci-dessous sont consignées en Annexe IV.

$$Q_{\text{boues à déshydrater}} = Q_{\text{boues stockées}} = Q_{\text{boues primaires extraites}} + Q_{\text{boues biologiques extraites}}$$

Pour calculer la consommation d'énergie électrique nécessaire pour la déshydratation des boues, on a besoins des données ci-après concernant les centrifugeuses :

Chapitre IX : Bilan énergétique de la STEP de Réghaia

- La puissance nominale du moteur principal : **37 KW**
- La puissance nominale du moteur secondaire : **7,5 KW**

Par suite :

Pour déshydrater 1 tonne de MS (Boues stockées) par centrifugation, on consomme

$$(37+7,5)/0,633=70,3 \text{ KWh.}$$

L'énergie consommée pour la déshydratation est donnée par la relation suivante :

$$\text{Energie consommée (déshydratation)} = Q_{\text{boues produites (tonnes)}} * 70,3$$

Les résultats de calcul sont donnés en Annexe VIII.

Nous calculons par suite le rapport consommation d'énergie électrique pour la déshydratation/ consommation d'énergie électrique totale, comme est illustré dans le graphe suivant.



Figure IX.3 : Evolution du rapport consommation d'énergie électrique au niveau du de déshydratation / consommation d'énergie électrique totale.

Le rapport calculé montre que la déshydratation consomme en moyenne **667 KWh/j** d'électricité, ce qui représente, **4,2 %** de l'énergie totale consommée.

Cette valeur devrait augmenter, car pour respecter la charge massique de dimensionnement, il faut extraire davantage ce qui implique une augmentation de la production de boues et donc de la consommation électrique nécessaire pour la déshydratation.

En effet, le calcul de la production de boues totale durant cette période donne une valeur de **2341 tonnes** contre une valeur théorique de **3806 tonnes** (Annexe V). Par suite d'un rendement faible au niveau du décanteur d'une part et une faible extraction de boues biologiques d'autre part, la consommation électrique au niveau du poste de déshydratation n'a représenté que **62%** de la consommation électrique réelle.

IX.5 Influence de la mauvaise extraction des boues biologiques sur la consommation d'énergie électrique durant la période de janvier 2012 à mars 2012 :

Nous avons déjà soulevé un peu plus haut, le problème de la surconsommation d'énergie électrique suite à l'augmentation du temps de marche des aérateurs durant la période de janvier 2012 à mars 2012. Maintenant il s'agit de la prouver par calculs.

Durant cette période, nous avons remarqué de fortes concentrations en MES au niveau du réacteur biologique, en effet **l'examen des valeurs journalières de MES au niveau du bassin d'aération donne des valeurs allant jusqu'à 8,5 g/l.**

Rappelons par ailleurs que cette concentration ne doit pas dépasser 4-4,5 g/l (caractéristique de dimensionnement).

Sachant que durant cette même période la consommation totale en énergie électrique n'a cessé de croître, de plus le calcul du ratio consommation d'énergie électrique au niveau des aérateurs/ consommation d'énergie électrique totale montre que **le réacteur biologique est le poste le plus énergivore**, il est donc nécessaire de déterminer la perte d'énergie électrique suite à ce dysfonctionnement.

Pour ce faire nous allons tout d'abord calculer la consommation moyenne en énergie électrique nécessaire pour assurer les deux fonctions d'aération et de brassage tout en respectant une concentration optimale de 4,3 g/l.

Nous utilisons la relation suivante pour calculer le temps de marche journalier des aérateurs :

$$\text{Temps de marche journalier (h/j)} = \frac{e}{P * Nb} * V_{\text{aéré}}$$

Les paramètres de la relation précédente sont mentionnés dans le tableau (VIII.4)

Avec e: énergie journalière de brassage = 0,6 KWh/ V aéré /j pour MES=4,3g/l.

Le calcul montre que le temps de marche des aérateurs nécessaire pour satisfaire le besoin théorique en oxygène et assurer le brassage est de **16 h/j**, ce qui représente une consommation électrique de **10560 KWh/j**.

Nous calculons maintenant la perte d'énergie électrique suite à l'augmentation des concentrations en MES dans le réacteur biologique, en passant par le calcul du temps d'aération supplémentaire nécessaire aux deux fonctions d'aération et de brassage. Cela représente la différence entre le temps de marche réel pour des concentrations en MES > 4,3 g/l et le temps de marche relatif à une concentration en MES de 4,3 g/l.

Pour ce faire, nous utilisons la relation suivante:

$$\text{Perte d'énergie (KW/j)} = \text{Temps de marche supplémentaire} * P * Nb$$

Rappelons que : P : puissance d'une turbine et Nb : nombre de turbines sont consignés dans le tableau VIII.4.

Les résultats de calcul sont donnés dans le tableau IX.1:

Tableau IX.1 : Perte d'énergie suite à une mauvaise extraction des boues biologiques.

Paramètre Mois	Temps de marche supplémentaire nécessaire pour des concentrations en MES supérieures à 4,3 g/l (h/j)	Perte moyenne d'énergie (KW/j)	Perte d'énergie électrique (KW) pour le mois considéré	Perte d'énergie (% de la consommation journalière au niveau de bassin d'aération)	Perte d'énergie (% de la consommation totale journalière)
Janvier 2012	4,44	2930	90830	22%	13%
Février 2012	3,15	2079	60291	16%	09%
Mars 2012	4,55	3003	93093	23%	13%

Ces résultats montrent que l'augmentation de la durée d'aération pour résoudre le problème de la nitrification et satisfaire le besoin en oxygène pour la biomasse nitrifiante a engendré une consommation très importante en énergie électrique représentant plus de **1/5 de l'énergie totale au niveau du bassin d'aération et 1/9 de l'énergie totale au niveau de la STEP de Réghaia**. Cette solution est antiéconomique vu qu'une extraction bien maîtrisée peut résoudre le problème de la sous-aération tout en réalisant des économies importantes d'énergie.

Cette hausse de la consommation électrique nous fait penser au problème des émissions des gaz à effet de serre, car l'utilisation de l'énergie électrique émet du CO₂. Même si le gaz naturel qui représente la source principale de production de cette énergie en Algérie (**96 %**), est le moins carboné des hydrocarbures, toutefois sa combustion dégage encore du CO₂. C'est pourquoi nous calculons dans le point suivant le bilan carbone engendré par la station.

IX.6 Détermination du bilan carbone :

Dans cette partie nous allons dans une première étape suivre l'évolution du bilan carbone engendré par la STEP de Réghaia durant la période d'avril 2011 à mars 2012, dans une seconde étape nous calculons le bilan carbone de cette même période tout en respectant une concentration de 4,3 g/l en MES au niveau du réacteur biologique.

Rappelons que :

- 1 tep = 11600 KWh
- 1 tep = 1100 m³GN
- 1 tep = 651 kg de Carbone

Avec : 1 kg de C = 3,66 kg de CO₂

Par suite :

$$1 \text{ tep} = 2382,66 \text{ kg de CO}_2$$

En Algérie, l'énergie électrique est produite, principalement, à partir du **gaz naturel** (GN). La part de la puissance installée de l'ensemble des centrales utilisant cette énergie primaire dépasse les **96%**. Le rendement de ce type de centrale est de **35%**[CDER].

De ce fait :

$$1 \text{ tep} = 11600 * 35\%$$

1 tep = 4060 KWh

On calculera maintenant l'émission de CO₂ générée par la production d'énergie électrique :

$$(2382,66 / 4060) = 0,587 \text{ kg CO}_2/\text{KWh}$$

En fin, il en résulte que **pour produire un 1 KWh d'électricité, 0,587 kg de CO₂ est émis dans l'atmosphère.**

Par suite :

$$\text{Le taux de CO}_2 \text{ émis} = E \text{ consommée} * 0,587$$

Les résultats de calculs sont donnés dans la figure suivante.

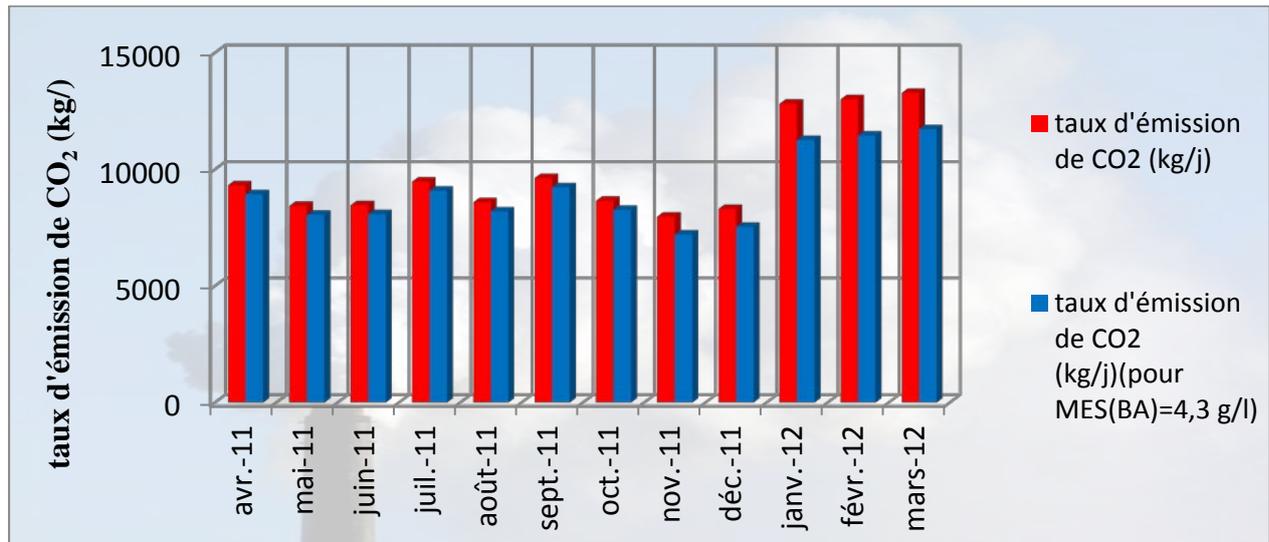


Figure IX.4 : Evolution du taux d'émission de dioxyde de carbone d'avril 2011 à mars 2012 pour la STEP de Réghaia.

L'histogramme en rouge (figure IX.4) indique l'évolution des émissions de CO₂ au niveau de la STEP de Réghaia durant la période d'avril 2011 à mars 2012, celui en bleu montre l'évolution du taux d'émission de CO₂ théorique si la concentration en MES de dimensionnement (au niveau du réacteur biologique) a été respectée

Nous remarquons une augmentation rapide des émissions de CO₂ à partir de janvier 2011 suite à l'augmentation de la consommation énergétique au niveau du bassin d'aération. L'émission totale de CO₂ durant cette période est estimée à **3590 tonnes de CO₂**, ce qui équivaut aux émissions de **718 véhicules**.

Nous remarquons aussi que la mauvaise extraction des boues biologiques a provoqué une augmentation significative du taux d'émission de dioxyde de carbone, une bonne extraction, aura permis de réduire l'émission de **271166 kg de CO₂**, ce qui est équivaut à éliminer l'émission de **54 véhicules**.

IX.7 Conclusion

La consommation d'électricité au niveau de la STEP de Réghaia est très importante et ne cesse de croître, l'aération consomme trop d'énergie et la présence d'un système de déshydratation par centrifugation ainsi qu'une filtration à sable viennent compliquer la situation, ce qui engendre une augmentation importante des coûts d'exploitation. Il est donc nécessaire de chercher des outils adéquats afin d'affiner et d'optimiser les dépenses énergétiques.

Chapitre X:

***Amélioration de la fiabilité du traitement et
Diminution des dépenses énergétiques et de
l'empreinte écologique :***

Un défi de demain pour la STEP de Réghaia

[Plutôt que de viser un perfectionnisme qui vous conduira à la déception ou à l'immobilisme, viser l'amélioration continue : Ne crains pas d'avancer lentement, crains seulement de t'arrêter. Peu importe le rythme, l'essentiel est de progresser encore et encore dans l'atteinte de vos objectifs]

X.1 Introduction :

La science pour le savoir, le savoir pour le progrès !! , aujourd'hui, plus que jamais, l'amélioration continue est la clé du développement de toutes entreprises, la station d'épuration de Réghaia ne doit pas faire exception. A nos jours l'ingénieur veille à démontrer l'utilité de chacune de ses suggestions et montrer comment celles-ci peuvent mener à des pistes de progrès et d'amélioration, il faut toujours chercher à innover pour mieux avancer tout en confrontant les contraintes techniques, économiques et écologiques.

