HAL
open science

Diagnostics hydraulique et énergétique de systèmes de collecte et de traitement des eaux usées urbaines

Camille Lam

To cite this version:

Camille Lam. Diagnostics hydraulique et énergétique de systèmes de collecte et de traitement des eaux usées urbaines. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2017. dumas-01667802

HAL Id: dumas-01667802

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01667802

Submitted on 10 Jan 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

2017

Diagnostics hydraulique et énergétique de systèmes de collecte et de traitement des eaux usées urbaines

Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de l'ENGEES
3 Juillet 2017
Promotion Paris 2014-2017

Réalisé par :
Camille LAM

Maître de stage :
Ludovic LAURENT

Référent école :
Christian BECK

Remerciements

En préambule de ce mémoire de fin d'étude, je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin au bon acheminement de ce stage.

Je remercie mes parents pour m'avoir encouragé et permis de poursuivre mes études jusqu'à ma formation d'ingénieur. Sans eux et leur amour, je n'en serais pas là.

Aussi, je tiens à montrer ma reconnaissance à Ludovic LAURENT, mon maitre de stage, qui m'a donné l'opportunité de travailler au sein de son équipe, d'enrichir mon expérience professionnelle et de rencontrer des personnes formidables et généreuses.

Je remercie Daniel GOUGET qui a été un excellent formateur pour l'utilisation du logiciel GesCIRA, ainsi qu'Axel POTIER et François MANN qui m'ont aidé sur le logiciel OCEAN.

Un grand merci tout particulièrement à Pascale LABART qui m'a chaleureusement accueilli dans son bureau et épaulé moralement tous les jours dans la construction de ce mémoire, à Brigitte POIGNON-GROS pour ses conseils et sa gentillesse qui m'ont été plus que précieux, et à Clément BERAUD pour son amitié, son œil critique et son humour qui m'a plus qu'une fois permis de remonter la pente dans certains moments de doute et de faiblesse.

Plus largement, je souhaite remercier tous les collègues du centre RLA de Villefranche-sur-Saône pour leur accueil chaleureux et leur sympathie : le service ingénierie, le service industrie et le service clientèle, sans oublier le service d'approvisionnement.

Pour finir, je remercie mon tuteur Christian BECK qui a bien voulu me prendre sous son aile pour ce stage et a fait preuve de patience en répondant à toutes mes interrogations.

Résumé

Veolia, multinationale française, est en recherche constante d'une exploitation optimisée des nombreux systèmes d'assainissement dont elle est le délégataire. Dans le cadre de la norme ISO 50001 relatif à la performance énergétique, l'objectif ultime est de minimiser les besoins énergétiques des équipements tout en restant dans les normes instaurées par le nouvel arrêté préfectoral du 21 Juillet 2015 relatif aux systèmes d'assainissement collectif […]. La finalité du travail de fin d'études présenté a alors été d'établir un diagnostic hydraulique et énergétique du système d'assainissement de la Communauté de Communes Dombes Saône Vallée.

La première étape du travail a consisté en la modélisation de la station d'épuration des Bords de Saône sur le logiciel OCEAN. Après calage du modèle, un bilan énergétique dégageant les Usages Energétiques Significatifs (UES) de la station a été établi ; le poste le plus énergivore étant celui de l'aération.

Puis à partir de ce bilan, d'indicateurs de performance et d'autres éléments tels que l'étude du contrat de fourniture d'électricité, un diagnostic global de la station a été dressé. L'outil de modélisation énergétique a été utilisé pour la troisième étape de l'étude qui est une analyse plus précise du fonctionnement de la file eau et de la file boue. Globalement, cette étude diagnostique de la station a mis en évidence que cette dernière fonctionnait correctement mais pas d'une façon optimale par rapport aux propositions du logiciel OCEAN.

Ainsi, des leviers d'actions ont été proposés:

- Le suivi permanent des consommations électriques
- Une puissance souscrite adaptée aux consommations de la station
- Une adaptation de la qualité de rejet à l'objectif de minimisation des dépenses énergétiques
- Le rétablissement d'une charge massique adaptée à une boue activée en aération prolongée
- Une régulation de la puissance d'aération
- Une régulation de l'injection en réactifs
- La minimisation des intrants dans la station par une première étape de diagnostic permanent des eaux claires parasites

Abstract

Hydraulic and energy diagnosis of waste water network and treatment plant

Veolia is a French multinational company which is always seeking for an optimized operating management of the numerous Waste Water Treatment Plant (WWTP) and sewage network managed by the company. Within the scope of the ISO 50001 standard relating to energy performance, the ultimate objective is to minimize the energy needs of the components while respecting the applicable standard fixed by the regulation from the 21st of July 2015 regarding collective waste water systems […]. Thus, the purpose of the presented end-of-studies internship is to establish a hydraulic and energy diagnosis of the waste water system of the Dombes Saône Vallée municipality community.

The first step of the work consisted in the modeling of the Bords de Saône WWTP using the Veolia-made software named OCEAN. After setting up the model, an energy balance underlining the Significant Energy Utilizations (SEU) of the plant was established; the most energy intensive treatment part of the process being the aeration.

Hence, based on this assessment, on performance indicators and other elements such as the study of the electricity supplier contract, a global diagnostic of the plant was made. The modeling tool was used in the third step for a more specific analysis on the water and sludge channel work. Globally, this diagnostic study of the plant highlighted that, according to the suggestions of the OCEAN software, it was working correctly but not in an optimal way.

Thus, levers of actions have been proposed:

- The continuous monitoring of the electric consumptions
- A power subscription adjusted to the plant's needs
- A quality of the treated effluent adapted to the objective of energy optimization
- The restoration of a mass loading in line with an extended aeration activated sludge process
- A regulation of the aeration power
- A regulation of the injection of reagents
- The minimization of the inflows of the plant with the first step of continuous monitoring of infiltration and inflow waters

Sommaire

SIGLES ET ABREVIATIONS **8**

SYMBOLES **8**

LISTE DES FIGURES **9**

LISTE DES TABLEAUX **9**

INTRODUCTION **11**

1. PRESENTATION ET CONTEXTUALISATION DE L'ETUDE **12**
- 1.1. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL 12
- 1.2. CONTEXTE GLOBALE DE L'ETUDE 13
- 1.3. OBJETS D'ETUDE ET DESCRIPTION GENERALE DE LA STATION DES BORDS DE SAONE 14
- 1.4. METHODOLOGIE ADOPTEE POUR L'ETUDE 15

2. MODELISATION ENERGETIQUE DE LA STEP **16**
- 2.1. METHODOLOGIE ADOPTEE POUR LA MODELISATION 16
- 2.2. OCEAN : L'OUTIL INFORMATIQUE UTILISE POUR L'ETUDE ENERGETIQUE 16
- 2.3. SYNOPTIQUE DE LA STATION DES BORDS DE SAONE 18
- 2.4. CREATION DU MODELE 19
- 2.5. CALAGE DU MODELE SUR L'ANNEE 2016 20
- 2.6. REPARTITION DES CONSOMMATIONS ELECTRIQUES DE LA STATION 23

3. ETUDE DIAGNOSTIQUE DE LA STATION DES BORDS DE SAONE **24**
- 3.1. ANALYSE GLOBALE DU FONCTIONNEMENT DE LA STATION 24
- 3.2. DIAGNOSTIC APPROFONDI DU FONCTIONNEMENT DE LA FILE EAU AVEC OCEAN 32
- 3.3. DIAGNOSTIC APPROFONDI DU FONCTIONNEMENT DE LA FILE BOUE AVEC OCEAN 36
- 3.4. CONCLUSION GENERALE SUR LE DIAGNOSTIC DE LA STATION DES BORDS DE SAONE 37

4. LES PISTES D'AMELIORATION POSSIBLES SUR LA STATION **38**
- 4.1. MISE EN PLACE D'UN DIAGNOSTIC PERMANENT DES CONSOMMATIONS ELECTRIQUES 38
- 4.2. MODIFICATION DU CONTRAT DE FOURNITURE EDF 39
- 4.3. MAITRISE DE LA QUALITE DE REJET POUR DES DEPENSES ENERGETIQUES MINIMISES 39
- 4.4. OPTIMISATION DU TRAITEMENT BIOLOGIQUE 42
- 4.5. OPTIMISATION DU SYSTEME D'AERATION 44
- 4.6. OPTIMISATION DU SYSTEME DE REGULATION DE L'INJECTION DE CHLORURE FERRIQUE 45
- 4.7. OPTIMISATION DU TRAITEMENT DES BOUES 47
- 4.8. PREMIER BILAN SUR LES POSSIBILITES D'OPTIMISATION ENERGETIQUE 48

5. LA MAITRISE HYDRAULIQUE EN RESEAU : UNE AUTRE PISTE D'OPTIMISATION ENERGETIQUE **49**
- 5.1. INTERET ET CONTEXTE DE L'ETUDE HYDRAULIQUE 49
- 5.2. MISE EN PLACE DU DIAGNOSTIC PERMANENT SUR LE RESEAU DE LA CCDSV 51
- 5.3. EXEMPLES D'APPLICATION : ETABLISSEMENT DU DIAGNOSTIC PERMANENT SUR QUATRE CONTRATS DU CENTRE 54
- 5.4. ÉTUDE DE L'IMPACT DE LA REDUCTION DES ECP PAR LA MODELISATION OCEAN 55
- 5.5. BILAN SUR L'OPTIMISATION HYDRAULIQUE DU RESEAU 58

CONCLUSIONS GENERALES **59**

BIBLIOGRAPHIE **61**

ANNEXES **63**

Sigles et abréviations

BA: Bassin d'Aération
BO: Bassin d'Orage
DBO_5 : Demande Biochimique en Oxygène au bout de 5 jours ($kgDBO_5/j$)
CCDSV : Communauté de Communes Dombes Saône Vallée
cf.: confer
CTE : Commission de Régulation de l'Energie
DCO : Demande Chimique en Oxygène (kgDCO/j)
DO: Déversoir d'Orage
EB : Eaux brutes
EDF : Electricité de France
EH : Équivalent par Habitant
EPI ou ECPP: Eaux Parasites d'Infiltration ou Eaux Claires Parasites Permanentes
EPC : Eaux Parasites de Captage
EUS : Eaux Usées Strictes
GesCIRA : Gestion Centralisée des Informations en Réseau d'Assainissement
ITV: Inspections Télévisées
MES ou MEST: Matières En Suspension
MS : Matières sèches
MV: Matière volatile
MVS : Matières Volatiles Soluble
PR: Poste de Relevage
P_t: Phosphore total
Q : débit
RPM : Reyrieux, Parcieux, Massieux
SBT : Saint-Bernard, Trévoux
SI : Syndicat
TFE: Travail de Fin d'Etude
UDEP ou STEU : Usine de Dépollution des Eaux Potables ou Station de Traitement des Eaux Usées
ZI : Zone Industrielle

Symboles

cts / € : centimes / euros
km /m / m^3: kilomètre / mètre / mètre cube
kW / kWh: kilowatt / kilowattheure
l : litre
mCE : mètre de colonne d'eau
mg / g / kg / t: milligramme / gramme / kilogramme / tonne
P: puissance
Q : débit
s / h / j : seconde / heure / jour
[X] : Concentration de X en mg/l ou en g/l

Liste des Figures

Figure 1: Organisation et implantation de Veolia en France 12
Figure 2: Illustration de valeur forcee et non forcee: exemple d'un degrillage grossier 17
Figure 3: Rubriques concernant l'aeration des bassins biologiques sur OCEAN 18
Figure 4: Repartition journaliere des consommations et couts electriques entre les differents postes 23
Figure 5: Puissances atteintes en Mars 2017 a la Station des Bords de Saone 25
Figure 6: Puissances atteintes en Avril 2017 a la Station des Bords de Saone 25
Figure 7: Repartition cumulee des puissances atteintes en Mars 2017 26
Figure 8: Évolution 2016 du debit en entree de traitement 26
Figure 9: Charge DCO eliminee tous les mois en 2016 27
Figure 10: Charge DBO eliminee tous les mois en 2016 27
Figure 11: Indicateur - Ratio kWh/kg DCO eliminee 29
Figure 12: Indicateur - Ratio kWh/kgDBO eliminee 29
Figure 13: Indicateur - Ratio kg MS /kg DBO eliminee 30
Figure 14: Ratio kWh/m^3 d'eaux brutes 31
Figure 15: Influence de la concentration en sortie en NH_4^+ sur les besoins energetiques de l'aeration 40
Figure 16: Impact de la concentration en $N\text{-}NO_3^-$ en sortie de station sur les besoins en air et en electricite du traitement biologique 41
Figure 17: Consommation de methanol selon la concentration en sortie de $N\text{-}NO_3^-$ 41
Figure 18: Determination des volumes d'ECP pour un evenement pluvieux par rapport au profil de temps sec 52