Dans ce chapitre, nous proposons certaines approches pour améliorer le fonctionnement de la station d'épuration de Réghaia tout en réduisant ses dépenses énergétiques et son empreinte écologique.

Cette étude vise trois marges de progression :

- Améliorer la fiabilité et le niveau du traitement,
- Moderniser l'exploitation,
- Diminuer la consommation énergétique et l'empreinte écologique.

X.2 Amélioration de la fiabilité et du niveau de traitement dans la STEP de Réghaia:

X.2.1 Recommandations et solutions pour le problème des métaux lourds :

La présence périodique des métaux lourds dans les eaux brutes de la STEP de Reghaia perturbe à la fois la file eau en inhibant le traitement de l'azote d'où des rejets non conformes aux normes, ainsi que la file boues en contaminant ces dernières et en altérant donc leurs qualités, rendant ainsi leur valorisation très délicate.

Ces métaux lourds sont à l'origine de bien des contraintes souvent justifiées, mais aussi des problèmes de plus en plus inquiétants. C'est effectivement une question dont il faut tenir compte car ils empêchent le bon fonctionnement de la station de Réghaia.

Pour affronter cela, nous proposons deux solutions.

- ♣ La première consiste à résoudre le problème à la source.
- ♣ La deuxième consiste à l'aborder crûment et de front.

X.2.1.1 : Solutions et recommandations externes :

L'absence de traitement préalable au niveau de la zone industrielle de Rouïba-Réghaia empêche la station d'épuration d'atteindre ses performances.

Ci-après nous regroupons les recommandations les plus importantes qui pourront remédier à la situation pour permettre au future STEP de Réghaia de fonctionner de façon plus stable et durable.

❖ Rôle de la police des eaux :

- Application de la réglementation sur les rejets industriels et facilitation des procédures de contrôle par la mise en place d'une police des eaux qui veille à l'application de cette stratégie et au contrôle de la conformité de l'activité industrielle à la réglementation.

Chapitre X : Amélioration de la fiabilité du traitement et diminution des dépenses énergétiques et de l’empreinte écologique

❖ Recommandations et actions à entreprendre au niveau des industriels:

Afin de remédier à cette situation nous proposons:

- D’identifier les sources d’émission des toxiques, en se référant à des tableaux bien spécifiques comme ceux que nous avons cités en annexe II.

Une fois la police des eaux identifie les pollueurs potentiels, l’étape suivante consiste à :

- Demander en premier lieu de stopper tous déversements sauvages de bains métallurgiques dans le réseau d’assainissement. Ces rejets irréguliers ne doivent pas être évacués dans le réseau d’assainissement, mais devrait être évacués séparément en dehors des réseaux d’égouts et traités adéquatement afin de préserver l’environnement.
- Imposer au plus importants déverseurs de rejets industriels toxiques de réaliser une station de prétraitement physico-chimique (par exemple avec des bassins tampons ou d’homogénéisation) en amont de la station d’épuration de Réghaia juste en aval de leurs usines avant rejet dans le réseau municipal.
- Imposer la remise en conformité des STEP existantes au niveau des unités industrielles.

X.2.1.2: Solutions et recommandations internes :

Nous étudions dans cette partie la possibilité d’intégrer des solutions techniques fiables et efficaces, pour lutter contre ce problème tout en tenant compte des contraintes économiques.

X.2.1.2.1 Contrôle des métaux lourds dans les eaux usées :

- Nous recommandons une mesure quotidienne des concentrations des métaux lourds dans les eaux usées à l’entrée de la STEP de Réghaia afin d’examiner l’importance des toxiques.
- Nous étudions dans une seconde étape la possibilité d’intégrer une mesure quotidienne du pH, de la conductivité et du rapport DCO/DBO₅ en entrée de la STEP pour détecter la présence des métaux lourds dans les eaux usées.

Pour ce faire nous avons effectué une série d’expériences pour suivre l’évolution de la conductivité , du pH ,de la DCO et de la DBO₅ en fonction de la teneur en métaux lourds les plus fréquemment détectés dans les eaux usées de la STEP de Réghaia, et nous avons ainsi calculé le rapport DCO/DBO₅ correspondant.

Les métaux utilisés sont ceux disponibles au laboratoire, le plan d’expérience est donné dans la figure X.1

Chapitre X : Amélioration de la fiabilité du traitement et diminution des dépenses énergétiques et de l'empreinte écologique

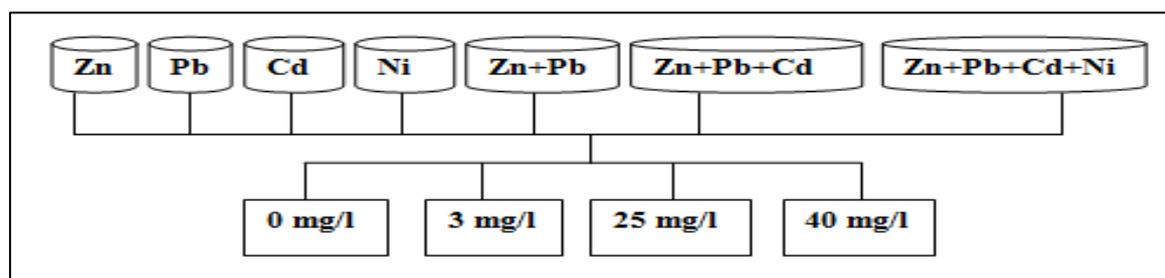


Figure X. 1: Plan d'expérience de l'étude

Les résultats d'analyses sont regroupés dans le tableau X.1:

Tableau X.1 : Résultats d'analyse pour la détection des métaux lourds.

	Zn ²⁺ (mg/l)	Pb ²⁺ (mg/l)	Cd ²⁺ (mg/l)	Ni ²⁺ (mg/l)	pH	CE (µs/cm)
Solution 1	0	0	0	0	7,43	1617
Solution 2	3	0	0	0	7,63	1618
Solution 3	0	40	0	0	7,65	1618
Solution 4	0	0	40	0	7,60	1687
Solution 5	0	0	0	25	7,94	1637
Solution 6	3	0	0	25	7,95	1695
Solution 7	3	40	0	25	7,85	1698
Solution 8	3	40	40	25	7,84	1720
Solution 9	30	400	400	250	7,31	2227

	DCO	DBO ₅	DCO/DBO ₅
Solution 1	556	180	3,08
Solution 8	568	150	3,78
Solution 9	625	100	6,25

D'après les résultats données dans le tableau X.1, nous constatons que :

- Une chute ou un pic de pH,
- Un pic de conductivité,
- Un rapport DCO/DBO₅ élevé: traduit une DCO dure.

Permettent aux exploitants de la STEP de Réghaia d'appréhender le passage d'un toxique.

De plus un pic de l'oxygène au niveau du bassin d'aération permet de détecter si la diminution de la consommation d'O₂ est générée par la variabilité naturelle de l'eau ou par la présence d'un toxique et vient conforter les constatations précédentes.

X.2.1.2.2 Etude de la possibilité d’intégration des procédés d’élimination des métaux lourds dans les eaux usées provenant à la STEP de Réghaia:

Il existe plusieurs méthodes de traitement des métaux lourds, le choix de la technique dépend de plusieurs paramètres: la qualité des eaux usées à traiter, les objectifs du traitement, ainsi que les contraintes d’ordre techniques et économiques (technologie et coût).

Même si l’utilisation de la filtration lente permet d’atteindre de bons résultats (Annexe IX) et même si la présence d’un tel système au niveau de la STEP de Réghaia implique un gain économique, cette solution n’est pas envisageable en amont du traitement dans un procédé boues activées.

❖ Traitement des métaux lourds par la technique de coagulation :

Vu l’impossibilité d’appliquer la technique de filtration pour l’élimination des métaux lourds au niveau de la station de Réghaia, nous avons pensé à la technique de coagulation, comme étant l’une des techniques les plus simples et les plus efficaces pour le traitement des métaux lourds (Annexe IX).

Notre choix pour cette technique doit cibler plusieurs objectifs à la fois :

- Concentrer la contamination dans les boues primaires.
- Empêcher l’arrivée des métaux lourds au bassin d’aération et cela pour les deux raisons suivantes:
 - ✓ Garantir un meilleur rendement d’abattement de l’azote et des rejets conformes aux normes, en évitant l’inhibition de la nitrification.
 - ✓ Obtenir des boues biologiques non contaminées, et étudier la possibilité de leur valorisation en agriculture.

❖ Choix du coagulant adéquat pour le traitement des métaux lourds dans la STEP de Réghaia.

Le choix du coagulant dépend de la nature de l’eau à traiter. Notre choix est porté sur l’utilisation du chlorure ferrique comme agent de coagulation pour plusieurs raisons :

- Les valeurs de pH des eaux usées à l’entrée de la STEP de Réghaia permet l’utilisation de ce produit (pH >5) [55]
- Produit disponible destiné au traitement chimique du phosphore dans la STEP, mais non utilisable du fait des faibles charges de phosphore qui sont facilement éliminables biologiquement.
- Eviter des dépenses supplémentaires du fait de l’existence de l’installation du chlorure ferrique (Cuve de stockage et pompes doseuses), il suffit de prévoir une conduite de dosage dans les décanteurs primaires ou dans le poste de prétraitement.

Il est à noter que la technique de coagulation que nous venons de proposer demande une étude expérimentale plus approfondie et nécessite beaucoup d’expériences pour pouvoir optimiser la concentration du coagulant aboutissant au meilleur rendement d’élimination des toxiques. Limités d’une part par le temps et d’autres part par les moyens matériels, nous n’avons pas pu atteindre cet objectif, néanmoins le protocole expérimental que nous voulions réaliser est détaillé en Annexe X.

X.2.2 Solutions et recommandations pour le problème des faibles charges organiques :

Parallèlement au problème des toxiques qui inhibent l’activité des bactéries nitrifiantes et donc le processus de nitrification, le problème des faibles charges organiques peut causer une carence nutritionnelle dans la zone anoxie provoquant ainsi le ralentissement du processus de dénitrification voir son inhibition comme nous avons détecté à travers les résultats d’analyses que nous avons effectué au niveau du bassin d’aération.

De ce fait, il faut gérer la source de carbone par la gestion de l’alimentation :

- Moduler le débit de circulation de nitrates en fonction du débit d’eau entrant.
- Assurer des temps de séjours moins importants lorsque la charge organique est faible.

Pour ce faire nous proposons:

De mettre hors service un décanteur primaire dans le cas des faibles charges organiques par la mise en place d’un répartiteur, ce qui permet d’augmenter la vitesse ascensionnelle en augmentant le débit au niveau de décanteur primaire et en diminuant ainsi le temps de séjour.

- Améliorer le processus de dénitrification en faisant coïncider les périodes de recirculation avec les périodes d’arrêt d’aération.
- Ajout du substrat carboné sous forme de méthanol dans la zone anoxie en présence de faibles charges organiques et dans le cas d’une bonne décantation dans le décanteur primaire.

X.2.3 Solutions et recommandations pour le problème d’extraction de boues biologiques:

Une extraction optimisée est indispensable pour pouvoir atteindre les objectifs de la STEP de Réghaia, à cette effet il est nécessaire de:

- Régler le problème de l’automate dans les brefs délais et de configurer la sonde de nitrates dont dispose la STEP dans son système automatique pour une gestion optimale de la recirculation des boues.
- Résoudre le problème des microcoupures d’électricité qui perturbent le fonctionnement des centrifugeuses et qui conduit souvent à une extraction des boues insuffisante suite à une diminution du rendement de déshydratation.

Pour ce faire, nous recommandons de mettre en place un groupe électrogène pour pallier à toute éventuelle coupure d’alimentation électrique.

X.3 Diminution de la consommation énergétique et de l’empreinte écologique :Dissociation des deux fonctions d’aération et de brassage.