Liste des Tableaux

Tableau 1: Charges de reference de la Station des Bords de Saone 15
Tableau 2: Phase 1 du calage 21
Tableau 3: Phase 2 du calage 21
Tableau 4: Comparaison des parametres de l'aeration theoriques/reels et calcules par OCEAN 22
Tableau 5: Flux et charges reçues en 2016 par la Station des Bords de Saone ; rappel des valeurs nominales 24
Tableau 6: Caracteristiques nominales des stations du Centre Arc Alpin utilisees pour une comparaison relative ... 28
Tableau 7: Indicateur - Ratio de la consommation de polymere par tonne de MS 30
Tableau 8: Comparaison de ratios electriques mesures en 2016 avec ceux garantis par le constructeur 31
Tableau 9: Comparaison des parametres biologiques de l'exploitation et du modele OCEAN 33
Tableau 10: Comparaison de l'aeration des bassins biologiques de l'exploitation et du modele OCEAN 34
Tableau 11: Comparaison des concentrations en sortie entre l'exploitation 2016 et le modele OCEAN 34
Tableau 12: Comparaison des quantites de reactifs injectes 35
Tableau 13: Comparaison des besoins energetiques du traitement biologique 35
Tableau 14: Proposition de postes a equiper de sous-comptage 38
Tableau 15: Concentrations en MES a imposer dans les bassins selon la charge en entree de station 43
Tableau 16: Classement par ordre de faisabilite et de priorite des recommandations emises 48

Introduction

L'étude présentée dans ce rapport a pour objet la station d'épuration des Bords de Saône située à Massieux dans l'Ain. L'objectif est d'établir un diagnostic du fonctionnement et des consommations énergétiques de l'usine afin d'en dégager des possibilités d'optimisation et de les intégrer aux plans d'actions du Centre Rhône-Loire-Auvergne (RLA) de l'entreprise Veolia.

En effet, en novembre 2015, Veolia obtient la certification ISO 50001, norme qui encourage les entreprises à une gestion soucieuse de la performance énergétique de ses équipements. Dans ce contexte national, le Centre RLA a entrepris des actions sur les sites (réseaux et usines) dont Veolia est délégataire sur le centre. Ces actions visent à une meilleure connaissance des usages et des consommations énergétiques et à l'élaboration de programmes pour une utilisation plus efficace de l'énergie. En outre, cette ambition permet de proposer des solutions innovantes et durables au service des clients qui sont à la fois soucieuses de la société et en respect de l'environnement. Ainsi, le travail réalisé répond à des problématiques non seulement économiques et techniques, mais aussi à des enjeux contractuels et réglementaires.

La Station des Bords de Saône présentée dans ce mémoire est une station d'épuration récente et au dire de l'exploitant responsable du site et des données disponibles depuis 2016 assure un traitement satisfaisant. Toutefois depuis sa mise en route en 2015, aucune étude visant à vérifier le mode d'exploitation adopté, notamment par rapport aux garanties du constructeur, n'a encore été menée.

Ainsi, dans ce mémoire seront présentées une analyse et une évaluation du fonctionnement de la Station des Bords de Saône, suivi de propositions pour l'optimisation de l'usine. Des indicateurs de performance des processus et des indicateurs de performance énergétique seront des outils pertinents pour réaliser une première analyse de l'usine.

En plus de ces indicateurs, l'outil de modélisation énergétique des stations d'épuration OCEAN de Veolia permettra sur un modèle calé de faire un état de la répartition des consommations énergétiques de la station. Il permettra également d'évaluer et critiquer en suivant un modèle idéal proposé par le logiciel les paramètres d'exploitation actuels, notamment biologiques.

Une fois cette phase de diagnostic effectuée, des leviers d'action seront proposées à l'exploitant permettant de meilleures performances énergétiques de la station en accord avec la politique de l'entreprise. Ces recommandations concerneront directement la station à court ou à long terme, mas aussi l'amont de celle-ci en mettant en question l'hydraulique du réseau de collecte.

1. Présentation et contextualisation de l'étude

1.1. Présentation de la structure d'accueil

1.1.1. Veolia et son implantation en France

Veolia est leader mondial dans la gestion du cycle de l'eau, la gestion et valorisation des déchets et la gestion de l'énergie. Multinationale française, l'entreprise est présente dans plus de 40 pays dans le monde. Plus particulièrement en France, avec la gestion de 2 149 usines de traitement des eaux usées et 2 404 usines de production d'eau potable et l'aide de 15 500 collaborateurs, elle collecte et dépollue jusqu'à 1,3 milliard de mètres cubes d'eaux usées et distribue 1,75 milliard de mètre cube d'eau potable par an. Pour une meilleure proximité avec ses clients, Veolia organise le territoire français en quatre zones : le Grand Est, le Grand Ouest, l'Île-de-France – Nord-Ouest et la Méditerranée (cf. Figure 1). Chaque zone dispose de centres régionaux et de services distincts dédiés aux réseaux, aux usines, à la clientèle et au support des différentes exploitations.

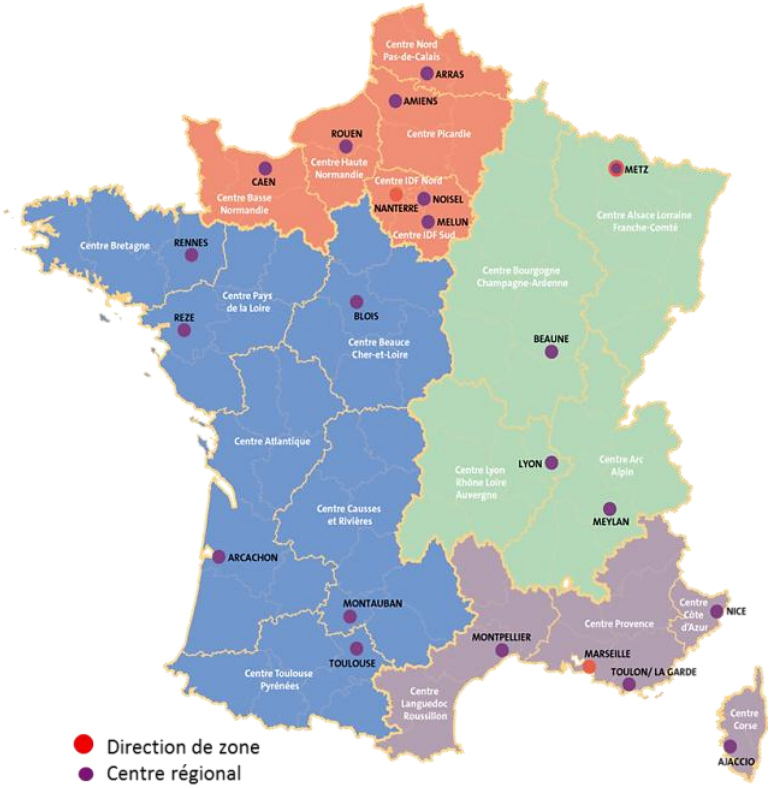


Figure 1: Organisation et implantation de Veolia en France

1.1.2. Le Service d'Aide à l'Exploitation du Centre Rhône-Loire-Auvergne du Grand Est

La zone Grand Est recouvre 30 départements et est divisée en quatre centres régionaux qui sont la Bourgogne Champagne-Ardenne (en orange sur l'Annexe 1), l'Alsace Lorraine Franche-Comté (en vert sur l'Annexe 1), Lyon Rhône Loire Auvergne (en bleu sur l'Annexe 1) et l'Arc Alpin Jura (en rouge sur l'Annexe 1). Le Centre Lyon-Rhône-Loire-Auvergne, dirigé par Arnaud PENVERNE, est composé du Centre Rhône-Loire-Auvergne (RLA) et de l'Eau du Grand Lyon (EGL) entièrement dédié à la ville de Lyon.

Le stage de fin d'étude concerné dans ce mémoire a eu lieu au Service d'Aide à l'Exploitation (SAE) (ou Service Ingénierie) du Centre RLA localisé à Villefranche-sur-Saône. Ce service support, dirigé par Laurent Ludovic, travaille sur plusieurs problématiques :

- Le Système d'Information Géographique (SIG) : son développement pour la gestion patrimoniale du réseau et le respect du décret dit « T-DICT » de la loi Grenelle 2 mis en application depuis le 1er Juillet 2012
- La qualité Produit Eau Assainissement : notamment l'application du nouvel arrêté relatif aux systèmes d'assainissement du 21 Juillet 2015 et la présentation de tableaux synthétiques des

indicateurs qualité eau et assainissement

- Les investissements : l'élaboration budgétaire des chantiers, la mise à jour des inventaires patrimoniaux, la clôture comptable des investissements et la consolidation des investissements
- Les sinistres : leur gestion jusqu'à l'indemnisation des sinistrés
- Les Rapports Annuels du Délégataire (RAD)
- L'énergie : l'établissement d'un plan d'actions pour optimiser la consommation énergétique des équipements énergivores et la collecte des données d'énergie facturée sur tous les contrats du centre
- Le relais local de gestion des véhicules et de la téléphonie

Le SAE se charge aussi des Études Projets, du diagnostic réseau sur GesCIRA, du recensement des volumes mensuels et de la télégestion.

1.2. Contexte globale de l'étude

Dans un contexte de sensibilisation croissante à l'environnement, l'Organisation Internationale de Normalisation a publié la norme ISO 50 001 le 15 Juin 2011 [1]. Elle préconise la performance énergétique au sein des entreprises et vise à son amélioration en proposant des plans de développement de gestion méthodique de l'énergie. La certification ISO 50 001 a été obtenue par Veolia en Novembre 2015 [2]. Depuis, une politique énergétique à l'échelle nationale a été mise en place et la performance énergétique est devenue un objectif principal dans la maîtrise opérationnelle, mais aussi dans la conception des ouvrages, dans l'achat des produits, des services et d'énergie. Cette politique d'optimisation énergétique est d'autant plus importante que malgré le développement de technologies de réduction des consommations énergétiques et la mise en place de dispositif de régulation automatique, les consommations électriques sont à la hausse dans les stations d'épuration françaises. Cela est effectivement dû à des contraintes olfactives et sonores renforcées, ainsi qu'à une méthode dimensionnement des stations qui encourage le surdimensionnement et engendre des situations fréquentes de sous-charges qui induisent des surconsommations électriques [3]. Par ailleurs, l'arrêté du 21 Juillet 2015, relatif aux systèmes d'assainissement recevant des charges de plus de 120 kg DBO_5/j, préconise le diagnostic permanent des systèmes pour une connaissance accrue et un suivi en continu du fonctionnement de ces derniers [4]. Dans le cadre de cette certification et de la contrainte réglementaire, Veolia est poussé à réaliser des études de diagnostics hydraulique et énergétique de ces systèmes de collecte et de traitement. Pour cela, des outils d'aide à la décision et plus précisément des outils de diagnostic ont été développés et mis en place sur certains contrats.

L'étude réalisée dans le cadre de ce travail de fin d'études a alors pour objectif l'utilisation de ces outils diagnostiques pour établir le diagnostic d'une station d'épuration des eaux usées qui inclut une analyse de son fonctionnement à l'aide de l'outil de modélisation énergétique et la proposition de recommandations pour une meilleure performance énergétique de la station. Dans cette étude, il est important de souligner que le diagnostic hydraulique se place non seulement dans l'objectif de conformité réglementaire et contractuelle mais aussi dans l'objectif de recherche de performance énergétique au niveau du système de traitement.

1.3. Objets d'étude et description générale de la Station des Bords de Saône

1.3.1. Les contrats du Centre RLA étudiés dans le cadre du stage de fin d'études

Dans le cadre de cette étude, six contrats différents ont été étudiés (cf. Annexe 2). Le diagnostic énergétique a pour objet la station d'épuration (UDEP), dit des Bords de Saône, de la Communauté de Communes Dombes Saône Vallée (CCDSV). Le diagnostic hydraulique porte sur le réseau d'assainissement associé à la station. Cependant, ce dernier n'a pu être mené à bout car au gré des engagements contractuels de Veolia, les outils utilisés pour le diagnostic hydraulique et pour le diagnostic énergétique ne sont utilisés que partiellement sur les contrats gérés par Veolia. Ainsi, au stade actuel, il est difficile de présenter une continuité sur un unique système d'assainissement ; l'important étant d'avancer sur l'utilisation de ces outils qui deviendront sans doute incontournables si l'on veut répondre aux exigences réglementaires de l'arrêté du 21 Juillet 2015 sur les réseaux de collecte d'eaux usées [4] et normatives (ISO 50 001 sur les usines) [1]. En conséquence, l'étude hydraulique a été partiellement réalisée sur le réseau de la CCDSV et complètement réalisée sur quatre autres contrats qui sont ceux du réseau d'assainissement de la ville de Mâcon, du Grand Projet, d'Andrézieux-Bouthéon, et du Syndicat des Trois Ponts. Dans le cadre de ces quatre contrats, Veolia s'est engagée contractuellement a livré tous les ans un diagnostic hydraulique aux collectivités. Ils seront succinctement évoqués dans ce rapport en guise d'exemples pour le réseau de la CCDSV une fois qu'il sera possible d'établir un diagnostic hydraulique complet sur ce dernier.

1.3.2. Caractérisation du système d'assainissement étudié

1.3.2.1. Cadre administratif

La CCDSV est une intercommunalité regroupant 19 communes. L'étude porte sur les communes de Saint-Bernard, Trévoux, Reyrieux, Parcieux et Massieux (cf. Annexe 3). La communauté de communes y possède la compétence assainissement collectif et non collectif, mais la gestion du système de collecte et de traitement a été déléguée à Veolia en 2015.

1.3.2.2. Système de collecte

Le réseau d'assainissement des cinq communes, d'un linéaire total de 110 km environ, est depuis 2015 raccordé à une unique station qui est la Station des Bords Saône située à Massieux. Avant cette date, les eaux de Saint-Bernard et Trévoux (SBT) étaient traitées dans la station de Trévoux et les eaux de Reyrieux, Parcieux et Massieux (RPM) étaient traitées à l'ancienne station située à Massieux. Les réseaux du RPM sont strictement gravitaires et séparatifs tandis que les réseaux de SBT sont partiellement séparatifs. Il faut souligner la présence de trois zones industrielles qui sont celle de Trévoux, Parcieux et Massieux ce qui indique la présence d'eaux industrielles (cf. Annexe 3).

Des études diagnostiques du réseau d'assainissement ont été effectuées dans le cadre de l'établissement du schéma directeur d'assainissement [5]. Des campagnes d'inspections télévisées et des tests au fumigène ont été initiés par la collectivité et le bureau d'étude en charge du schéma directeur. Par ailleurs, une étude des eaux claires parasites permanentes (ECPP) par sectorisation nocturne a été entreprise: elle a mis en évidence la présence d'ECPP de manière non négligeable

dans le réseau. Une quantification de ces volumes est proposée dans le schéma directeur actuellement encore provisoire. Un programme de travaux a ainsi été proposé et est en cours d'application. Le diagnostic hydraulique porté sur ce réseau prendra en compte les résultats issus de ces études ainsi que les travaux prévus d'ici 2031. Ce point sera explicité dans la partie 5.1.2.

1.3.2.3. La station d'épuration des Bords de Saône

- ***Localisation***

La station d'épuration des Bords de Saône a été construite en 2015 par SOGEA et traite les eaux usées provenant des communes de SBT et RPM. Elle est localisée sur le Chemin de Varenne à Massieux, sur le site où l'ancienne station de Massieux se trouvait. A proximité se trouve la Saône et un champ captant de trois puits (à 1,20 km environ à vol d'oiseau au Sud de la station) (cf. Annexe 3).

- ***Caractéristiques nominales de la station***

La station des Bords de Saône a été dimensionnée pour recevoir une charge nominale de 1 622 kgDBO_5/j pour un débit nominal de 5 904 m^3/j, sa capacité nominale est de 27 000 EH. Les charges de références sont présentées dans le Tableau 1 et proviennent du schéma directeur [5].

Tableau 1: Charges de référence de la Station des Bords de Saône

Paramètres	DBO5	DCO	MEST	NTK	Pt
Charges de références (kg/j)	1 622	3 407	2 682	403	106

- ***Niveaux de rejet***

La station rejette ses eaux dans la Saône et doit être conforme aux niveaux de rejet imposés par l'arrêté du 21 Juillet 2015 qui sont présentés en Annexe 4 [4]. La présence du champ captant à proximité renforce les précautions en ce qui concerne la qualité du rejet au niveau bactériologique. Une étape de désinfection aux UV avant le rejet en milieu récepteur permet de veiller au bon état de la source en eau potable (cf. 2.3.7). En outre, dans ce même objectif de préservation, il a été interdit de rejeter au droit de la station.

Selon le manuel d'autosurveillance, les rejets non conformes autorisés en conditions normales de fonctionnement et hors valeurs rédhibitoires sont limités à 2 sur un total de 12 prélèvements par an en conditions normales de fonctionnement et hors valeurs rédhibitoires.

1.4. Méthodologie adoptée pour l'étude

La méthodologie adoptée pour cette étude s'inspire de la Politique France du 28 Janvier 2015 de Veolia pour l'amélioration de la performance énergétique afin « de rationaliser et réduire [les] consommations d'énergie en [s]'appuyant sur les exigences de l'ISO 50 0001 » [3]. Le premier objectif est l'état des lieux global des pratiques et des consommations de la Station des Bords de Saône. Ensuite, l'outil de diagnostic énergétique permet de réaliser une analyse plus approfondie sur les principaux postes qui sont le traitement biologique et le traitement des boues. Les observations et résultats qui en découlent permettent alors de dégager des leviers d'actions pour optimiser la performance énergétique de la station. Pour finir, des pistes d'améliorations sont étudiées et proposées avec des estimations technico-économiques lorsque cela est possible. L'une d'entre elles concerne le diagnostic hydraulique du réseau de collecte.

2. Modélisation énergétique de la STEP

2.1. Méthodologie adoptée pour la modélisation

La modélisation de la station sur le logiciel OCEAN permet d'évaluer son exploitation au cours de l'année 2016. Il s'agit ici d'une modélisation énergétique car l'objectif premier d'OCEAN est l'estimation des consommations énergétiques des postes de traitement dans différentes situations d'exploitation. Dans le cadre de cette étude, l'énergie consommée constitue un indicateur du fonctionnement de la station et une aide à la décision pour définir des voies d'optimisation. Cette première phase de modélisation suit les étapes suivantes :

Etape 1. Création du modèle énergétique sur OCEAN
Etape 2. Détermination des paramètres de calage
Etape 3. Calage du modèle
Etape 4. Validation du modèle par rapport à la consommation énergétique globale du site

2.2. OCEAN : l'outil informatique utilisé pour l'étude énergétique

2.2.1. Généralité sur le logiciel

OCEAN est un outil de modélisation, d'évaluation et d'optimisation de la consommation énergétique des stations d'épuration développé par la Direction Technique de Veolia :

- La modélisation de la station consiste en la création du squelette de la station avec les différents modules de traitement disponibles (cf. 2.2.2), la liaison des différents postes par des flux (eau, boues ou rejets), puis le renseignement des paramètres. Hormis les paramètres fixes de dimensionnement et de caractéristiques d'effluent, il faut décider des paramètres, par exemples biologiques, qu'il faut préciser par les données réelles d'exploitation ou qu'il faut laisser à OCEAN la liberté de calculer. On parlera dans le premier cas de paramètres forcés et dans le second, de paramètres non forcées (cf. 2.2.3 et 2.2.4).
- L'évaluation consiste en l'établissement d'un bilan énergétique. En effet, OCEAN permet de connaître la consommation énergétique journalière totale, de chaque file et de chaque poste de la station. Des indicateurs énergétiques sont aussi calculés. Cela permet d'évaluer les besoins énergétique de la station modélisée.
- L'optimisation consiste en la modification des techniques, des caractéristiques de l'effluent ou encore des paramètres de traitement, puis en l'appréciation de l'évolution de la consommation énergétique par rapport à la situation initiale.

2.2.2. Les modules de traitement modélisables

Pour chaque étape de traitement qu'on peut trouver classiquement dans une station d'épuration, OCEAN propose une ou plusieurs techniques. Notamment pour le traitement secondaire, il est, entre autres, proposé les différents types de traitement à boues activées, mais aussi les techniques à membranes et biofiltre. Pour le traitement des boues, il est possible de modéliser les techniques classiques d'épaississement, de déshydratation, de digestion et d'incinération, ainsi que d'autres techniques utilisées moins fréquemment. Il est possible de comptabiliser les consommations liées à l'éclairage, aux locaux techniques et au bâtiment administratif. Ces deux derniers postes ne sont pas négligeables de par le chauffage ou la

climatisation nécessaire pour le maintien d'une température assurant un bon fonctionnement des équipements et de bonnes conditions de travail pour les exploitants (cf Annexe 5).

2.2.3. Les paramètres à fixer

Les paramètres fixes à renseigner sont les suivants:

- Les caractéristiques nominales de la station (capacité, charges)
- Les caractéristiques de l'effluent à traiter (débit, charge)
- Les caractéristiques de dimensionnement des ouvrages (taille d'ouvrage, entrefer etc.)

2.2.4. Les paramètres "forcés" et "non forcés"

A droite de chaque paramètre, il existe un cadenas (cf. Figure 2). Si l'utilisateur le déverrouille, alors la valeur est forcée et la valeur doit être entrée manuellement. Si l'utilisateur le verrouille, alors lors du calcul, soit le logiciel impose les valeurs de référence qu'il possède dans sa bibliothèque, soit il calcule la valeur inconnue en se basant sur les paramètres qui lui ont été renseignés et en cherchant l'optimum en termes de fonctionnement et de consommation énergétique des postes. Typiquement, dans l'exemple donnée du dégrilleur grossier (cf. Figure 2), les caractéristiques propres à l'équipement sont fixées, sa performance est forcée et provient des données d'exploitation de l'année 2016 (quantité journalière réelle de refus de dégrillage) et enfin, les caractéristiques électriques ne sont pas forcées et déterminées par OCEAN (consommation électrique spécifique par défaut dans OCEAN pour les dégrilleurs grossiers et calcul de la consommation électrique du poste). Il faut souligner que pour ce poste, il n'y a pas lieu à un calcul d'optimisation. Cependant, ce sera le cas au niveau du traitement biologique qui sera vu plus tard dans le calage du modèle (cf. 2.5).

Figure 2: Illustration de valeur forcée et non forcée: exemple d'un dégrillage grossier

Le choix des paramètres à forcer et à ne pas forcer dépend du poste et de l'étape de l'étude dans laquelle on se trouve. Pour le calage du modèle, toutes les valeurs seront forcées excepté les valeurs de consommation électrique spécifique, qui, dans cette étude, seront celles du logiciel OCEAN. Les paramètres de calage seront forcés mais modifiés dans le but ultime de se rapprocher de la consommation électrique réelle de la station.

2.2.5. Limites du logiciel

La première difficulté dans l'utilisation de ce logiciel est qu'il ne présente pas de manuel utilisateur explicitant les algorithmes utilisés pour la résolution des calculs. Il a alors fallu procéder à tâtons pour comprendre la logique d'optimisation derrière le calcul, c'est-à-dire les liens entre paramètres forcés et non forcés. Cependant, ce n'est qu'une compréhension assez globale du fonctionnement du logiciel, pour une utilisation pertinente il aurait fallu connaître les algorithmes.