Le calcul du temps de marche des aérateurs indispensable aux deux fonctions de brassage et d’aération ainsi que le temps essentiel pour satisfaire le besoin théorique en oxygène (chapitre VIII) montre que le temps nécessaire pour assurer juste le brassage au niveau du bassin d’aération est très élevé avec une moyenne de 9,49h/j pendant la période de décembre 2011 à mars 2012.

Chapitre X : Amélioration de la fiabilité du traitement et diminution des dépenses énergétiques et de l’empreinte écologique

Une durée de marche importante pour brasser la suspension de boues activées et assurer l’homogénéité au niveau du réacteur biologique implique nécessairement une consommation élevée d’électricité et une augmentation des émissions de CO₂.

N’y-a –t-il pas alors des actions qui mènent à des économies financières au niveau de la STEP de Réghaia, avec une meilleure gestion induisant moins d’émission de CO₂, allant dans le sens de développement durable que nous souhaitons ?

Pour répondre à cette préoccupation, nous proposons la séparation des deux fonctions de brassage et d’aération. Les besoins en oxygène doivent être assurés par les aérateurs de surface. Par contre le brassage sera assuré par des agitateurs à vitesse lente mais suffisante pour éviter les dépôts.

Pour tester l’efficacité de cette approche, nous avons examiné la période de décembre 2011 à mars 2012, nous avons calculé l’énergie nécessaire pour assurer seulement la fonction de brassage ainsi que le bilan carbone associé dans le cas d’un système combiné aération/brassage comme pour le cas de la STEP de Réghaia ainsi que dans le cas de la séparation des deux fonctions en utilisant les six aérateurs de surface installés au niveau des deux bassins d’aération pour assurer le besoin en oxygène nécessaire à l’épuration biologique et en utilisant des agitateurs pour assurer le brassage dans le bassin d’aération.

Les puissances des agitateurs sont variables selon la géométrie des bassins : 3 W/m³ minimum pour une forme annulaire à 15 W/m³ pour des formes rectangulaires de grandes longueurs (DUCHENE, 1989). Pour le cas de la STEP de Réghaia avec **un bassin d’aération de volume de 11866 m³**, nous avons choisi des agitateurs de puissance spécifique de **10 W/m³** (Valeur maximale).

X.3.1 Détermination du temps de marche nécessaire pour la fonction de brassage :

Pour calculer le temps nécessaire au brassage, nous utilisons la relation suivante :

$$\text{Temps de brassage}_{\text{journalier}} = \text{temps de marche}_{\text{journalier}} - \text{temps d'aération}_{\text{journalier}}$$

Le temps d’aération est calculé en divisant le besoin théorique en oxygène par la capacité d’aération (chapitre VIII).

Les résultats de calcul sont mentionnés dans le tableau X.2

Tableau X.2: Détermination du temps nécessaire pour la fonction de brassage

Temps Mois	Temps de marche journalier des aérateurs fixé au niveau de la STEP de Réghaia (h/j)	Temps d’aération journalier (h/j)	Temps de brassage journalier (h/j)
Décembre 2011	18	10,28	7,72
Janvier 2012	20	10,44	9,56
Février 2012	20	10,23	9,77
Mars 2012	20	8,07	11,93

Chapitre X : Amélioration de la fiabilité du traitement et diminution des dépenses énergétiques et de l’empreinte écologique

X.3.2 Détermination de la consommation d’électricité nécessaire à la fonction de brassage :

La consommation d’énergie électrique due au brassage est calculée comme suit :

- Pour les six aérateurs de surface de puissance de 110 KW.

Energie électrique consommée = temps de brassage journalier * 6 * 110.

- Dans le cas des agitateurs de puissance spécifique de 10 W/m³

Energie électrique consommée = temps de brassage journalier * puissance de brassage.

Avec : Puissance de brassage = puissance spécifique d’agitateurs * Volume de la zone aérobie

Les résultats de calcul sont donnés dans le tableau X.3

Tableau X.3 : Consommation d’électricité nécessaire à la fonction de brassage.

Energie électrique Mois	Consommation d’électricité nécessaire à la fonction de brassage (KWh/j)		Economie d’énergie (KWh/j)	Economie d’énergie (KWh/j) (% de la consommation au niveau de BA)	Economie d’énergie (KWh/j) (% de la consommation totale)
	Avant dissociation des deux fonctions d’aération et de brassage	Après dissociation des deux fonctions d’aération et de brassage			
Décembre 2011	5092	1373	3719	31	26
Janvier 2012	6307	1701	4606	35	21
Février 2012	5788	1561	4227	32	19
Mars 2012	7874	2123	5751	44	25

X.3.3 Détermination du bilan carbone engendré par la fonction de brassage :

On a : pour produire un 1 KWh d’électricité, 0,587 kg de CO₂ est émis dans l’atmosphère.

Par suite :

$$\text{Le taux de CO}_2 \text{ émis} = E \text{ consommée} * 0,587$$

Nous avons calculé les émissions de CO₂ engendrées par la fonction de brassage avant et après dissociation des deux fonctions de brassage et d’aération.

Les résultats de calcul sont mentionnés dans le tableau X.4.

Tableau X.4 : Bilan de carbone engendré par la fonction de brassage.

bilan carbone Mois	Bilan carbone engendré par la fonction de brassage (KWh/j)		Réduction des émissions de CO ₂ (kg/j)	Réduction des émissions de CO ₂ (kg/mois)
	Avant dissociation des deux fonctions d’aération et de brassage	Après dissociation des deux fonctions d’aération et de brassage		
Décembre 2011	2989	806	2183	67675
Janvier 2012	3702	998	2704	83821
Février 2012	3397	916	2481	71953
Mars 2012	4622	1246	3376	104644

Chapitre X : Amélioration de la fiabilité du traitement et diminution des dépenses énergétiques et de l'empreinte écologique

Nous illustrons le gain obtenu par la solution que nous proposons en représentant dans les figures qui suivent la consommation électrique totale et le bilan de carbone avant et après dissociation des deux fonctions de brassage et d'aération pour la période allant de décembre 2011 à mars 2012.

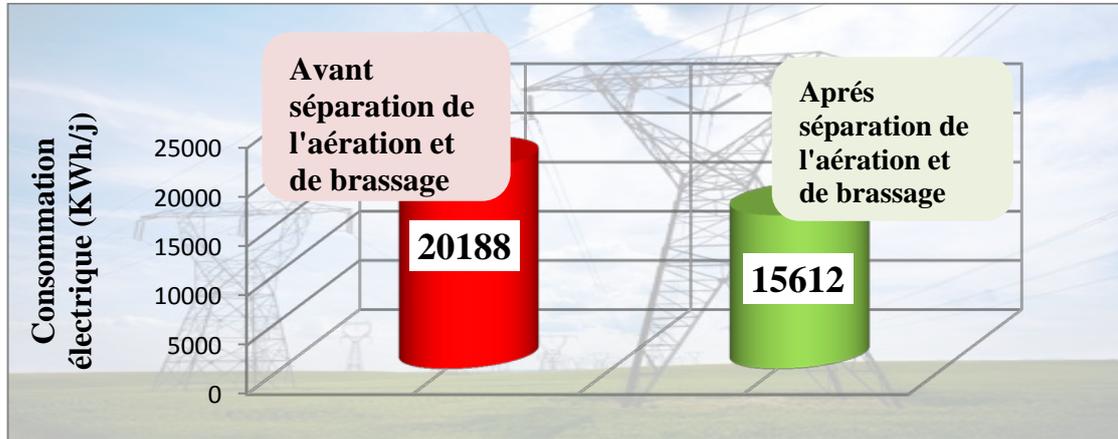


Figure X.2: La consommation électrique de la STEP de Réghaia avant et après dissociation de l'aération et de brassage

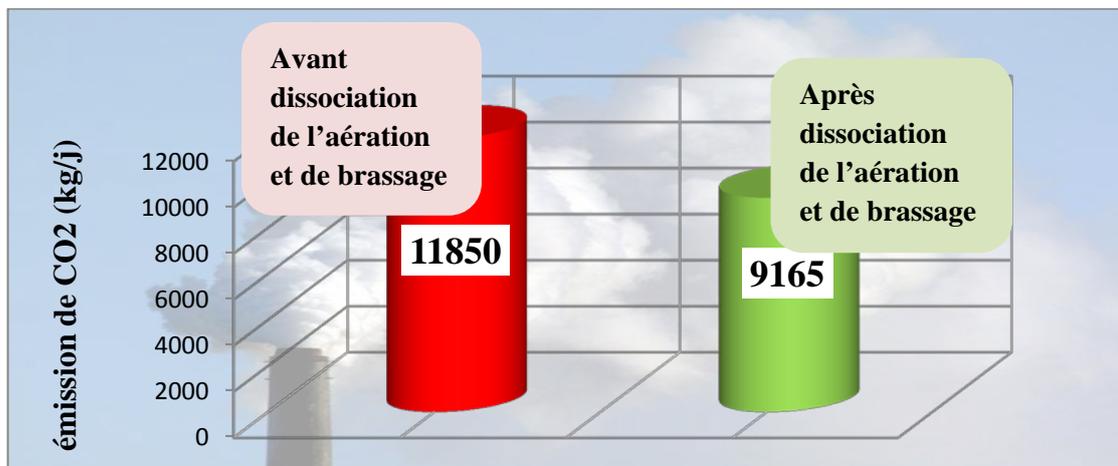


Figure X.3: Taux d'émission de dioxyde de carbone pour la STEP de Réghaia avant et après dissociation de l'aération et de brassage.

La séparation des deux fonctions de brassage et d'aération permet de diminuer globalement la puissance installée sur l'ouvrage d'aération en se limitant aux puissances strictement nécessaires pour chaque fonction. Cette solution réalise un gain économique moyen de **4575 KWh/j** soit encore **35 % de la consommation d'énergie électrique au niveau du bassin d'aération** et **23% de la consommation totale d'électricité au niveau de la STEP de Réghaia**. De plus, cette solution entre dans le contexte du développement durable, car elle permet de réduire l'émission de **859 tonnes de CO₂/an** en moyenne ce qui est équivalent à éliminer l'émission de **172 véhicules**. Néanmoins la mise en place d'une telle solution nécessite des études approfondies, la simulation numérique en matière de mécanique des fluides est nécessaire afin de déterminer la puissance des agitateurs, le nombre et la disposition permettant un bon brassage dans le bassin aérobie, tout en réalisant une optimisation dans l'extraction des boues.

X.4 Perspectives et perfectionnements de la station d'épuration de Réghaia

XI.4.1 Optimisation de l'aération au niveau du réacteur biologique:

Le bassin d'aération constitue le cœur même du traitement biologique, une bonne épuration des eaux usées est liée à la performance du traitement au niveau de ce dernier qui est elle-même fonction de l'efficacité de l'aération, cette dernière représente **la part la plus importante de la consommation énergétique dans la station d'épuration de Réghaia** avec un pourcentage de **75%**. De ce fait l'amélioration de la qualité d'eaux traitées tout en réduisant les coûts du traitement passe nécessairement par l'optimisation de l'aération au niveau du réacteur biologique.

XI.4.1.1 Présentation du système d'aération au niveau de la STEP de Réghaia:

L'automatisation de l'aération dans la STEP est assurée par l'intermédiaire d'un dispositif technologique appelé automate qui mène son action à partir d'une programmation définie auparavant.

Au niveau de la STEP de Réghaia, la régulation de l'aération s'opère à l'aide d'une **matrice horaire** (programmation en mode cyclique ou cadence-durée) de la façon suivante :

- ♣ Analyse de l'évolution du besoin en oxygène en fonction de la DBO entrante pendant une période bien déterminée
- ♣ Le nombre de cycles d'aération journaliers est ainsi fixé pour une période assez longue allant jusqu'à trois à quatre mois.

Pour une durée d'aération de 16 h/j, le cycle d'aération comporte 40 min de marche et 20 min d'arrêt, les aérateurs fonctionnent en alternance.

Nous représentons dans le graphe suivant le schéma d'un cycle d'aération au niveau de la STEP de Réghaia.