Par ailleurs, le logiciel est limité au niveau des techniques proposées. Il n'est pas rare de devoir ajouter une consommation énergétique non estimée par OCEAN (ex : laveur de sables mécanique). Il en va de même avec les types de régulation de l'aération qui se borne à quatre choix : régulation sur horloge, régulation avec variateur de fréquence, régulation sans variateur de fréquence et régulation avancé. La véritable limite est que quel que soit le type de régulation sélectionné les paramètres à saisir par la suite concernant l'aération sont les mêmes (cf. Figure 3). Ainsi, OCEAN n'a pas vocation à reproduire de manière précise le fonctionnement des procédés de traitement. Mais alors, l'utilisateur a très peu d'emprise lorsqu'il veut étudier l'influence d'un changement de moyen de régulation de l'aération sur la consommation électrique. En outre, cela revient à la problématique citée précédemment et qui concerne la méconnaissance du fonctionnement profond du logiciel.

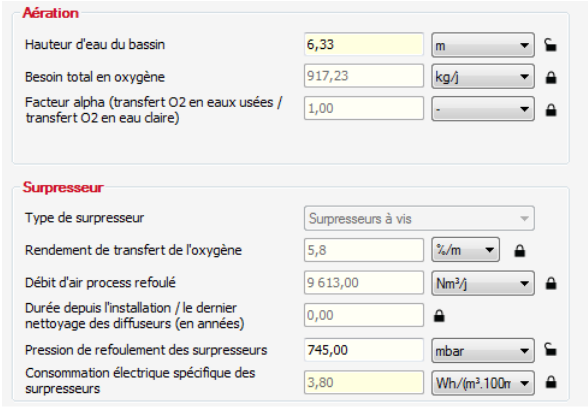


Figure 3: Rubriques concernant l'aération des bassins biologiques sur OCEAN

Une autre limite du logiciel est qu'il ne peut modéliser plusieurs entrées d'eaux brutes comme c'est le cas dans la station étudiée (cf. 2.4). Il faut encore une fois contourner le problème en utilisant un séparateur (module de séparation d'effluent proposé par OCEAN).

2.3. Synoptique de la Station des Bords de Saône

La station des Bords de Saône est une station d'épuration classique avec un prétraitement, un traitement biologique à boues activées en très faible charge[1] (dit aussi à aération prolongée) et une déshydratation mécanique des boues. Ces dernières sont évacuées directement vers un site de compostage[2] après déshydratation et stockage en benne (cf. Annexe 6) [6]. Les principes de base de ce type de traitement sont détaillés dans l'Annexe 7.

2.3.1. File eau

Les ouvrages et équipements composant la file eau sont les suivants :

- Deux entrées distinctes pour RPM et SBT ; les effluents du RPM sont relevés au droit de la station (PR RPM) tandis que les effluents de SBT sont refoulés au niveau de l'ancienne STEP de Trévoux ; les eaux sont mélangées après la chambre de comptage en amont du dégrilleur fin
- Un bassin d'orage sur chaque arrivée avec déversoir d'orage en surverse (au droit de la station pour les arrivées de RPM et à Trévoux pour les eaux de SBT)
- Un dégrilleur automatique grossier pour les eaux de RPM
- Deux dessableur-dégraisseurs aérés et raclés avec bacs de stockage pour les graisses et lavage des sables

[1] Correspond à une charge massique inférieure à 0,1 kgDBO_5/(kgMVS.j) (cf. Annexe 7 pour définition). La biomasse servant au traitement biologique est présente en grande quantité par rapport à la charge à traiter. [7]
[2] Le compostage est une technique de stabilisation, hygiénisation et séchage des boues déshydratées qui sont alors utilisées en épandage agricole. Dans le cas de la Station des Bords de Saône, le site de compostage est localisé à Reyrieux.

- Deux bassins d'aération de forme annulaire équipés de compresseurs à vis pour l'aération pour le traitement de la matière organique, du phosphore et de l'azote par voie biologique. Les bassins possèdent trois zones : une zone d'anoxie de contact entre l'effluent et les boues recirculées, une zone d'anaérobie et une zone de syncopage anoxie/aérée.
- Un traitement physico-chimique du phosphore par injection de chlorure ferrique $FeCl_3$ dans chaque bassin d'aération
- Deux clarificateurs raclés pour l'épaississement des boues
- Deux postes de recirculation des boues vers la zone de contact des bassins d'aération et d'extraction des boues vers la file boue

2.3.2. File boue

Le traitement des boues est réalisé sur deux files comportant chacune une bâche de stockage, une centrifugeuse, et une benne de stockage des boues. Il existe aussi un dispositif de préparation et d'injection de polymère permettant le conditionnement des boues pour une déshydratation facilitée.

2.3.3. Sous-produits de la file eau

Les déchets issus du dégrilleur grossier sont évacués en tant qu'ordures ménagères, ceux des dégrilleurs fins sont récupérés dans une benne après passage dans une presse pour lavage et compactage. Les graisses sont stockées dans des cuves de stockage qui sont vidangées de manière régulière par hydrocureur. Les sables sont traités dans le laveur de sables ou dirigés vers la fosse de matières de curage selon le réglage réalisé par l'exploitant.

2.3.4. Apports extérieurs

Il est prévu dans l'avenir de traiter sur la file eau des apports extérieurs (matières de vidange et produits de curage). Il n'y a aucun apport extérieur sur la file boue.

2.3.5. Poste toutes eaux

Le poste toutes eaux récupère les eaux de process du site et notamment les centrâts issus de la déshydratation des boues. L'injection dans la file eau est effectuée sur l'une ou l'autre file juste en amont des dessableur-dégraisseur.

2.3.6. La désodorisation biologique

Un réseau d'extraction évacue l'air vicié émanant des ouvrages et locaux vers la désodorisation (biolfiltre).

2.3.7. La désinfection UV

La particularité de la Station des Bords de Saône est la présence d'une étape de désinfection UV. Elle permet de garantir une qualité bactériologique de l'eau traitée satisfaisante et adaptée à la présence du champ captant. La puissance émise par les lampes est régulée par rapport au débit.

2.4. Création du modèle

Comme dit précédemment, une limite du logiciel est l'impossibilité de mettre plusieurs entrées d'eaux brutes. Ainsi, pour résoudre cette difficulté une seule entrée a été placée, elle aura les caractéristiques hydrauliques et physico-chimiques qui sont celles de l'entrée dans le système de la station (RPM + SBT), puis un séparateur sera placé pour la distinction entre les deux entrées. La

répartition des flux est de 51% pour RPM et 49% pour SBT. Les eaux de RPM sont dirigées le poste de relèvement et le dégrilleur grossier tandis que les eaux de SBT sont dirigées directement vers un mélangeur qui réunit comme dit précédemment les eaux de SBT et RPM avant le dégrilleur fin. Par ailleurs, il faut souligner qu'en réalité, le poste toutes eaux ne reçoit pas que les centrâts comme modélisé mais aussi toutes les égouttures de la station. Cependant, les moyens offerts par OCEAN contraignent à simplifier ce point (cf. Annexe 8).

2.5.Calage du modèle sur l'année 2016

Le calage d'un modèle se définit comme étant « l'ajustement des valeurs numériques attribués aux paramètres d'un modèle, afin que les valeurs calculées d'une variable ou d'une grandeur soient aussi proches que possible des valeurs observés de cette variable ou de cette grandeur » [8]. Pour cette étude sur le logiciel OCEAN, le calage consiste en l'ajustement des paramètres du traitement biologique et du traitement des boues afin d'avoir une consommation générale en électricité se rapprochant de la consommation générale journalière moyenne de l'année 2016 (cf. 2.5.1.1). Pour un écart à la réalité allant jusqu'à ± 10%[3], le modèle sera supposé calé. Cette incertitude vient du fait que les données utilisées dans ce modèle sont des valeurs moyennes.

Le calage peut être effectué de plusieurs manières différentes, aucune méthode n'a été imposée ou fixée par la structure d'accueil. La méthode finalement employée est issue d'une étude personnelle effectuée sur le logiciel ayant pour but de comprendre les liens établis par le logiciel entre les différents paramètres.

2.5.1. Les données de 2016

2.5.1.1. La consommation électrique mesurée

Le compteur général du site a mesuré sur l'année 2016 une consommation électrique totale de 811 787 kWh, soit une moyenne journalière de 2 218 kWh/j (cf. Annexe 9). Pour un calage plus précis, il aurait été idéal d'avoir des mesures de comptage d'électricité au niveau des différents postes de traitement, ou du moins sur les postes principaux tels que l'aération et la déshydratation.

2.5.1.2. Les paramètres biologiques mesurés en 2016

L'Annexe 10 présente les valeurs moyennes des paramètres du traitement biologique et du traitement des boues présents dans les fichiers d'exploitation de l'année 2016.

2.5.2. Phase 1 du calage : taux de recirculation et $[MES]_{extr}$

La première étape du calage a pour objectif de caler le taux de recirculation (cf. définitions Annexe 7) en modifiant la concentration en Matières En Suspension (MES) des boues extraites ($[MES]_{extr}$). Le taux de recirculation est une donnée fixe tout au long de l'année, ce n'est pas une moyenne. Ainsi, on part de la valeur calculée de $[MES]_{extr}$ présentée dans le Tableau 2 (avant calage phase 1), et la valeur est modifiée jusqu'à ce que le taux de recirculation soit égal à 125%. La valeur de concentration en MES dans les bassins biologiques, noté $[MES]_{BA}$, est arbitrairement fixée à celle mesurée en 2016.

[3] Pourcentage d'écart admissible généralement utilisé par Veolia

Tableau 2: Phase 1 du calage

	$[MES]_{extr}$ (gMES/l)		Taux de recirculation calculé par OCEAN (%)	
	File 1	***File 2***	***File 1***	***File 2***
Avant calage phase 1	6,53	6,53	123%	139%
Après calage phase 2	6,48	6,85	125%	125%

Ainsi, pour avoir un taux de recirculation de 125%, les concentrations des boues extraites pour les files 1 et 2 sont respectivement de 6,48 gMES/l et 6,85 gMES/l, ce qui est légèrement différent de valeurs mesurées mais cohérent (cf. Annexe 10). Pour un ratio mesuré en laboratoire MES/MS de 87%, ces concentrations correspondent à des concentrations en matières sèches (MS) de 7,45 et 7,87 gMS/l.

2.5.3. Phase 2 du calage : quantité journalière de boues extraites et âge de boues

La deuxième étape porte sur le calage de la quantité journalière de boues envoyées en déshydratation par modification de l'âge de boue (cf. Tableau 3). Les valeurs de $[MES]_{BA}$, $[MES]_{extr}$ et de taux de recirculation sont alors maintenues à celle de la première phase de calage.

Tableau 3: Phase 2 du calage

	Âge de boue (j)		Quantité de boues à extraire (kgMES/j)	
	File 1	***File 2***	***File 1***	***File 2***
Avant calage phase 2	33,40	35,07	368	337
Après calage phase 2	32,00	31,00	385	387

Ainsi, pour se rapprocher des quantités moyennes de boues envoyées en déshydratation, les âges de boue ont été modifiés et sont respectivement de 32 et 31 jours, ce qui est légèrement plus faible que calculé par rapport aux données d'exploitation (cf. Annexe 10).

2.5.4. Phase 3 du calage : l'aération

La phase 3 a pour but de caler les besoins en oxygène de la biomasse des bassins biologiques et le débit d'air process injecté pour l'aération en tentant de se rapprocher de la consommation électrique réelle ou théorique de l'aération. Avec les paramètres obtenus après la phase 2 de calage, les besoins en oxygène et le débit d'air calculés et proposés par OCEAN sont plus faibles que la théorie et la réalité (cf. Tableau 4).