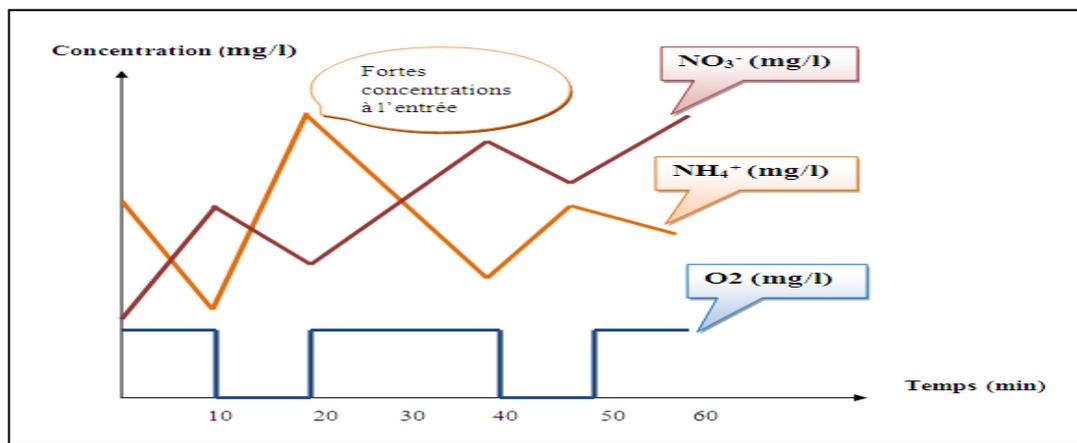


Figure XI.4: Schéma d'un cycle d'aération au niveau de la STEP de Réghaia

Chapitre X : Amélioration de la fiabilité du traitement et diminution des dépenses énergétiques et de l'empreinte écologique

Tout en analysant le schéma précédent et tout en ayant en tête que la quasi-totalité des perturbations au traitement biologique au niveau de la STEP sont des variables non manipulables tels que les paramètres de la pollution physico-chimiques (pH, température, CE) et les paramètres de la pollution organique (DBO et DCO) qui sont des caractéristiques de l'effluent que la STEP ne peut pas contrôler mais qu'elle doit en même temps épurer avec une haute efficacité, plusieurs points ont marqué notre attention à savoir :

- ♣ L'adaptation d'un tel système aux contraintes de traitement et aux variations de charges.
- ♣ La possibilité de traitement biologique dans le cas d'une coïncidence des temps d'arrêts avec de fortes charges en ammonium dans l'effluent d'entrée.
- ♣ La difficulté de trouver un compromis acceptable entre la nécessité d'assurer une quantité d'oxygène nécessaire pour la réaction de nitrification tout en assurant une concentration nulle dans le bassin anoxie.
- ♣ La dépense inutile en énergie, lorsque que l'aération demeure trop importante pour des charges entrantes faibles.

En déterminant les causes des dysfonctionnements dans le chapitre VIII et en analysant le bilan énergétique de la STEP dans le chapitre IX, ces problèmes ont été observés.

Suite à ces problèmes : Devons-nous pour autant continuer dans cette direction ?

Ne serait-il est pas plus avantageux de trouver un système de régulation compatible assurant à la fois :

- Nitrification/dénitrification ciblées.
- Contrôle en ligne transparent.
- Réaction dynamique aux pics soudains.
- Frais d'énergie et émissions de CO₂ réduits.

XI.4.1.2 Pilotage de l'aération au niveau de la STEP de Réghaia à l'aide de système de mesure et de régulation en temps réel :

Pour cibler ce but nous recommandons d'adapter une nouvelle approche d'optimisation de l'aération en temps réel au niveau de la STEP de Réghaia, ce nouveau mode de régulation consiste à la mise en place d'un asservissement par seuils d'oxygène dissous et/ou de potentiel d'oxydoréduction qui vise à ce que l'apport d'O₂ soit efficace et faible pour une oxydation, si possible totale, de l'azote. De plus, il garantit l'efficacité optimale des trajets de nitrification/dénitrification. Le principe de cette régulation est donné en (Annexe XI).

XI.4.1.3 Comparaison des deux modes de régulation de l'aération :

En effet, on ce qui concerne la station d'épuration de Réghaia, l'automate assurant la régulation automatique de l'aération n'est plus opérationnel depuis fin janvier 2012. Nous nous retrouvons donc dans l'impossibilité de prouver l'efficacité de ce mode d'asservissement sur le terrain (Sachant que la STEP dispose d'une sonde d'oxygène, ce qui permet de prévoir un asservissement par seuil d'oxygène dissous). Néanmoins les données théoriques montrent que ce type d'asservissement assure des périodes de marche variant de **8h-10h** comme temps minimum à **16h-17h** comme temps maximum en fonction de la charge appliquée, ce temps de marche dépasse souvent les 16h au niveau de la STEP de Réghaia en utilisant la régulation par cadence durée.

Chapitre X : Amélioration de la fiabilité du traitement et diminution des dépenses énergétiques et de l'empreinte écologique

L'adaptation d'un mode de pilotage de l'aération plus sophistiqué tout en ayant recours à des méthodes de régulation en temps réel, comme le contrôle de l'aération par sonde d'oxygène ou bien par potentiel redox, qui sera intégré dans la STEP dans un futur proche permet une meilleure gestion de la qualité d'eau traitée tout en réalisant des économies importantes en énergie et en réduisant ainsi l'empreinte écologique de la station.

X.4.2 Séparation et revalorisation des boues :

La technique de coagulation que nous venons de proposer, permettra une fois mise en place, la concentration des métaux lourds dans les boues primaires et cela pour une meilleure gestion de la filière boue de la STEP. Une fois cette technique prise en charge nous recommandons:

- De ne plus mélanger les boues primaires avec les boues biologiques, et de les déshydrater séparément, d'autant plus que la STEP de Réghaia réalise l'épaississement des boues dans deux épaisseurs différents, et cela pour ne pas transférer la contamination par les métaux toxiques dans les boues biologiques.

Actuellement la quantité de boues produites au niveau de la STEP de Réghaia est estimée à **2341 tonnes par an**. Cette quantité de boues qui ne cesse d'augmenter nécessitera de chercher des pistes pour son élimination avec le minimum de nuisances écologiques.

En effet, il existe un grand nombre d'options possibles, mais le choix devra se faire en tenant compte des contraintes d'amont (nature, caractéristiques et quantités de boues) et d'aval (possibilités locales d'élimination) et cela au meilleur coût.

X.4.2.1 solution pour les boues biologiques :

- ✓ Prévoir des lits de séchage plantés à roseaux pour les boues biologiques en vue de leur séchage au lieu de leur déshydrater dans les centrifugeuses, nos calculs (Annexe XII.2) montrent qu'une superficie de **3,2 hectares** est largement suffisante pour réaliser cette solution.

Les avantages générés par cette solution pour la STEP de Réghaia sont :

- Investissement dans les boues biologiques par la possibilité de leur valorisation en **agriculture**.
- Diminution des dépenses énergétiques et des coûts de traitement au niveau du poste de déshydratation.

X.4.2.2 : solution pour les boues primaires :

✓ Les boues primaires seront destinées vers la décharge. Nos calculs donnés en annexe XII. montrent que la déshydratation des boues primaires par utilisation d'une seule centrifugeuse munie d'un groupe électrogène pour faire face aux microcoupures d'électricité est possible en la faisant travailler au maximum **19h/j**.

Chapitre X : Amélioration de la fiabilité du traitement et diminution des dépenses énergétiques et de l'empreinte écologique

De plus la séparation des boues induisant à la fois les avantages suivants :

- ✓ Amélioration du bilan énergétique dans ce poste tout en diminuant sa consommation électrique de 213 KWh/j soit une économie d'énergie de 34% au niveau de ce poste (annexe XII).
- ✓ Economie quotidienne de 14 kg de polymère soit encore 38% de la quantité habituellement utilisée pour la déshydratation (annexe XII).

X.5 conclusion :

Une station d'épuration soumise à des contraintes de plus en plus aggravés et dont les objectifs de qualités sont de plus en plus strictes comme pour le cas de la STEP de Réghaia doit améliorer ses performances en continue en passant par les points suivants :

- ❖ Identifier le problème, chercher ses causes et proposer les solutions,
- ❖ Mettre en place la solution choisie,
- ❖ Contrôler l'aptitude de la solution mise en place à améliorer le processus en se référant aux indicateurs de performance,
- ❖ Corriger et améliorer la solution mise en place en fonction des évolutions de la réglementation.

Notre contribution vise la mise en place d'une démarche en vue de l'optimisation et de l'amélioration continue de la gestion de la STEP de Reghaia.

Le respect et le suivi des recommandations que nous avons développées dans la présente étude permettront d'aboutir à l'amélioration des indices de performances, induisant un fonctionnement optimal de la STEP de Reghaia dans le cadre du développement durable.

Conclusion générale

Conclusion générale

Au cours de cette étude, nous nous sommes intéressés à optimiser le fonctionnement de la station d'épuration de Réghaia, en passant tout d'abord par l'interprétation des paramètres de pollution et le suivi des rendements épuratoires. Les résultats obtenus sont les suivants :

- ◆ Les valeurs des paramètres physico-chimiques ne constituent aucun gêne au traitement biologique et respectent les normes de rejets dans le milieu récepteur. Néanmoins avec des valeurs de conductivité en sortie dépassant les 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$, donc ces eaux ne peuvent être utilisées en irrigation sans certaines restrictions.
- ◆ les rendements épuratoires restent en général 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

Dans une seconde partie nous avons identifié onze indicateurs de performances qui sont à notre avis, les plus pertinents. Ce sont les indicateurs suivants :

- ◆ Les indicateurs qui ne posent pas de problèmes au niveau de la station :
 - ♣ DCO/DBO₅ : L'effluent est apte au traitement biologique.
 - ♣ DCO/P_T: Une bonne aptitude au traitement du phosphore.
 - ♣ Kg de polymère/ Tonnes de MS extraites : l'injection de polymère est maîtrisée.
 - ♣ C/N/P : Un rapport favorable au métabolisme bactérien. Néanmoins l'excès nutritionnel conditionne en fonction du rendement épuratoire la qualité de rejet.

Les indicateurs qui sont fortement liés aux événements pluvieux :

- ♣ NH₄⁺/NTK :L'ammonification de l'azote dans le réseau et donc la disponibilité en substrat nécessaire à la nitrification est fonction du temps de séjour dans le réseau.
- ♣ MES/DBO₅ : La pollution est d'origine particulaire, cette pollution augmente pendant les événements pluvieux et pourra compliquer la situation, ce qui nécessite une bonne maîtrise de la décantation primaire.
- ♣ MVS/MES :Ce rapport révèle une pollution minérale importante qui augmente durant les événements pluvieux.

◆ Les indicateurs qui indiquent des dysfonctionnements :

- ♣ PBP/PBP théorique : Mauvaise décantation de boues primaires avant novembre 2011
- ♣ DCO/NTK : Inhibition de processus de nitrification de décembre 2011 à janvier 2012
- ♣ DBO₅/NO₃⁻ : La non faisabilité de la réaction de dénitrification à partir de janvier 2012
- ♣ Kg MS/kg DCO éliminée : Mauvaise extraction de boues biologiques.

Ces dysfonctionnements ont engendrés les conséquences suivantes :

- Des rejets en composés azotés non conformes aux normes.
- Une sur consommation électrique et émission excessive de CO₂ dans l'atmosphère.

La détection des dysfonctionnements, nous a amené à chercher les causes principales :

- ♣ Présence de métaux toxiques : Cause principale de l'inhibition de la nitrification.
- ♣ La sur aération et les charges organiques faibles: Causes principales de perturbation de la réaction de dénitrification.
- ♣ La panne des centrifugeuses et les coupures d'électricité : Ceci perturbent le poste de déshydratation d'où une mauvaise extraction de boues biologiques.

Conclusion générale

Nous avons ainsi proposé certaines approches d'optimisation et nous avons étudié les améliorations qui pourraient être obtenues suite à leur mise en place :

- ♣ Prévoir une conduite de dosage de chlorure ferrique dans les décanteurs primaires afin d'éliminer les métaux toxiques des eaux usées. Ces métaux toxiques seront détectés à l'aide d'une méthode que nous avons détaillée dans le chapitre X, ce qui nous permet de cibler un double objectif qualitatif (tout en évitant l'inhibition de la nitrification) et économique (par optimisation de la consommation de l'agent coagulant).
- ♣ Réduire le temps de séjours en mettant hors service un décanteur primaire dans le cas des faibles charges organiques, afin d'éviter une carence nutritionnelle dans la zone anoxie.
- ♣ Optimiser l'aération en mettant en place un asservissement par sonde d'oxygène ou sonde redox et séparer les deux fonctions d'aération et de brassage afin d'améliorer le traitement biologique et diminuer les frais d'exploitation et le bilan de carbone.
- ♣ Régler le problème des centrifugeuses le plus tôt possible, assurer une bonne maintenance au niveau du poste de déshydratation tout en cherchons une solution au problème des coupures d'électricité pour une meilleure gestion de la filière boues.
- ♣ Séparer les boues primaires des boues biologiques qui peuvent être valorisées en agriculture. Les boues primaires seront envoyées en décharge.

Ces résultats qui mènent au perfectionnement du traitement d'eaux usées au niveau de la STEP de Réghaia dans un contexte de développement durable sont le fruit de l'identification de certains éléments pertinents de comparaison, simple à mettre en place et sans dépense supplémentaire. C'est pourquoi la gestion optimale de la station d'épuration de Réghaia passera par la mise en place de cette démarche.

Ces indicateurs serviront d'outil de suivi, ils permettront de piloter l'exploitation de la station de Réghaia, mais peuvent être également mis en place sur d'autres stations d'épuration pour une meilleure maîtrise du service d'assainissement dans notre cher pays l'ALGERIE.

Contraintes rencontrées

- Absence de certaines analyses indispensables à notre étude notamment les analyses concernant les métaux lourds dans les eaux usées pour toute la période d'étude et les analyses des composés azotés dans une première période. Nous étions donc obligé de limiter une partie de l'étude à certains mois d'une part et nous avons trouvé des difficultés pour valider certaines approches par manque d'analyses d'autres parts.
- L'automate assurant la régulation automatique de l'aération et de la recirculation des boues n'était pas opérationnel durant notre période d'étude, les obstacles engendrés étaient assez fortes. Ceux-ci se situent essentiellement dans deux points principaux :
 - ♣ Impossibilité d'examiner l'historique de la variation des consignes de régulation pour deux phénomènes importants où ces données étaient indispensables pour mieux expliquer les causes des dysfonctionnements.
 - ♣ Impossibilité de prouver l'efficacité de notre approche d'optimisation de l'aération, nous étions obligées de se limiter aux études théoriques et nous n'avons pas pu faire une étude approfondie.
- Un des obstacles rencontrés durant notre période d'étude est la difficulté de réaliser des analyses de métaux lourds pour étudier la possibilité d'intégrer notre approche d'élimination des métaux toxiques dans les eaux usées (le seul appareil d'adsorption atomique au niveau du laboratoire centrale de SEEAL été en arrêt, au niveau des laboratoires privés, les analyses coûtent très cher car la méthode nécessite un Jar test donc plusieurs essais pour déterminer la concentration optimale du coagulant)

Bibliographie

- [1] Yacine Barhoumi- Julien Gaudermeau - Benoit Gerbe - Frédéric Khamsing - Yoann Rabatel : Eau : Ressources et menaces ,11 mai 2004.
- [2] : René Moletta: L'eau, sa pollution, et son traitement.
- [3] : W.W.Eckenfelder: Gestion des eaux usées urbaines et industrielles, Techniques et documentation (Lavoisier), Paris 1982.
- [4] : Rapport 2012 sur les progrès en matière d'assainissement et d'alimentation en eau : Programme commun OMS/UNICEF de surveillance de l'eau et de l'assainissement
- [5] : Jean-Christophe Victor: Les enjeux géopolitiques de l'eau : risques de tensions à venir ?
- [6] : Emmanuel Adler: Eléments sur l'épuration des eaux usées et la gestion des sous-produits de l'assainissement, Avril 2005.
- [7] : Hazourli S.-Boudiba L.- Ziati M : Caractérisation de la pollution des eaux résiduaires de la zone industrielle D'EL-HADJAR, ANNABA, Décembre 2007.
- [8] : Réalisation et équipement de la chaîne de traitement biologique de la station d'épuration des eaux usées de REGHAIA : Etude de traitabilité: Rapport final, Tome II(2005).
- [9] : Gaëlle Deronzier - Sylvie Schétrite - Yvan Racault,- Jean.PierreCanler - Alain Liénard, Alain Héduit - PhilippeDuchène: Traitement de l'azote dans les stations d'épuration biologique des petites collectivités : FNDAE n 25
- [10] : Gaëlle Deronzier - Jean.MarcChoubert : Comparaisons techniques et économiques des voies de traitement biologique et physico-chimique: FNDAE n 29
- [11] : Analyse et optimisation du traitement de l'azote par les boues activées à basse température : thèse école doctorale sciences pour l'ingénieur ULP – ENSAIS – ENGEES – URS, 20 septembre 2002.
- [12] : Jean Pierre Canler: Dysfonctionnement biologiques des stations d'épuration : origines et solutions, Paris 2004.
- [13] :Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface: Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement, novembre 2005.
- [14] :Dr-Karl-Slevogt-Straße :Wissenschaftlich-TechnischeWerkstättenGmbH·D-82362 Weilheim –Allemagne.
- [15] : Ministère de L'Environnement du Maroc : « Normes marocaines, Bulletin officiel duMaroc » N 5062 du 30 ramadan 1423. Rabat, 2002.
- [16] : J.Lesavre: Epuration des eaux résiduaires urbaines : nature et paramètres de pollution.
- [17] : Ghadbane Nadir : Les eaux usées urbaines : Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de magister : Université Mohamed Boudiaf Faculté des sciences et des sciences de l'ingénieur : Département de Gestion et Techniques Urbaines.
- [18] : Bilan d'épuration des eaux usées en Valais, Année 2005.
- [19] : Cindy Bassompierre : thèse de doctorat: Procédé à boues activées pour le traitement d'effluents papetiers : De la conception d'un pilote a la validation de modèles : Institut National Polytechnique de Grenoble, le 08 février 2007.
- [20] : Abdelkader Gaid: Traitement des eaux usées urbaines, Technique de l'ingénieur. Mise à jour du texte de J. sibony et B. bigot paru en 1993.
- [21] : DeshayesMatthieu :Mémoire de Projet de Fin d'Etudes Guide pour l'établissement des Plans d'Assurance de la Qualité dans le cadre de la réalisation des stations d'épuration de type boues activées en lots séparés,INSA STRASBOURG,Année universitaire 2007/2008 .
- [22] : Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface: Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement, novembre 2005.
- [23] :Philippe Duchène: Dysfonctionnement biologiques dans les stations d'épuration a boues activées : Actes du colloque Lyon,21 octobre 1994 .
- [24]:A.G Sadowski: Méthode de calcul d'une filière de traitement ''Boues activées'', mars 2002.
- [25]: Science Lib Editions Mersenne : Volume 3, N ° 110703 ISSN 2111-4706.

Bibliographie

- [26] :J. Rodier : L'analyse de l'eau naturelle, eaux résiduaires, eau de mer, 8^{ème} éd. Denod, Paris, 1, (1996), 1383.
- [27] : Michael Winkler : Rapport d'application : Analyse de l'laboratoire et analyse en continu, traitement des eaux usées : éléments nutritifs.
- [28] : Gromaire et al. 2001. Impact des rejets urbains de temps de pluie (RUTP) sur les milieux aquatiques. Revue des Sciences de l'eau:Journal of Water Science. Volume 20, numéro 2, 2007,
- [29]: Dauber L. Novakb. ,Quellen und Mengen der Schmutzstoffe in Regenab flusseneiner Städtischen Mischkanalisation, ETH Zurichion eth, Separatum N° 927, 1983.
- [30] : kafi- Benyahia M., Gasperi J., Gromaire M.- C., Moilleron R.,Chebbo G : Contribution de différentes sources aux flux de polluants véhiculés par temps de pluie dans le réseau parisien. TSM, N11, 2006
- [31] : Géraldine Dauvergne:Mise en place d'indicateurs de suivi et d'optimisation de stations d'épuration : Application à trois installations de type boues activées de plus de 8500 équivalents habitant, Septembre 2007.
- [32] : Gaëlle et Deronzier, Jean-Marc Choubert: Traitement du phosphore dans les petites stations d'épuration à boues activées.
- [33] : Claire Delamare -Delphine Faugoux-Emmanuelle Goussot-Min Zhou : Adaptation de la station d'épuration d'Envermeu au traitement du phosphore, mars 2010.
- [34] : Christophe Duc: Suivi et optimisation du fonctionnement de la station de traitement des eaux usées de la Communauté de Communes des Trois Frontière,septembre 2009
- [35] : L'élimination de la pollution azotée des eaux résiduaires urbaines, Memotec n° 24 révision à date : 01/01/2006.
- [36] : Bebin.J :Etat des eaux résiduaires urbaines et industrielles ,Technique de l'eau n°269 ,1969.
- [37] : Commission Européenne ,Procédés intensifs d'épuration des eaux usées adaptées au petites et moyennes collectivités,office nationale des publications officielles des communautés européennes ,Office international de l'eau ,2001.
- [38] : Jean-Claude Boeglin: Lutte contre la pollution de l'eau: Inventaire des traitements
- [39] :Y. Libes: Les eaux usées urbaines et leur épuration.
- [40] : Pierre Gilles : Lutte contre la pollution des eaux : Finitions à haute performance.
- [41] : L'épuration des eaux usées : Le lagunage naturel : Cas de la station de Mèze-Loupian: Communauté de Communes du Nord du bassin de Thau Complexe
- [42]:Jean-Pierre CANLER - Jean-Marc PERRET - Jean-Marc CHOUBERT Jean-Marc PERRET - Jean-Marc Choubert: Le traitement du carbone et de l'azote pour des stations d'épuration de type boue activée confrontées à des fortes variations de charge à des basses températures: ministère de l'agriculture et de la pêche : Document technique FNDAE n° 34.[43] : Les différents types de boues d'épuration et leurs traitements, fiche technique assainissement : ADEME.
- [44] : Notice de Fonctionnement et d'Exploitation, 2011, (STEP de Réghaia)
- [45] : Journal Officiel de la République Algérienne : Normes de rejets dans le milieu récepteur, 46, (1996)
- [46] : Ministère de l'environnement du Maroc. « Normes marocaines, Bulletin officiel du Maroc », N°5062 du 30 Ramadan 1423. Rabat, 2002.
- [47] :Isabelle Couture : analyse d'eau pour fin d'irrigation : MAPAQ MONTEREGIE-EST
- [48] : Ranchet J.M.- Philippe J.P : Pollution véhiculée par les eaux de ruissellement en réseau unitaire. Le bassin de Mantes Bulletin de liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées,1982.
- [49] : Exploitation de base d'une station d'épuration : file eau, Juillet 2011.
- [50]: Jean Luc Laurent: l'assainissement des agglomérations: Techniques d'épurations actuelles et évolutions, avril 1994.
- [51]: Fiche d'exploitation n°1 : quelques paramètres caractéristiques des boues activées, novembre 2006.

Bibliographie

- [52] : Jean Luc Laurent : Assainissement des agglomérations : Techniques d'épuration actuelles et évolutions.
- [53] : Philippe Duchène - Charles Vanier: Réflexion sur les paramètres de qualité exigés pour les rejets de stations d'épuration.
- [54]: Brown M. J: Metal removal in activated sludge: the role of bacterial extracellular polymers, Wat. Research, 13, p. 817-837,(1979).
- [55] : circulaire DG5/VS4 n° 2000-166 relative aux procédés de traitement des eaux destinées à la consommation humaine, 28 mars 2000.

Glossaire

Aération prolongée: c'est un mode de traitement de eaux usées dans les stations d'épurations basé par un prolongement de la durée d'aération pour une élimination poussée de la pollution carbonée et azotée, et caractérisé par une charge massique : $C_m < 0,1$.

Acides gras volatils: ce sont des acides gras à chaîne carbonée courte (moins de six atomes de carbone). Ils sont produits lors de la fermentation anaérobie (principalement acétate, acide propionique, acide butyrique).

Aérobic – Aérobiose : désigne une situation dans laquelle l'oxygène est présent à l'état dissous
Anaérobie – Anaérobiose : désigne une situation dans laquelle l'oxygène est totalement absent, qu'il soit libre (O_2) ou lié à une molécule type nitrate (NO_3^{2-}), nitrite (NO_2^-).