Selon les données d'exploitation de 2016, les durées moyennes de fonctionnement des compresseurs des files 1 et 2 sont respectivement de 8,20h/j et 8,1h/j. Le compresseur de secours est commun aux deux files et fonctionne en moyenne 2,1h/j. En supposant que sa durée de fonctionnement sur chaque file est la même, l'aération de la file 1 revient à environ 9,3h/j et celle de la file 2 à 9,2h/j. La fiche technique des compresseurs fournie par le constructeur indique un débit d'air process refoulé de 1 325 Nm^3/h par compresseur. Ainsi, en se basant sur l'exploitation et sur le débit d'air unitaire théorique du constructeur, le débit d'air process total par file est de 12 243 et 12 190 Nm^3/j. Par ailleurs, le calcul du besoin total en oxygène selon la méthode indiqué par le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche [9] (cf. Annexe 11) avec les charges et flux moyens de 2016 indique un besoin de 1 115 kgO_2/j.

En outre, il est intéressant de comparer la consommation électrique, $C_{élec}$, due à l'aération qui peut être calculée selon la formule suivante :

$$C_{élec}(kWh/j) = d\ (h/j) * P(kW)$$

Avec :

- d la durée de fonctionnement des compresseurs à vis
- P la puissance électrique qui peut être
  - soit la puissance électrique mesurée aux bornes de l'une des deux armoires électriques de l'aération dans le cadre de la campagne de mesures de sous-comptage (P_{moy}=29 kW pour deux compresseurs en marche)
  - soit la puissance installée indiquée par le constructeur (P_{inst} = 37 kW)

Le Tableau 4 montre alors qu'OCEAN propose un besoin journalier en dioxygène O_2 et un débit d'air process plus faibles que la théorie. Par ailleurs, étant donné que la mesure de sous-comptage a été faite sur une très courte durée (15 min), la puissance moyenne mesurée n'est sûrement pas représentative de la réalité ; d'autant plus que comme les compresseurs ne disposent pas de variateurs de fréquence, les débits d'air devraient être fixés aux valeurs de la théorie. Ces observations poussent alors à caler les paramètres de l'aération pour avoir une consommation se rapprochant plutôt de celle calculée à partir de la puissance installée et non pas de la puissance mesurée.

Ainsi, les débits d'air process sont tout d'abord fixés à ceux de la théorie. Les besoins en O_2 proposés par OCEAN sont plus faibles que la théorie mais dans cette phase de calage, cela peut être omis car ce paramètre n'a plus d'impact sur la consommation électrique une fois que le débit d'air process est imposé au logiciel ; il sera tout de fois intéressant de revenir là-dessus dans l'étape de diagnostic du fonctionnement de l'aération (cf. 3.2.2). Les consommations électriques modélisées concordent alors assez bien avec ceux calculés à partir de la puissance installée.

Tableau 4: Comparaison des paramètres de l'aération théoriques/réels et calculés par OCEAN

	Théorie/Réel			**Calculé par OCEAN après phase 2**		**Calage du modèle OCEAN / Phase 3**	
	File 1	***File 2***		***File 1***	***File 2***	***File 1***	***File 2***
Besoin en O_2 (kgO_2/j)	1 114			859	897	820	857
Débit d'air process injecté au total (Nm^3/j)	12 243	12 190		9 449,54	9 861,72	12 243	12 190
Consommation électrique de l'aération par file (kWh/j)		**File 1**	**File 2**	268	279	347	345
	Mesure de sous-comptage ponctuelle (P_{moy}=29 kW pour deux compresseurs en marche)	135	135				
	Calculée à partir de la puissance installée (P=37kW par compresseur)	342	340				

2.5.5. Bilan après la phase 3 du calage

La synthèse fournie par OCEAN après ces trois phases de calage (cf. Annexes 12 et 13) indique qu'il y a un écart de 2% entre la consommation générale modélisée (2 263 kWh/j) et celle mesurée en 2016 (2 218 kWh/j), ce qui est tout à fait satisfaisant étant donné que le calage et le calcul ont été effectués intégralement avec des valeurs moyennes. Le modèle est de ce fait considéré comme calé.

2.6. Répartition des consommations électriques de la station

Selon la modélisation sur OCEAN de la station, la file eau représente 81% de la consommation énergétique totale, la file boue seulement 9%, la file de traitement des odeurs 7% et les utilités 3%. Le graphe présenté sur la Figure 4 montre que les quatre postes les plus énergivores sont :

- Le traitement secondaire avec l'aération des bassins biologiques (57,40%)
- La désinfection UV qui fonctionne de manière continue (10,61%)
- Les relèvements comprenant le poste de relèvement des eaux brutes, celui des eaux traitées et le poste toutes eaux (10,21%)
- La déshydratation composée de deux centrifugeuses (8,25%)

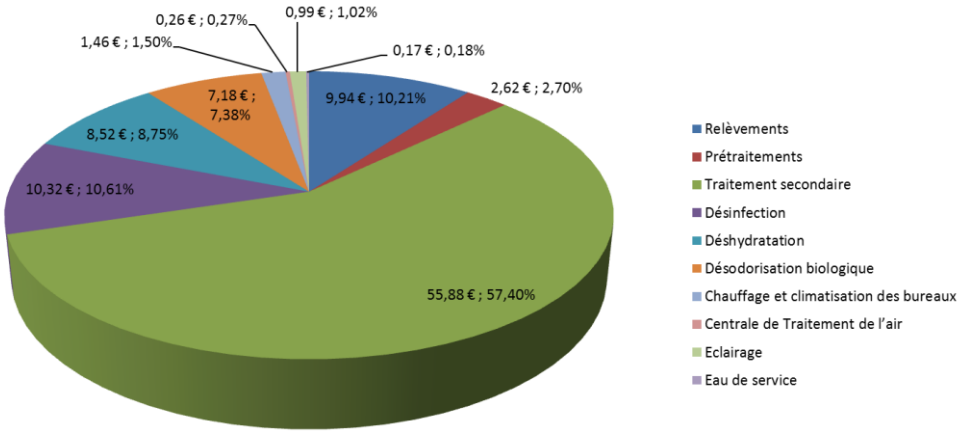


Figure 4: Répartition journalière des consommations et coûts électriques entre les différents postes

Cette répartition des consommations est cohérente avec les observations faites de manière générale sur ce genre de station d'épuration [10].

Ce premier diagnostic énergétique obtenu grâce à la modélisation sur OCEAN de la Station des Bords de Saône permettra par la suite de déterminer ce que Veolia appelle dans sa politique de performance énergétique les Usages Energétiques Significatifs (UES). Ce sont les postes de traitement des stations qui seront ciblés par les projets d'optimisation énergétique. La significativité est mesurée par un nombre de point accordé selon le poids du poste dans la consommation énergétique totale de la station et selon le potentiel d'amélioration en termes d'optimisation du fonctionnement et d'amélioration technologique. « Un usage énergétique est considéré comme significatif si sa note est supérieure ou égale à 16 » [2]. Ainsi, la synthèse des consommations obtenue par la modélisation répond à la première partie de la définition donnée. Pour procéder à l'évaluation du potentiel d'amélioration, un diagnostic du fonctionnement doit être réalisé, c'est l'objectif de la suite de l'étude. Toutefois, les moyens pour ce travail d'étude préliminaire étant limités, il ne sera pas possible de déterminer les UES comme une véritable étude énergétique pratiquée par Veolia aurait pour but de faire. Il s'agira plutôt de définir des leviers d'actions.

3. Etude diagnostique de la Station des Bords de Saône

3.1. Analyse globale du fonctionnement de la station

3.1.1. Charges et débits reçus en 2016

La confrontation des flux et charges reçues en 2016 par la station aux valeurs constructeurs de dimensionnement est intéressante car elle permet de voir globalement quelles sont les différentes situations d'exploitation de la station. Le Tableau 5 montre alors qu'en termes de charges, les valeurs de référence ne sont jamais dépassées même lors des jours de pics de charge. Toutefois, le débit journalier nominal est dépassé à plusieurs reprises au cours de l'année (43 fois au total) avec un débit journalier maximal reçu de 107 025 m^3/h atteint le 23/04/2016. Ces dépassements ont lieu en périodes de crue de la Saône pendant lesquelles les eaux pluviales provenant des réseaux unitaires augmentent et les eaux de la Saône s'introduisent dans le réseau en tête de station au niveau du déversoir dû à un défaut de construction (absence de clapet). D'ailleurs, le centile 95 des débits entrants s'élevant à 8 052 m^3/j soutient cette observation. Toutefois, les débits horaires nominaux provenant du SBT et du RPM étant respectivement de 270 et 240m^3/h (total de 510 m^3/h soit 12 240m^3/j), il n'est pas impossible ou absurde que la station ait des débits supérieurs à 5 904 m^3/j en période de fortes pluies. Ces jours de dépassement du débit journalier nominal ont été conservés pour la suite de l'étude.

Tableau 5: Flux et charges reçues en 2016 par la Station des Bords de Saône ; rappel des valeurs nominales

	DBO_5 ($kgDBO_5/j$)	DCO (kgDCO/j)	MES (kgMES/j)	NTK (kgN/j)	Pt (kgP/j)	Débit entrant journalier (m^3/j)
Nominale	1 622	3 407	2 682	403	106	5 904
Moyenne (2016)	581	1 662	1 035	200	22	4193
Maximale (2016)	817	2 487	1 523	214	36	10 574
Minimale (2016	355	963	487	157	12	1 717

3.1.2. Analyse des conformités de rejets

L'analyse de la conformité des rejets de la station est importante car le respect des exigences réglementaires est le premier objectif d'une station de traitement des eaux usées. Elle permet d'attester de la capacité de la station à remplir son rôle épuratoire. L'Annexe 14 montre les pourcentages de dépassement sur les échantillons mesurés. Des dépassements en DCO, NK et de P_t sont observés respectivement sur 29%, 25% et 8% des échantillons. Cette analyse permet donc de dire qu'il arrive que la station ne soit pas conforme aux exigences réglementaires. Cependant, du fait du faible nombre d'échantillons étudiés, il est difficile de dire que les observations faites sont représentatives d'une année complète de fonctionnement de la station.

3.1.3. Consommation électrique

Le contrat EDF de la station des Bords de Saône est un contrat régulé type A5LU (tarif vert longue utilisation) avec une puissance souscrite de 320 kW quel que soit les tranches horaires (cf. Annexe 15).

Comme le contrat n'a été conclu qu'en Février 2017, les données de puissances atteintes ne sont disponibles qu'à partir de cette date. En Mars 2017 (cf. Figure 5), les puissances moyennes,

minimales et maximales horaires ne dépassent jamais la puissance souscrite de 320 kW. Le maximum horaire s'élève à 240 kW. Les mêmes observations peuvent être faites pour le mois d'Avril 2017 (cf. Figure 6) avec un maximum horaire de 244 kW.