Anoxie : désigne une situation dans laquelle l'oxygène libre dissous est absent mais présent sous forme liée (nitrate et/ou nitrite).

Biomasse épuratrice: En traitement des eaux, on dit cultures bactériennes où biomasse épuratrice c'est l'ensemble de la matière organique vivante qui permet de dégrader la pollution.

Boues: principaux déchets produits par une station d'épuration à partir des effluents liquides, constituées de bactéries mortes et de matières organiques minéralisée, on distingue :

- ◆ Les boues primaires : extraites des décanteurs primaires.
- ◆ Les boues biologiques sont extraites des bassins biologiques ou de la recirculation : extraites des clarificateurs ou puits à boues.
- ◆ Les boues mixtes : un mélange de boues primaires et biologiques.

Les boues sont dites pâteuses à partir de 15-20% de siccité et sèches à partir de 60 % de siccité.

Boue activée : amas biologique (floc) formé, au cours du traitement d'une eau résiduaire, par la croissance de bactéries et d'autres micro-organismes en présence d'oxygène dissous et par les diverses MES (végétaux, sable).

Eaux pluviales : le nom que l'on donne à l'eau de pluie après qu'elle a touché le sol ou une surface construite ou naturelle susceptible de l'intercepter ou de la récupérer.

Eaux claires parasites: eau parvenant dans le réseau d'égout en provenance du sous-sol, des rivières, sources, fontaines, trop-pleins de réservoirs, toitures, etc. Elles sont qualifiées de parasites parce qu'elles n'ont pas leur place dans les égouts.

Eutrophisation : Le processus d'enrichissement de l'eau par les nutriments tels que le phosphore et l'azote, causant une croissance accélérée des algues et plantes aquatiques qui perturbent l'équilibre des organismes présents dans l'eau ou la qualité d'eau.

Faible charge : mode de fonctionnement de l'aération nécessitant une durée d'aération plus faible que l'aération prolongée, ce type d'aération est recommandé pour les stations d'épurations ayant une charge massique cm comprise entre 0,1 et 0,2.

Fermentation : est une réaction biochimique de conversion de l'énergie chimique contenue dans une source de carbone (souvent du glucose) en une autre forme d'énergie directement utilisable par la cellule en l'absence de dioxygène (milieu anaérobie).

Inhibition : Blocage ou affaiblissement d'une réaction chimique ou biologique.

Organismes autotrophes : qui sont capables d'utiliser des éléments inorganiques pour synthétiser leurs propres constituants organiques

Organismes hétérotrophes : qui sont incapables d'effectuer eux-mêmes les synthèses de leurs constituants à partir d'éléments minéraux

Oxydation biologique: correspond à la dégradation des polluants gazeux par des micro-organismes, les plus souvent des bactéries

Oxydation chimique: oxydation des substances organiques, très difficilement ou pas biodégradables à l'aide des oxydants chimique, l'ultraviolet ou l'ozone

Poly beta-hydroxy alcanooates(PHA): composé synthétisé dans le bassin d'anaérobiose par les bactéries déphosphatantes, à partir du substrat facilement biodégradable des eaux usées et de l'énergie libérée par l'hydrolyse intracellulaire de poly phosphates. Il en résulte un relargage de phosphate dans le milieu externe.

Glossaire

Rendement épuratoire de la station : C'est le rapport de la pollution éliminée dans la station sur la pollution reçue. Il définit les performances de la station.

Rejet : Introduction dans le milieu récepteur des eaux résiduaires

Salinité : désigne la quantité de sels dissous dans un liquide.

Siccité : Exprimée en %, la siccité de la boue correspond à la proportion de matière sèche contenue dans une certaine masse de boue. Ainsi une siccité de 20% signifie que la boue contient 20% (en masse) de matières sèches et donc 80% d'eau.

Station d'épuration : Installation permettant la dépollution des eaux usées urbaines domestiques ou/et des eaux industrielles.

Annexes

- Annexe I : Programme de développement 2011-2012 (ONA)
- Annexe II : Aperçu des sources d'émissions industrielles par paramètre
- Annexe.III : Bilans mensuels des analyses: File eau
- Annexe IV : Bilans mensuels des analyses : File boues
- Annexe V : Calculs utiles
- Annexe VI : Indicateurs de performances
- Annexe VII: Ratios moyens: Epaissement / Déshydratation
- Annexe VIII : Calcul de la consommation d'énergie électrique et bilan carbone
- Annexe IX : Les différentes techniques de traitement des métaux lourds
- Annexe X : Etude de simulation pour la mise en place du procédé de coagulation au niveau de le STEP de Réghaia
- Annexe XI : Principe de la régulation en temps réel par seuil de potentiel d'oxydoréduction
- Annexe XII: Calculs pour la séparation et la valorisation des boues de la STEP de Réghaia

Annexes

Annexe I : Programme de développement 2011-2012 (ONA):

Etudes :

- ♣ Etude de diagnostic et de réhabilitation du système d'assainissement de 12 villes (1 ère tranche) (Béjaïa-Tiziouzou , Tlemcen-Mascara , Sidi Bel Abès-Chlef)
- ♣ Etude de diagnostic et de réhabilitation du système d'assainissement de 12 villes (2 ème tranche) (Médéa-Blida, Djelfa- M'sila, Bechar-Laghouat-Tougourt, Relizane-Tiaret, Biskra-Tébessa)

Travaux :

- ♣ Réalisation de 34 stations d'épurations avec une capacité totale de 4000000 EH.
Comme indiquée dans le tableau suivant :

Tableau V.3 :STEP en travaux pour la période 2011-2012. [ONA]

Stations	Capacités nominales	Stations	Capacités Nominales
Aflou	92000 EH (10365 m ³ /j)	Boufarik	375 000 EH (60 00 m ³ /j)
Biskra	330000 EH(55000 m ³ /j)	Sidi-Aich	65 000 EH (10400 m ³ /j)
Djanet	16000 EH (2500 m ³ /j)	Mohammadia	95 000 EH (14 000 m ³ /j)
Ouacif	11000 EH (1320 m ³ /j)	Mostaganem	350 000 EH (56 000 m ³ /j)
Ain El Hammam	15500 EH (1860 m ³ /j)	AinM'lila	117 000 EH (16820 m ³ /j)
Ouadhia	215000 EH (2580 m ³ /j) Boues activées	Fedjioua-Ain beida	80 000 EH (9600 m ³ /j)
Mechtras	25000 EH (4453 m ³ /j)	Zeghaia-Oued-endja	38 000 EH (4500 m ³ /j)
Boughardaine	7500 EH (900 m ³ /j)	Rouached	19 000 EH (2250 m ³ /j)
Ali Mendjeli	200000 EH Boues activées	Timimoun	42113 EH (13 476 m ³ /j)
Adrar	155000 EH	Ténès	62 000 EH (8 500 m ³ /j)
Bechar	300 000 EH	Tebessa	300 000 EH (48 000 m ³ /j)
Boudouaou	150 000 EH	Marset Ben M'Hidi	80 000 EH
Ouargla	–	Irdjen 1	15 000.EH (1800 m ³ /j)
Akbou	100 000 EH (16000 m ³ /j)	Irdjen 2	11 200.EH (1344 m ³ /j)
Barika	200 000 EH (26000 m ³ /j)	Beni Mered	383 000 EH (52000 m ³ /j)
Oum EL Bouaghi	145 000 EH (20 000 m ³ /j) Boues activées faible charge	Collecteurs acheminant les eaux usées.vers.la.STEP.de.SidiMerouane en projet.	

Annexes

Annexe II : Aperçu des sources d'émissions industrielles par paramètre

♣ Les sources d'émissions industrielles et leurs paramètres organiques et toxiques :

Activité industrielle	Tensio-actifs	H ₂ S	Cyanures	Phénols	Hydrocarbures	Matière grasse
Fabrication de vernis et de peinture	✓			✓	✓	
Fabrication d'aggloméré	✓			✓	✓	
Fabrication et traitement du caoutchouc et de plastique	✓				✓	✓
Fabrication de produits céramiques	✓					
Sidérurgie et fabrication d'acier inox	✓		✓	✓		
Fonderies	✓		✓	✓	✓	
Fabrication de métaux non ferreux	✓			✓		
Traitement de surface et galvanisation	✓		✓	✓	✓	
Blanchisserie	✓				✓	✓
Agroalimentaire, Brasseries et production de boissons	✓			✓	✓	✓
Fabrication de détergents et cosmétiques	✓			✓	✓	✓
Imprimerie	✓				✓	✓
Ateliers photographiques	✓		✓	✓		
Tannerie et mégisserie	✓			✓	✓	✓
Fabrication et raffinage du textiles	✓				✓	✓
Fabrication de fibres chimiques et viscose	✓					
Fabrication et traitement des produits en verre et fibres minérales	✓			✓		
Fabrication d'hydrocarbures				✓	✓	✓
Production de gaz naturel et industriel		✓		✓	✓	
Fabrication de produits chimiques en générale	✓		✓		✓	✓
Eau de nettoyage du gaz résiduel	✓				✓	
Traitement d'huiles usagées			✓	✓	✓	✓
Cokeries			✓	✓	✓	
Dépôt de déchets					✓	✓

Annexes

Suite Annexe II : Aperçu des sources d'émissions industrielles par paramètres

♣ **Présence de métaux lourds par sources d'émissions industrielles :**

Activité industrielle	Cuivre	Nickel	Plomb	Chrome	Mercure	Cadmium	Zinc
Fabrication de vernis et de peinture			✓	✓		✓	✓
Fabrication d'aggloméré							
Fabrication et traitement du caoutchouc et de plastique	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Fabrication de produits céramiques	✓		✓	✓		✓	✓
Sidérurgie et fabrication d'acier inox	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Fonderies	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Fabrication de métaux non ferreux	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Traitement de surface et galvanisation	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Blanchisserie	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Agroalimentaire, Brasseries et production de boissons	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Fabrication de détergents et cosmétiques							✓
Imprimerie	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Ateliers photographiques				✓	✓	✓	
Tannerie et mégisserie	✓			✓		✓	
Fabrication et raffinage du textiles	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Fabrication de fibres chimiques et viscose	✓						✓
Fabrication et traitement des produits en verre et fibres minérales	✓	✓	✓	✓		✓	
Fabrication d'hydrocarbures							
Production de gaz naturel et industriel							
Fabrication de produits chimiques en générale	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Eau de nettoyage du gaz résiduel	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Traitement d'huiles usagées	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cokeries					✓	✓	
Dépôt de déchets	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Annexes

Annexe III : Bilans mensuels des analyses : File eau

♣ **I. Charge hydraulique :**

	Débit (m³/j)	Débit /capacité nominale (%)
Avril 2011	27020	33,78
Mai 2011	29196	36,50
Juin 2011	23631	29,54
Juillet 2011	19539	24,42
Aout 2011	20446	25,56
Septembre 2011	16635	20,79
Octobre 2011	19988	24,99
Novembre 2011	35447	44,31
Décembre 2011	48530	60,66
Janvier 2012	53214	66,52
Février 2012	71929	89,91

♣ **II. Paramètres physico-chimique :**

	Température (°C)		pH		Conductivité (µS/cm)		Oxygène dissous (Bassin d'aération) (mg/l)
	Eau brute	Eau épurée	Eau brute	Eau épurée	Eau brute	Eau épurée	
Avril 2011	14,5	14,9	7,27	7,2	1681	1385	2,8
Mai 2011	25,71	26,15	7,16	7,13	1660	1393	2,5
Juin 2011	25,9	26,1	7,3	7,18	1726	1631	3,5
Juillet 2011	31	30	7,18	7	1689	1470	4,2
Aout 2011	26	26	7,7	8	1880	1573	2,62
Septembre 2011	28	28	7,19	7	1691	1497	1,62
Octobre 2011	21	21	7,67	7,54	1538	1254	2,54
Novembre 2011	19	19	7,69	7,55	1614	1423	3,35
Décembre 2011	16	15	7,66	7,46	1545	1387	4,2
Janvier 2012	10,58	10,21	7,37	7,63	1587	1454	5,6
Février 2012	10,36	10,45	7,73	7,39	1613	1475	6

Annexes

Suite Annexe III : Bilans mensuels des analyses :File eau

♣ III. Paramètres de la pollution particulaire :

	MES (mg/l)		MES (kg/j)		Charge/Ca pacité nominale (%)	R (%) Décanteur primaire	R (%) global
	Eau brute	Eau épurée	Eau brute	Eau épurée			
Avril 2011	338	33	8820	858	44,19	26	91
Mai 2011	292	20	8037	571	40,27	28	92
Juin 2011	385	23	7847	461	39,31	37	94
Juillet 2011	320	18	6051	343	30,32	41	94
Aout 2011	327	23	6668	462	33,41	15	93
Septembre 2011	384	18	6679	321	33,46	25	95
Octobre 2011	438	15	9064	301	45,41	32	96
Novembre 2011	442	42	15748	1417	78,90	48	91
Décembre 2011	201	19	9787	936	49,03	75	89
Janvier 2012	235	9	12667	508	63,46	60	95
Février 2012	304	18	22165	1318	111,05	26	93

♣ VI. Paramètres de la pollution organique globale :

VI.1 Demande chimique en oxygène :

	DCO (mg/l)		DCO (kg/j)		Charge/Capacité nominale (%)	Rendement (%)
	Eau brute	Eau épurée	Eau brute	Eau épurée		
Avril 2011	357	48	9191	1184	32,19	86
Mai 2011	387	45	1117	1293	3,91	87
Juin 2011	417	55	8739	1154	30,61	86
Juillet 2011	472	60	9064	1153	31,75	87
Aout 2011	460	68	9249	1367	32,40	83
Septembre 2011	514	57	9386	1035	32,88	88
Octobre 2011	625	52	12419	1031	43,50	91
Novembre 2011	454	91	17586	3226	61,60	84
Décembre 2011	408	52	19842	2517	69,50	87
Janvier 2012	472	35	23063	1898	80,78	91
Février 2012	362	27	26437	1892	92,60	91
Mars 2012	313	27	19756	1727	69	90

Annexes

Suite Annexe III : Bilans mensuels des analyses :File eau

VI.2 Demande biologique en oxygène :

	DBO ₅ (mg/l)		DBO ₅ (kg/j)		Charge/Capacité nominale (%)	Rendement (%)
	Eau brute	Eau épurée	Eau brute	Eau épurée		
Avril 2011	223	14	5867	354	37,13	94
Mai 2011	177	13	4858	363	30,75	93
Juin 2011	230	10	4694	213	29,71	95
Juillet 2011	188	15	3543	289	22,42	90
Aout 2011	171	16	3492	324	22,10	90
Septembre 2011	210	13	3648	218	23,09	93
Octobre 2011	316	14	6855	300	43,39	95
Novembre 2011	214	15	7613	467	48,18	91
Décembre 2011	229	8	11167	390	70,68	96
Janvier 2012	222	4	11963	218	75,72	98
Février 2012	152	3	11060	226	70,00	98
Mars 2012	143	4	9235	257	58,45	91

♣ V. Paramètres de la pollution dissoute :

V.1 Les composés azotés :

❖ V.1.1 Azote global :

	NGL (mg/l)		NGL (kg/j)		Charge/Capacité nominale (%)	Rendement (%)
	Eau brute	Eau épurée	Eau brute	Eau épurée		
Aout 2011	36	27	742	552	37,86	26
Septembre 2011	35	26	582	438,12	29,71	26
Octobre 2011	92	36	1839	719,57	93,82	61
Novembre 2011	37	29	727	562	37,09	23
Décembre 2011	51	34	2887	1907	147,30	26
Janvier 2012	42	27	2406	1518	122,76	33
Février 2012	40	18	2802	1279	142,96	54
Mars 2012	36	17	2234	1048	113,99	53

Annexes

Suite Annexe III : Bilans mensuels des analyses :File eau

❖ V.1.2 Azote Kjeldahl:

	NTK (mg/l)		NTK (kg/j)		Rendement (%)
	Eau brute	Eau épurée	Eau brute	Eau épurée	
Novembre 2011	35,65	15,38	1263,69	545,17	12,86
Décembre 2011	49,22	9,13	2388,65	443,08	65,17
Janvier 2012	38,91	6,16	2070,56	327,80	69,99
Février 2012	33,65	5,04	2420,41	362,52	79,41
Mars 2012	31,15	3,11	1938,53	193,54	83,24

❖ V.1.3 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
Novembre 2011	18	10,83	0,5	2,23	0,85	0,31
Décembre 2011	23	23,4	0,54	0,15	1,24	0,82
Janvier 2012	18,38	19,48	2,65	0,41	0,44	0,45
Février 2012	9,17	1,96	5,78	10,87	0,57	0,13
Mars 2012	12,59	0,17	3,89	13,51	0,86	0,05

Annexes

Suite Annexe III : Bilans mensuels des analyses :File eau

❖ V.2 Phosphore total :

	Pt (mg/l)		Pt (kg/j)		Rendement (%)
	Eau brute	Eau épurée	Eau brute	Eau épurée	
Aout 2011	3,61	1	74	20	73
Septembre 2011	2,91	0,9	196	30	70
Octobre 2011	2,58	0,38	103	36	85
Novembre 2011	3,45	0,65	93	22	74
Décembre 2011	2,82	0,83	135	40	68
Janvier 2012	4,5	1,53	257	87	66
Février 2012	6	2,4	435	175	66
Mars 2012	3	0,42	189	2,6	86

Annexe IV : Bilans mensuels des analyses : File boues

		[MES] _{BA} (g/l)	MES décantées (%)	Quantité de boues stockées (BS) (kg/j)	Quantité de polymère (kg/j)	Siccité (%)
Avril 2011	26	4,1	22	8629	53	30
Mai 2011	28	4,1	33	11195	61	40
Juin 2011	37	4,6	27	14864	37	39
Juillet 2011	41	4,5	24	8769	31	33
Aout 2011	15	5,1	23	8769	27	30
Septembre 2011	25	9,5	24	8118	34	33
Octobre 2011	32	9,0	25	9457	50	32
Novembre 2011	48	5,9	33	10137	35	30
Décembre 2011	75	4,9	73	7544	25	40
Janvier 2012	60	6,2	58	7992	31	39
Février 2012	65	5,6	52	8856	42	32

Annexes

Annexe V : calculs utiles

❖ **Calcul de la charge massique :**

$C_m = \text{nourriture/boues} = (\text{kg DBO}_5 \text{ reçue} / \text{kg MVS})$ (bassin d'aération)

❖ **Calcul de la production de boues primaires (STEP Réghaia):**

$P_{\text{boues primaires}} = \text{Flux MES}_{24\text{h}} \times \text{Rdt (décanteur primaire)}$

❖ **Calcul de la production de boues biologiques (STEP Réghaia) :**

$P_{\text{boues biologiques}} (\text{kg/j}) = [\text{MES}]_{\text{bio extraites}} (\text{kg/m}^3) * \text{débit journalier d'extraction} (\text{m}^3/\text{j})$

❖ **Calcul de la production de boues primaires théorique :**

$P_{\text{boues primaires théorique}} = \text{Flux MES}_{24\text{h}} \times 0,6$

❖ **Calcul de la production totale de boues théorique :**

$\text{Boues extraites} = S_{\text{Min}} + S_{\text{Dur}} + B_{\text{Bio}} + B_{\text{Chi}} - S_{\text{Eff}}$

Avec :

S_{Min} : matières minérales en suspension = 30% * flux entrant MES (kg/jr)

S_{Dur} : Fraction non biodégradable des matières organiques en suspension dans l'effluent brut = 17% * flux entrant MES (kg/jr)

B_{Bio} : Boues biologiques = $(0,83 + 0,2 * \log CM) * \text{flux entrant DBO}$ (kg/jr).

B_{Chi} : Boues physico-chimique = $2,7 * \text{Fe}_{3+}$ (kg/jr).

S_{Eff} : Norme de rejet de MES.

❖ **Calcul de la vitesse ascensionnelle dans le décanteur primaire :**

$VA (\text{m/h}) = Q (\text{m}^3/\text{h}) / S \text{ de décanteur} (\text{m}^2)$

❖ **Calcul de du temps de séjour dans le décanteur primaire :**

$T_s = V \text{ de décanteur} (\text{m}^3) / Q (\text{m}^3/\text{h})$

	Charge massique C_m (kg DBO5 reçue / kg MVS)(BA)	Production de boues primaires (STEP) (kg/j)	Production de boues biologiques (STEP) (kg/j)	Production de boues totale (STEP) (kg/j)	VA (décanteur primaire) (m/h)	Temps de séjour T_s (h)
Avril 2011	0,15	1940	3530	5470	0,81	3,78
Mai 2011	0,14	2652	714	3366	0,88	3,50
Juin 2011	0,13	2119	456	2575	0,71	4,33
Juillet 2011	0,07	1452	2463	3915	0,59	5,23
Aout 2011	0,08	1534	1767	3301	0,62	5,00
Septembre 2011	0,04	1603	1936	3539	0,50	6,14
Octobre 2011	0,07	2266	4140	6406	0,60	5,11
Novembre 2011	0,11	5197	2607	7804	1,07	2,88
Décembre 2011	0,09	7145	2119	9264	0,73	4,21
Janvier 2012	0,07	7347	1080	8427	0,80	3,84
Février 2012	0,11	11526	4961	16487	1,08	2,84

Annexes

Suite Annexe V: Calculs utiles

	S min (kg/j)	S dur (kg/j)	Production de boues biologiques théorique (kg/j)	MES rejet (kg/j)	Production de boues totale théorique (kg/j)	Estimation de la production de boues primaires théorique (kg/j)
Avril 2011	2646	1499	3907	540	7512	9199
Mai 2011	2411	1366	3191	584	6385	8013
Juin 2011	2354	1334	3055	473	6271	7763
Juillet 2011	1815	1029	2137	391	4590	5768
Aout 2011	2000	1134	2113	409	4838	6114
Septembre 2011	2004	1135	1972	333	4779	5979
Octobre 2011	2719	1541	4137	400	7998	9575
Novembre 2011	4724	2677	4844	709	11537	14293
Décembre 2011	2936	1664	6908	971	10537	12780
Janvier 2012	3800	2153	7213	1064	12102	14813
Février 2012	6650	3768	7102	1439	16081	20401

Annexe VI : Indicateurs de performances:

♣ Ratios file eau :

	DCO/ DBO ₅	C/N/P	DBO ₅ / MES	MVS/ MES	DCO/P _T	NH ₄ +/ NTK	DBO ₅ / NO ₃ ⁻	DCO/ NTK
Avril 2011	1,60		0,66	59,51		Les analyses de l'ammonium, des nitrites et des nitrates ont commencées à partir de Novembre 2011		
Mai 2011	2,19		0,61	56,90				
Juin 2011	1,81		0,60	56,60				
Juillet 2011	2,51		0,59	55,98				
Aout 2011	2,69		0,52	52,50				
Septembre 2011	2,45		0,55	53,86	127,42	L'analyse du phosphore a commencée en septembre 2011.		
Octobre 2011	1,98		0,72	62,63	142,46			
Novembre 2011	2,12		0,48	49,76	242,25	0,65	1,52	12,73
Décembre 2011	1,78		1,14	70,32	131,59	0,60	12,04	8,28
Janvier 2012	2,13		0,94	67,17	144,68	0,61	2,20	12,13
Février 2012	2,38		0,50	50,87	104,89	0,35	0,06	10,75
Mars 2012						0,52	0,07	10,05

Annexes

♣ Ratios file boues :

	production de boues primaires / production de boues primaires théorique	kg MS extraites / kg DCO éliminée	kg MS extraites / kg DCO éliminée (théorique)	Kg MS extraites / T de polymère
Avril 2011	0,37	0,69	0,95	6,14
Mai 2011	0,55	0,34	0,65	5,45
Juin 2011	0,45	0,34	0,83	2,49
Juillet 2011	0,40	0,50	0,58	3,54
Aout 2011	0,38	0,43	0,63	3,08
Septembre 2011	0,40	0,43	0,58	4,19
Octobre 2011	0,42	0,57	0,71	5,29
Novembre 2011	0,55	0,53	0,78	3,45
Décembre 2011	1,22	0,54	0,61	3,31
Janvier 2012	0,97	0,40	0,58	3,88
Février 2012	0,87	0,69	0,67	4,74

Annexe VII: Ratios moyens: Epaissement / Déshydratation

Ouvrage aval	Type de boues	Taux de traitement en kgMA/tMS	Siccité finale (%)
Epaississeur statique	Tous types	2 - 4	3 - 8
Flottateur	Aération prolongée	1,5 - 2,5	3 - 5
GDE	Mixte fraîche	4 - 10	
	Aération prolongée	4 - 10	
GDD	Aération prolongée	2 - 4	3 - 4
Centrifugeuse	Primaire (digérée ou non)	3 - 5	35 - 40
	Physico-chimique	3 - 5	33 - 35
	Mixte 50/50 (digérée ou non)	6 - 8	24 - 27
	Biologique (digérée ou non)	8 - 12	18 - 22
Filtre à bandes	Primaire digérée	1 - 3	32 - 35
	Mixte fraîche	3 - 5	17 - 25
	Mixte digérée	3 - 6	22 - 27
	Aération prolongée	4 - 7	12 - 20
Filtre-presse	Aération prolongée	6 - 8	26 - 30
	Mixte fraîche	4 - 6 (test)	
	Biologique digérée	4 - 5	26 - 30
	Mixte digérée	5 - 8 (test)	30 - 35
Lits de séchage	-	2 - 2,5	Varibale selon temps de séchage et climat

Annexes

Annexe VIII : Calcul de la consommation d'énergie électrique et bilan carbone:

Notons que la consommation totale d'énergie électrique au niveau de la STEP de Réghaia est une donnée, les autres paramètres sont calculés.