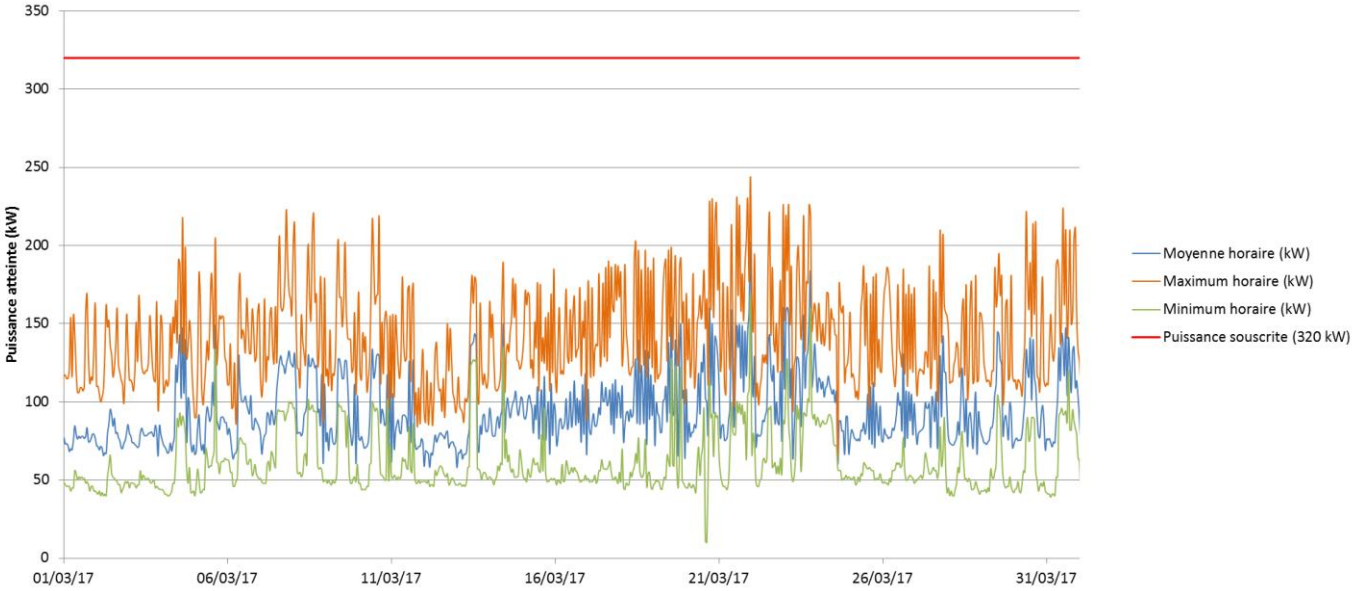


Figure 5: Puissances atteintes en Mars 2017 à la Station des Bords de Saône

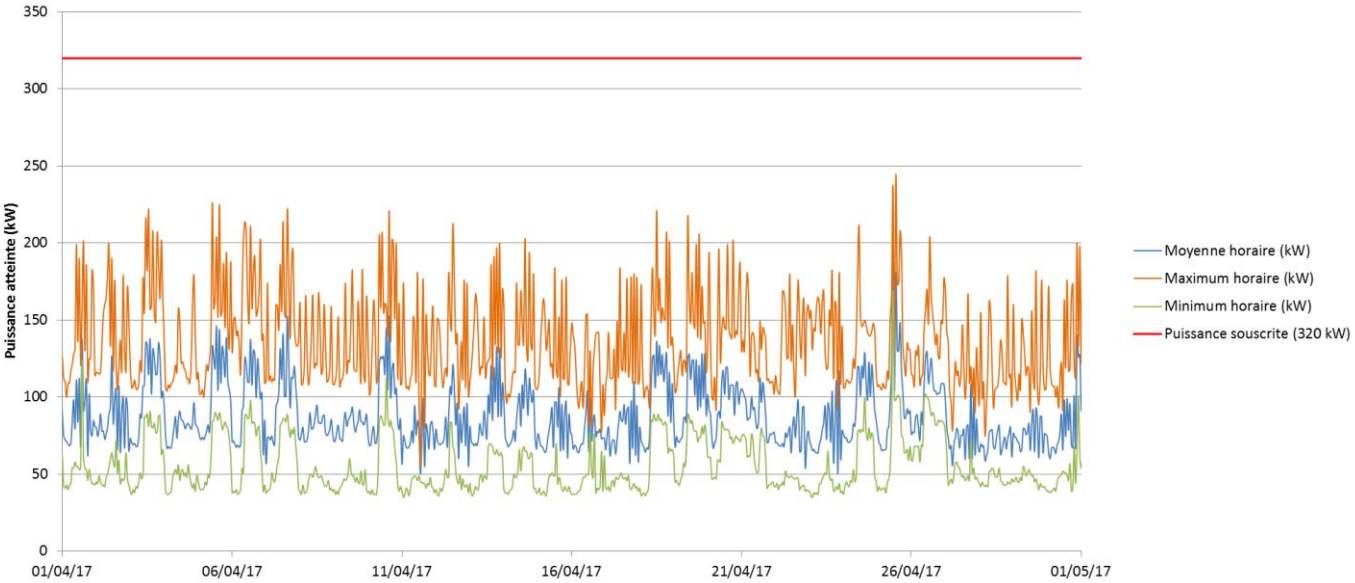


Figure 6: Puissances atteintes en Avril 2017 à la Station des Bords de Saône

Les profils hebdomadaires des mois de Mars et d'Avril (cf. Annexe 16) indiquent que la puissance atteinte par la station suit une certaine tendance journalière avec de faibles valeurs pendant la nuit et une augmentation pendant la journée; une pointe de consommation apparaissant souvent en milieu de journée. En outre, la répartition cumulée des puissances atteintes en Mars 2017 (cf. Figure 7) soulignent que pendant 50% du temps la puissance est inférieure à 100 kW.

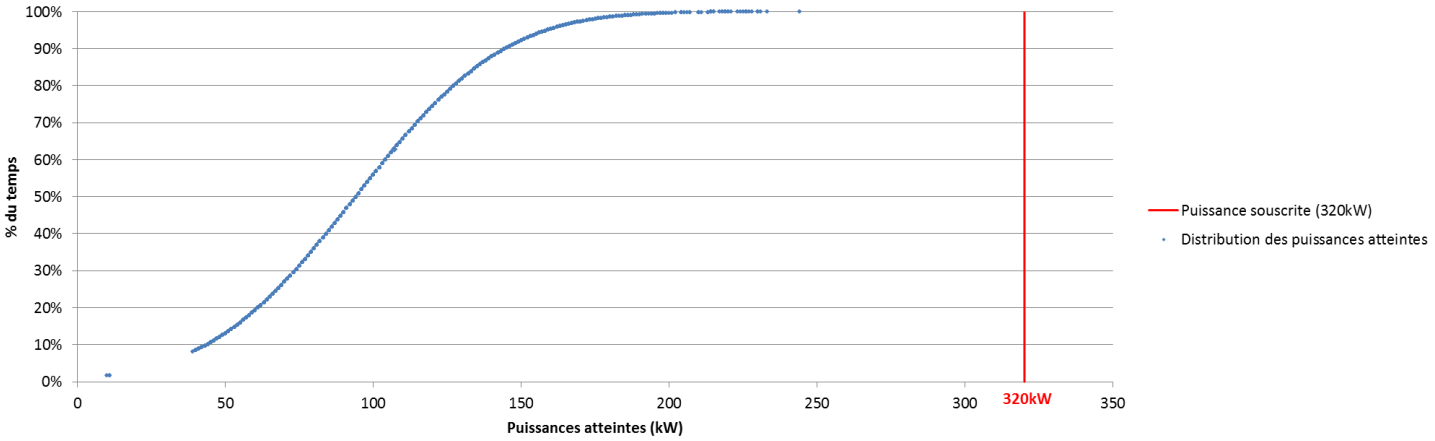


Figure 7: Répartition cumulée des puissances atteintes en Mars 2017

Ainsi, il est clair que la puissance souscrite est suffisante pour le site vu les mois de Mars et d'Avril. Cependant, elle semble inadaptée car elle est trop élevée. La puissance n'atteint jamais les 320 kW souscrits. Cela engendre des coûts liés à l'abonnement qui sont plus élevés qu'ils ne pourraient l'être. On voit ici une voie d'amélioration pour diminuer les coûts liés au contrat de fourniture d'électricité [11]. Une proposition de recalage de la puissance souscrite sera faite en partie 4.2.

3.1.4. Indicateur de performances et comparaison avec d'autres stations similaires

3.1.4.1. Variation du débit et des charges reçues

Au vue de la courbe d'évolution des volumes mensuels en entrée de traitement en 2016 (cf. Figure 8), il semble y avoir une variation saisonnière :

- Augmentation des débits entre Avril et Juin, périodes de crues fréquentes
- Baisse des débits pendant les trois principaux mois (juillet, août, septembre) de la période classique d'étiage
- Augmentation des débits en octobre/novembre, période de pluies fréquentes

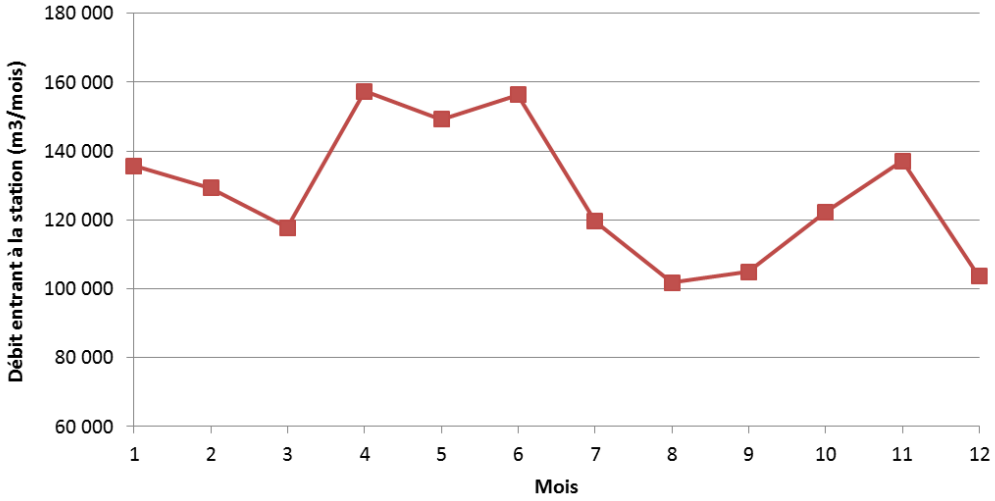


Figure 8: Évolution 2016 du débit en entrée de traitement

D'ailleurs, cette constatation est complétée par les deux indicateurs présentés sur les Figures 9 et 10 concernant les charges en DCO et DBO éliminées tous les mois. Il y a effectivement une hausse des charges en Mai et Novembre qui traduit une augmentation des volumes d'eaux usées strictes et industrielles. Cependant, pour les mois de Mars et d'Avril, les observations sont opposées à celles faites sur les volumes : il y a un pic de charges en Mars pour un volume traité faible et les charges les plus faibles de l'année sont en Avril avec le volume d'eau le plus élevé de l'année. Ainsi, le mois de Mars est caractérisé par des eaux particulièrement chargées et le mois d'avril par une dilution importante des eaux usées par les eaux claires parasites (ECP).

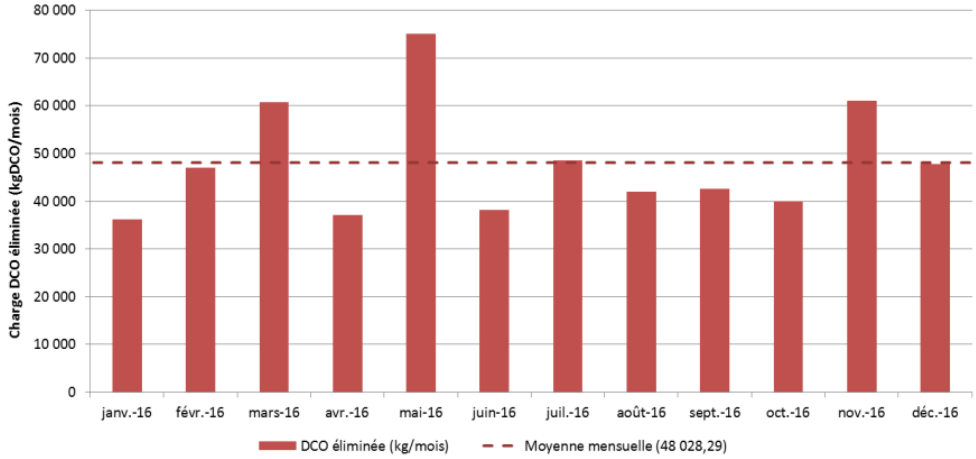


Figure 9: Charge DCO éliminée tous les mois en 2016

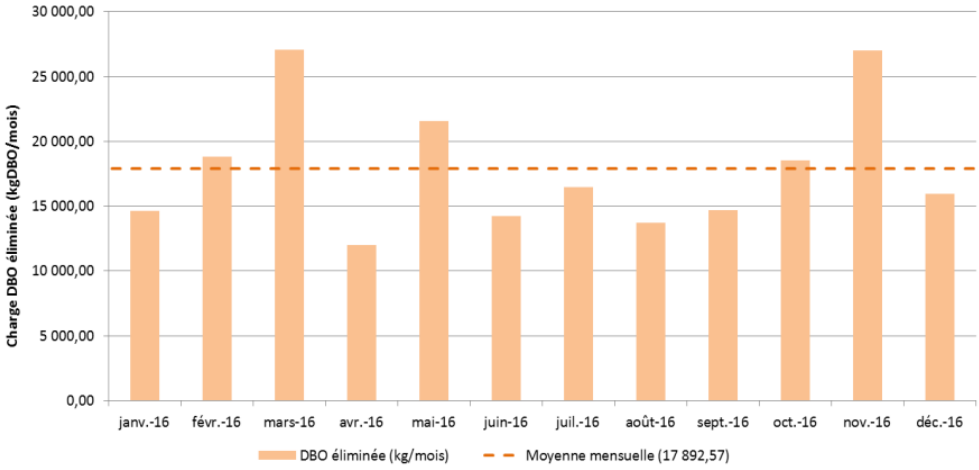


Figure 10: Charge DBO éliminée tous les mois en 2016

3.1.4.2. Indicateurs provenant du benchmark et comparaison avec d'autres UDEP

En Juin 2015, Veolia Eau France met en place un benchmark technique des STEPs de toute la France de capacité supérieure à 2 000 EH [12]. Il se base sur des indicateurs pertinents établis à partir des données d'exploitation et constitue une référence utile à tous les acteurs impliqués dans les STEP. Les différentes usines sont comparées entre elles selon les différents indicateurs retenus et leur permettent de se fixer des objectifs réalistes, raisonnés et de proposer des plans d'actions. Les indicateurs actuellement disponibles et retenus pour le benchmark seront utilisés dans le cas de la

station des Bords de Saône pour établir une évaluation relativement globale du fonctionnement en 2016. Ils sont les suivants :