	Consommation d'énergie électrique totale Au niveau de la STEP (KWh /j)	Consommation d'énergie électrique dans le BA (% de la consommation totale)	Consommation d'énergie électrique Déshydratation (% de consommation totale)*	Taux de CO ₂ émis (Kg CO ₂ /j)	Taux de CO ₂ émis (KgCO ₂ /mois)	Taux de CO ₂ émis Avec [MES] _{BA} = 4,3g/l (Kg CO ₂ /j)
Avril 2011	15873	74,84	3,8	9317	279523	8930
Mai 2011	14363	82,71	5,5	8431	261361	8044
Juin 2011	14416	82,41	7,2	8462	253860	8075
Juillet 2011	16134	73,63	3,8	9470	284100	9083
Aout 2011	14634	81,18	4,2	8590	266290	8203
Septembre 2011	16402	72,43	3,5	9628	288840	9241
Octobre 2011	14733	80,64	4,5	8648	268088	8261
Novembre 2011	13592	87,40	5,2	7976	239280	7204
Décembre 2011	14146	83,98	3,7	8304	257424	7529
Janvier 2012	21832	60,46	2,6	12815	397265	11266
Février 2012	22156	59,58	2,8	13006	377174	11456
Mars 2012	22618	58,36	3,5	13277	411587	11727
Consommation totale d'énergie électrique : 6107140 KW				Emission totale de CO₂ : 3584792 kg		

* : on note que durant cette période deux centrifugeuses étaient en arrêt et l'extraction des boues était insuffisante.

Annexes

Annexe IX : Les différentes techniques de traitement des métaux lourds :

	Mercuré	argent	Plomb	Cuivre	Zinc	Nickel	Chrome	Cadmium	Cobalt	Vanadium
Préchloration	Améliore l'élimination de tous les métaux									
Coagulation	*	***	***	***	**	**	-		-	*
Filtres à sable	***	***	***	***	***		-	***	-	
Echangeurs d'ions	**	**	***	**	**		***	***	**	**
Charbon actif	***	***	**	**	**	**	**	**	**	**

- : Pas d'effet / * : Peu d'effet / ** : suffisant pour répondre aux normes en vigueur / *** : Excellent

Annexe X : Etude de simulation pour la mise en place du procédé de coagulation au niveau de le STEP de Réghaia :

- ♣ **Echantillons** : eau usée non décantée prélevée à l'entrée du décanteur primaire.
- ♣ **Procédure** :
 - **Etape 1 : Optimisation de la concentration du coagulant pour des concentrations en métaux toxiques inhibitrices de la nitrification.**
- ✓ Mesure des concentrations initiales en métaux lourds.
- ✓ Préparation de plusieurs échantillons de compositions et de concentrations différentes en ajoutant les concentrations de métaux lourds adéquates afin d'obtenir des concentrations élevées qui inhibent la nitrification (Tableau suivant) dans le cas où les eaux usées entrantes ne sont pas contaminées (L'arrivée des métaux lourds est périodique).
- ✓ Réalisation de Jar Test, afin de déterminer la concentration de coagulant optimale pour une bonne coagulation de métaux lourds et cela par la mesure de la concentration des métaux lourds après coagulation.
- ✓ Noter à chaque fois le temps nécessaire pour une bonne élimination de métaux toxiques et comparer ce temps avec le temps optimal permettant une bonne décantation au niveau du décanteur primaire pour le débit nominal (1,05 h).
- ✓ Calcul du taux de transfert des métaux dans les boues primaires.

Annexes

Suite annexe X : Etude de simulation pour la mise en place du procédé de coagulation au niveau de le STEP de Réghaia :

Eléments	Concentrations limites (mg/l)	Capacité de réduction par le chlorure ferrique
Chrome (Cr ⁶⁺)	293 mg/l : Inhibition à 90%	Nul
Zinc (Zn ²⁺)	3 mg/l : Inhibition à 100% 0,35 mg/l : Inhibition à 50%	Une préchloration
Cuivre (Cu ²⁺)	0,9 mg/l : Inhibition à 91% 0,8 mg/l : Inhibition à 50%	Excellent
Cadmium (Cd ²⁺)	40 mg/l	Excellent
Nickel (Ni ²⁺)	25 mg/l	Une préchloration
Argent (Ag ⁺)	0,08 mg/l	Excellent
Plomb (Pb ²⁺)	40 mg/l	Excellent

Tableau 1: Concentrations limites en métaux lourds inhibiteurs de la nitrification

Annexes

Annexe XI: Principe de la régulation en temps réel par seuil de potentiel d'oxydoréduction

- Définition des valeurs respectives de seuils haut d'arrêt et bas de marche qui se situent en général dans les gammes respectives [+ 180 à + 250 mV/Ag. AgCl] et [- 50 à + 50 mV/Ag. AgCl].
- Quatre temporisations programmables dites « de sécurité » doivent impérativement être associées à ce type d'asservissement, le choix de type de temporisation est fonction de la situation (tableau suivant)
- Les temporisations doivent être réglées en fonction de la charge reçue par l'installation et de la puissance de l'aération comme suit :
 - ♣ Temps minimum de marche (T1) : détermine la durée minimale de marche de l'aération par cycle qui est comprise entre ¾ d'heure et une heure.
 - ♣ Temps maximum de marche (T2) : détermine la durée maximale de marche de l'aération par cycle qui est de l'ordre de 2heures.
 - ♣ Temps minimum d'arrêt (T3) : détermine la durée minimale d'arrêt de l'aération par cycle qui correspond à une durée d'anoxie par cycle comprise entre heure et ¾ d'heure.
 - ♣ Temps maximum d'arrêt (T4) : détermine la durée maximale d'arrêt de l'aération par cycle qui doit être inférieure à 2 heures.
- Détermination des durées maximales et minimales journalières de marche de l'aération :
 - ♣ Durée min = N A x T1 avec : $N A = 24 / (T2 + T3)$
 - ♣ Durée max = N B x T2 avec : $N B = 24 / (T1 + T4)$

Tableau : Différentes situations conduisant à la mise en œuvre des temporisations

Situation	Temporisation mise en jeu
La tension du capteur atteint normalement le seuil haut, n'atteint pas le seuil bas	T4 : assurant une durée maximale d'arrêt
La tension du capteur n'atteint pas le seuil haut, atteint normalement le seuil bas	T2 : assurant une durée maximale de marche
La tension du capteur atteint rapidement le seuil haut et le seuil bas	T1 : assurant une durée minimale de marche T3 : assurant une durée minimale d'arrêt
La tension du capteur reste fixe au-dessus du haut	T2 : assurant une durée minimale de marche T4 : assurant une durée maximale d'arrêt
La tension du capteur n'atteint ni le seuil haut ni le seuil bas	T1 : assurant une durée maximale de marche T4 : assurant une durée maximale d'arrêt
La tension du capteur reste fixe au-dessous du seuil bas	T2 : assurant une durée maximale de marche T3 : assurant une durée minimale d'arrêt

Annexes

Annexe XII: Calculs pour la séparation et la valorisation des boues de la STEP de Réghaia

XII.1 : Production maximale es boues primaires au niveau de la STEP de Réghaia :

Les formules des calculs sont les suivantes :

$$\text{Production maximale de boues primaires (QBP}_{\max}) = \text{MES}_{\max} * 0,6$$

$$\text{Capacité d'une centrifugeuse} = 633 \text{kg/j} * \text{temps de fonctionnement}$$

Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

Paramètres	Résultats
Flux maximale de MES reçu par la STEP	19960kg/j
Production des boues primaire pour MES _{max}	11976kg/j
Nombre d'heures de marche de la centrifugeuse	19h/j
Capacité de déshydratation de la centrifugeuse	12027 kg/j

XII.2: Calculs pour la gestion des boues biologiques au niveau de la STEP de Réghaia :

Nous calculons la production moyenne des boues biologiques au niveau de la STEP de Réghaia

$$\text{QBB}^*_{\text{moyenne}} = \frac{\sum \text{Productions mensuelles}}{11}$$

- Les productions mensuelles des boues biologiques (QBB*) sont données dans le tableau VIII.13
- Les résultats sont donnés dans le tableau suivant

$$\text{La production moyenne (QBB}^*_{\text{moyenne}}) = 4432 \text{ kg/j}$$

Paramètre	valeur
Production journalière de boues biologiques	4432 kg/j
Production annuelle de boues biologiques	1617680 kg/an
Norme internationale pour les lits de séchage plantés à roseaux	50 kg/m ² /an
Surface nécessaire pour la mise en place des lits de séchage au niveau de la STEP de Réghaia	3,2 hectares

XII.3: Calculs du gain en consommation de polymère suite à la séparation des boues au niveau de la STEP de Réghaia :

Nous calculons la production moyenne des boues primaires au niveau de la STEP de Réghaia

$$\text{QBP}^*_{\text{moyenne}} = \frac{\sum \text{Productions mensuelles}}{11}$$

- Les productions mensuelles des boues primaires (QBP*) sont données dans le tableau VIII.13
- QBP*_{moyenne} = 6,2 tonnes /j
- Les consommations journalières en polymère (Qp) sont données dans le tableau VIII.14
- La consommation moyenne du polymère au niveau de la STEP de Réghaia pour la déshydratation des boues mixtes (Qp_{moyenne})

Annexes

Suite Annexe XII: Calculs pour la séparation et la valorisation des boues de la STEP de Réghai

$$Qp_{\text{moyenne}} = \frac{\sum \text{consommations journalières}}{11}$$

Paramètre	valeur
QBP* _{moyenne}	6,2 tonnes /j
Ratio (kg polymère/TMS) _{boues primaires}	[3 - 5]
Ratio moyen	4
Quantité de polymère utilisé pour déshydrater QBP*	25 kg/j
Qp actuelle _{moyenne}	39 kg/j
Economie dans la consommation en polymère	14 kg/j

XII.4 Calcul du gain énergétique suite à la séparation des boues au niveau de la STEP de Réghaia :

Paramètres	Résultats
Consommation actuelle d'énergie au niveau des centrifugeurs	667 KWh/j
Consommation d'énergie au niveau des centrifugeuses suite à la déshydratation individuelle des boues primaires	436 KWh/j
Gain journalier en énergie	213KWh/j

Diagramme de Gantt

Mars						Avril						Mai						Juin		
10	15	20	25	27	30	5	10	16	19	25	30	5	10	15	20	25	30	5	10	15
Chapitre I																				
Chapitre II																				
Chapitre III																				
						Stage : STEP de Réghaia														
						Découverte de la STEP														
						<ul style="list-style-type: none"> ♣ Récolte des données ♣ Analyses au niveau du BA 														
						Chapitre IV														
						Chapitre V														
						Chapitre VII														
																				
						Chapitre VI														
						Chapitre VIII														
						Chapitre IX														
												Chapitre X								