- kWh / kgDCO traitée
- kg de boue produite en MS / kgDBO traitée
- kg de polymère de déshydratation / kgMS produite
- Taux de charge usine ($DBO_{traitée}$ / $DBO_{nominale}$)
- Siccité des boues envoyées en compostage ou épandage

Le benchmark code les stations recensées et les répartit en 11 regroupements selon les techniques de traitement de l'eau et la complexité du traitement des boues. Puis, au sein de chaque regroupement, la distinction est faite suivant la capacité nominale en équivalent-habitant (EH). Ainsi, la station des Bords de Saône, qui ne fait pas partie du benchmark puisqu'elle date de 2015-2016, appartient au Regroupement 1 CAPA 4 car elle possède une filière boues activées sans décantation primaire et une évacuation directe des boues après déshydratation, et elle est d'une capacité nominale comprise entre 10 000 et 50 000 EH. Dans ce sens, trois stations de même catégorie ont été retenues pour établir une comparaison pertinente. Il s'agit des UDEP de Montmélian, de Rumilly et du SIZOV sous la délégation du Centre Arc Alpin. Leurs caractéristiques nominales sont présentées dans le Tableau 6. Pour rappel, la charge en DBO_5 nominale et la capacité nominale de la Station des Bords de Saône sont de 1 622 $kgDBO_5/j$ et 27 000 EH respectivement.

Tableau 6: Caractéristiques nominales des stations du Centre Arc Alpin utilisées pour une comparaison relative

Station	Charge nominale ($kgDBO_5/j$)	Capacité nominale (EH)	Comparaison avec la station de Massieux (%)
UDEP SIZOV	1 200	20 000	+26%
UDEP MONTEMELIAN	1 918	31 967	-18%
UDEP RUMILLY	2 100	35 000	-30%

Le premier ratio « kWh/kgDCO éliminée » présenté sur la Figure 11 traduit la performance d'aération des bassins biologiques. Il montre tout d'abord qu'il y a une grande variabilité du ratio qui ne semble pas suivre les variations observées sur la Figure 9. Cela va de même pour le ratio « kWh/kgDBO éliminée » (cf. Figure 10 et Figure 12). Ainsi, il semble que des facteurs autres que celui de la charge de l'effluent et du volume entrant influent sur la consommation énergétique. Ces facteurs impactent le traitement biologique, poste le plus énergivore selon le bilan énergétique réalisé auparavant (cf. 2.5.5), et plus précisément l'aération. Il s'agit probablement de la température. Effectivement, la température de l'air va jouer sur la vitesse de nitrification[4], réaction qui nécessite de l'oxygène [8]: le taux de croissance des bactéries nitrifiantes va diminuer avec la température, ainsi selon la température, le temps d'aération nécessaire pour assurer une nitrification complète va varier. Par ailleurs, si on compare la station des Bords de Saône aux stations du centre Arc Alpin, alors on peut dire que la station fonctionne de manière assez cohérente du point de vue de ce premier indicateur. Elle se rapproche tout particulièrement de l'UDEP du SIZOV.

[4] La nitrification se fait en zone aérée du BA et est la réaction de transformation des ions ammoniums en nitrites (cf. Annexe 7)

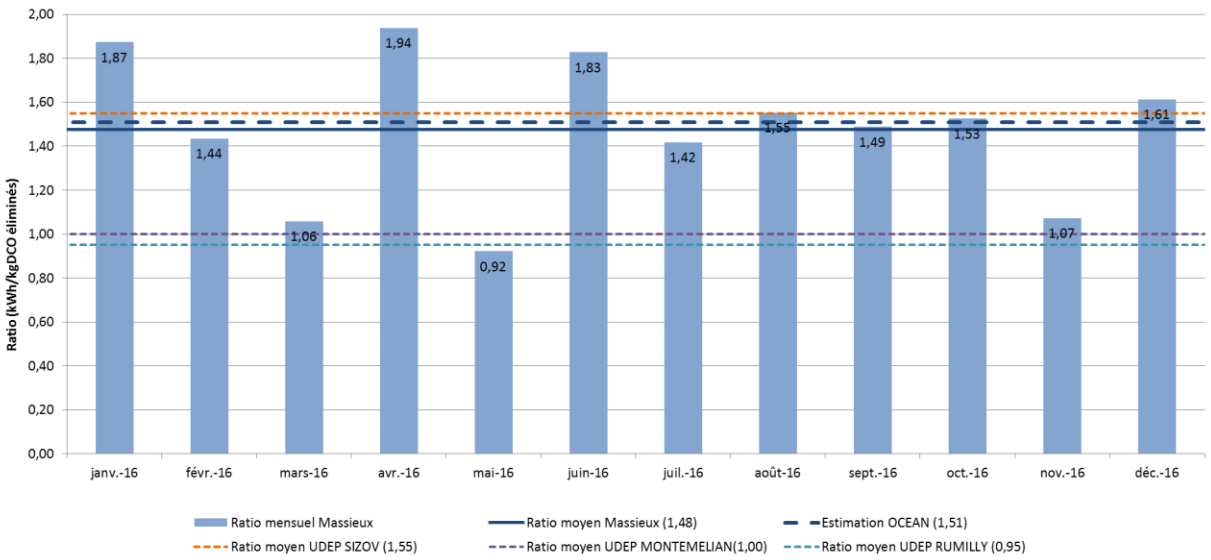


Figure 11: Indicateur - Ratio kWh/kg DCO éliminée

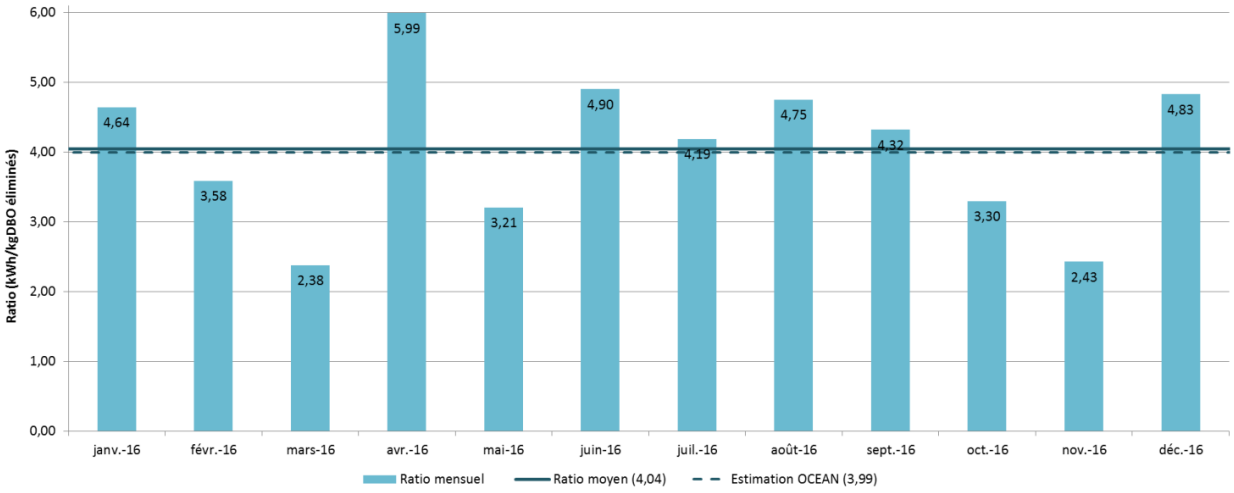


Figure 12: Indicateur - Ratio kWh/kgDBO éliminée

Le deuxième indicateur, le ratio « kgMS produites/kgDBO éliminée » (cf. Figure 13), varie autour de la moyenne annuelle avec un écart type de 0,55 kgMS produites/kgDBO éliminée. Si on compare avec la Figure 10, alors il est notable que, généralement, lorsque d'un mois à l'autre la charge éliminée diminue, alors le ratio « kgMS produites/kgDBO éliminée » augmente (par exemple entre Mars et Avril). De même lorsque que la charge éliminée augmente, le ratio diminue (par exemple entre Février et Mars). Cela signifie que la quantité de boues produites est relativement constante d'un mois à l'autre, cela veut alors dire que le débit d'extraction des boues mais aussi le débit de recirculation sont aussi relativement constants. Finalement, cela revient à constater que l'âge des boues dans les bassins d'aération a été maintenu à une valeur relativement stable (33j environ). Par ailleurs, la comparaison avec les stations de référence montre que la station des Bords de Saône se situe entre l'UDEP de Rumilly et l'UDEP de Montmélian. Cela reste cohérent même si précédemment la station se rapprochait plus de l'UDEP du SIZOV.

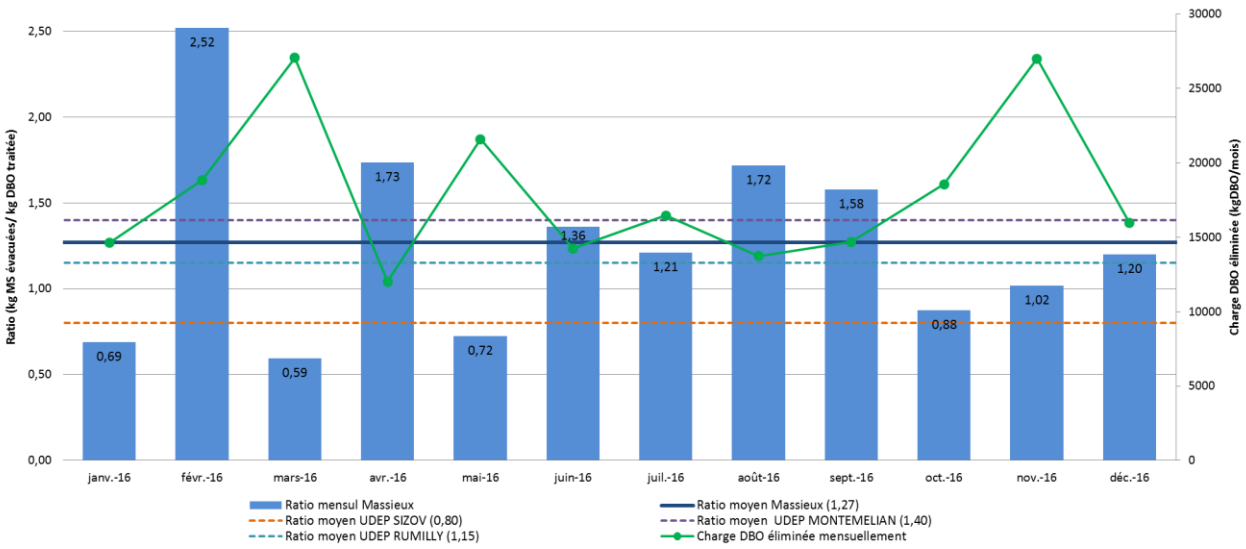


Figure 13: Indicateur - Ratio kg MS /kg DBO éliminée

Le Tableau 7 compare la moyenne de consommation en polymère par tonne de MS à la station des Bords de Saône en 2016 et celles calculées sur quatre ans des stations de référence : ce troisième indicateur souligne que l'injection de polymère pour la déshydratation des boues est conforme aux pratiques sur les autres stations de la zone.

Tableau 7: Indicateur - Ratio de la consommation de polymère par tonne de MS

Station	Taux de polymère utilisé pour le traitement des boues (kg polymère/tMS)				Moyenne (kg polymère/tMS)
	2011	2012	2013	2014	
UDEP SIZOV	17,5	31	28	27,5	26,0
UDEP MONTEMELIAN	35,5	39,5	29	27,5	32,9
UDEP RUMILLY	27,5	37,5	32,5	32,5	32,5
Station des Bords de Saône (2016)	27,0				27,0

En termes de taux de charge, les stations de référence sont en moyenne entre 30 et 40% de remplissage. La moyenne est de 41% pour la station étudiée avec un taux de charge mesuré minimal de 22% et maximal de 50% (cf. Annexe 17). Il serait intéressant de disposer des taux de charge minimal et maximal des stations de référence pour procéder à une comparaison plus complète, cependant la valeur de la moyenne permet déjà de dire que la station fonctionne de manière « normale ». Il est à noter qu'il est plus intéressant de travailler à taux de charge élevé car cela permet d'éviter les fonctionnements en sous charge de la station provoquant des surconsommations d'énergie [3]. Ce point sera développé comme axe d'optimisation par la suite.

Le dernier indicateur proposé par le benchmark est la siccité moyenne des boues envoyées en compostage ou épandage. Le pilotage de l'étape de déshydratation est actuellement réalisé de façon à obtenir une siccité avoisinant les 22%. Effectivement, les siccités maximale et minimale mesurées en 2016 sont respectivement de 24 et 20%. La moyenne de 22% est conforme aux objectifs de l'exploitant cependant en comparaison avec les UDEP du SIZOV et de RUMILLY, elle est plus faible (cf. Annexe 17). Cela ne veut pas dire que la déshydratation est mal effectuée car la siccité ciblée est souvent liée au dimensionnement de la station et aux observations réalisées au cours du temps par

l'exploitant.

Le benchmark ne propose pas l'indicateur kWh/m^3 d'eaux brutes (cf. Figure 14), cependant il est intéressant d'observer que plus le volume reçu est faible et plus le ratio kWh/m^3 est élevé. Cela traduit la nécessité de faire appel à un minimum d'équipement peu importe les volumes à traiter pour maintenir le bon fonctionnement de la station. Cela rejoint alors la remarque faite dans l'étude du taux de charge qui est que les conditions de sous charges engendrent des surconsommations énergétiques.

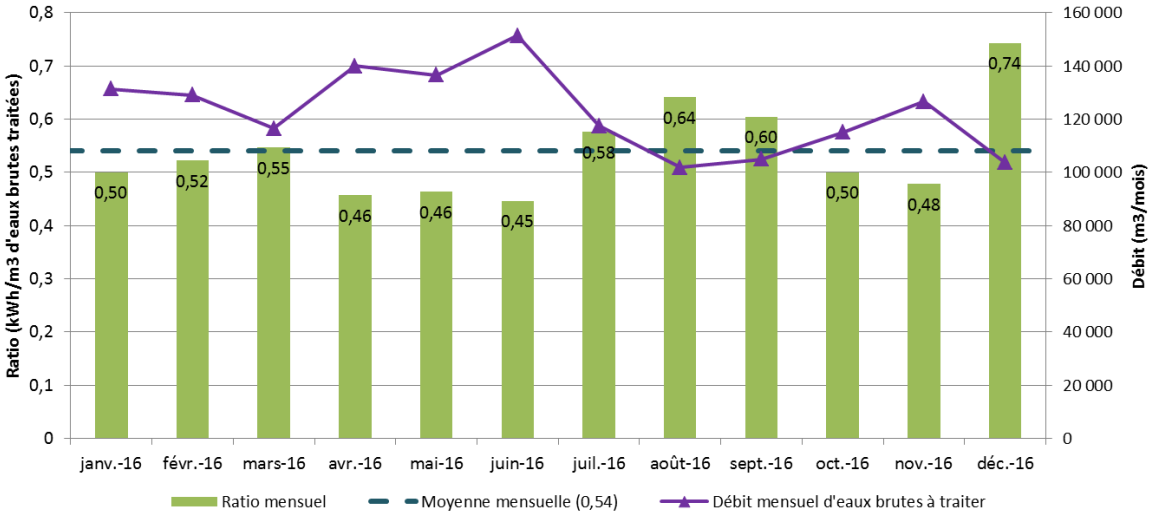


Figure 14: Ratio kWh/m^3 d'eaux brutes

3.1.5. Comparaison avec les garanties du constructeur

L'acte d'engagement fourni avec le Dossier de Consultation des Entreprises en Juillet 2013 indique les consommations électriques à capacité nominale. Comme il n'y a pas de sous-compteur sur le site étudié, il n'est pas possible sans modélisation énergétique de comparer les consommations annuelles proposées par le constructeur et les consommations « réelles » des différents postes de traitement. Toutefois, il est possible de faire cette comparaison sur trois ratios. Le Tableau 8 montre alors qu'en 2016, la consommation électrique n'a pas été satisfaisante sur deux ratios : le ratio kWh/kgNGL traitée est légèrement plus élevé que ce qui peut être acceptable, cependant le ratio kWh/kgDBO$_5$ traitée est deux fois plus élevé que la garantie. Cela veut dire qu'il y a une surconsommation d'électricité dans la situation d'exploitation de la station qui est celle d'aujourd'hui en termes d'abattement des charges. En outre, il n'y a normalement aucune raison pour que ces garanties soient dépassées puisque l'analyse des flux et charges précédemment effectuée montrait qu'il n'y a pas de dépassement des capacités de la station. Le ratio kWh/m^3 d'eau traitée est quant à lui satisfaisant.

Tableau 8: Comparaison de ratios électriques mesurés en 2016 avec ceux garantis par le constructeur

Ratio	Garanties constructeur	Valeurs moyennes sur 2016
Ratio kWh/m^3 traité	0,70	0,56
Ratio kWh/kgDBO$_5$ traité	2,28	4,04
Ratio kWh/kgNGL traité	10,87	13,02

3.1.6. Bilan sur l'analyse globale du fonctionnement de la station

En conclusion de cette analyse globale du fonctionnement de la station basée essentiellement sur des ratios indicateurs de la performance, la Station des Bords de Saône est exploitée de manière cohérente avec ce qui est classiquement pratiqué sur des stations de même catégorie. Les paramètres biologiques semblent avoir été maintenus constants au cours de l'année malgré la variation des flux et charges entrantes. Ces derniers sont adaptés aux caractéristiques de dimensionnement de la station et les mesures effectuées au cours de l'année ont montré que la station était conforme dans ses rejets. Toutefois, l'analyse a mis en évidence une possibilité de réduire les coûts liés à la fourniture d'électricité et une comparaison avec les garanties du constructeur a souligné une surconsommation d'électricité par rapport à la charge entrante en DBO_5. En plus, la station est de manière évidente soumise à des fluctuations saisonnières des volumes entrants preuve de la présence d'ECP diluant les eaux usées strictes (EUS).

3.2. Diagnostic approfondi du fonctionnement de la file eau avec OCEAN

Le diagnostic du fonctionnement de la file eau traite tout d'abord des enjeux principaux de la file, soit l'état biologique dans les bassins d'aération qui est notamment maintenu par l'aération. Puis, pour aller plus loin, une réflexion est entreprise sur l'injection de chlorure ferrique et l'ajustement des objectifs de qualité de traitement. Il s'agira dans cette partie de confronter l'exploitation réelle de la station à l'exploitation préconisée par OCEAN qui sera appelée « modèle OCEAN vierge » car il ne contient que les paramètres de dimensionnement ; dans ce modèle dit vierge, tous les autres paramètres sont calculés par le logiciel.

3.2.1. Étude de l'étage biologique

Les paramètres principalement observés dans cette étude sont d'une part, $[MES]_{BA}$ et l'âge de boues, et d'une autre part $[MES]_{extr}$ et le taux de recirculation.

OCEAN propose un fonctionnement de la station à une concentration de boues dans le bassin et à un âge de boues beaucoup plus faibles que l'exploitation de 2016 (cf. Annexe 10 et Tableau 9). Une station est dimensionnée pour fonctionner à une charge massique précise. En dehors de ces conditions, la qualité de traitement se voit dégradée. Dans le cas d'une aération prolongée, la théorie indique une charge massique entre 0,05 et 0,08 $kgDBO_5/(kgMVS.j)$ ([7] et [13]). Ici, sachant que le ratio MVS/MS vaut 73% et MES/MS vaut 87%, la charge massique en 2016 est de 0,026 $kgDBO_5/(kgMVS/j)$ ce qui est beaucoup plus faible que ce qui est préconisée. Elle est calculée selon la formule suivante [9]:

$$C_m = \frac{DBO_5}{V_{BA} * [MVS]}$$

Avec :

- DBO_5 la charge entrante journalière en DBO_5 (580,50 $kgDBO_5/j$ en 2016)
- V_{BA} le volume total de bassins biologiques (7 004 m^3)
- [MVS] la concentration en matières volatiles solubles dans l'ensemble des bassins biologiques constituant système biologique (1,12 gMVS/l)

En outre, la littérature indique qu'en aération prolongée, les âges de boues sont élevés (>15j) cependant il n'est pas justifié de dépasser les 30 jours comme c'est le cas ici ([7] et [13]).

Théoriquement, la charge massique pourrait être augmentée pour se rapprocher des préconisations théoriques en diminuant l'âge des boues et en augmentant l'extraction des boues du clarificateur vers la déshydratation [3]. Cette solution sera traitée en partie 4.4. Elle permettra de sensiblement diminuer les besoins en oxygène et donc les besoins énergétiques de l'aération.

Par ailleurs, selon les informations fournies par le constructeur, les centrifugeuses du site fonctionnent de manière nominale pour des concentrations de boues entre 8 et 10 gMES/l. Or, OCEAN propose une concentration en MES des boues extraites de 8,82 gMES/l ce qui est donc idéal, contrairement à la concentration de l'exploitation actuelle qui est légèrement plus faible que les valeurs nominales indiquées. Un fonctionnement des centrifugeuses à entre 50 et 80% de leur capacité nominale permet le meilleur compromis technico-financier, c'est pourquoi il est préférable d'augmenter la concentration des boues à déshydrater.

Il est important de souligner que dans le cas du modèle OCEAN vierge, le taux de recirculation associé à une telle concentration des boues extraites est très faible (16%) contre 125% de la réalité et contre l'intervalle de 100 et 150% préconisé par la théorie [14]. L'intérêt d'un taux de recirculation dans cet intervalle est d'assurer un renouvellement constant de la biomasse dans les bassins biologiques et de limiter le temps de séjour des boues dans l'étape de décantation secondaire. En effet, dans le cas où il serait trop élevé, des réactions de fermentation anaérobie ou une dénitrification avec risque de pertes de boues pourraient avoir lieu, ainsi que le développement de bactéries filamenteuses [14]. Toutefois, vu la concentration élevée des boues extraites et la concentration faible des boues dans les bassins, il est normal qu'OCEAN propose un tel taux de recirculation, c'est celui qui permettra de concentrer assez dans le clarificateur pour atteindre 8,82 gMES/l en sortie de clarificateur. Par ailleurs, il limite le temps de séjour hydraulique dans le clarificateur à 2,5 heures mais ne limite pas le temps de séjour des boues qui serait dans ce cas bien supérieur aux 100 à 140 minutes préconisées [14]. Il ne sera alors pas question de proposer un taux de recirculation aussi bas et il faudra sûrement faire un choix entre l'optimisation de l'aération et celle de la file boue.

Tableau 9: Comparaison des paramètres biologiques de l'exploitation et du modèle OCEAN

	Exploitation 2016		Modèle OCEAN calé sur 2016		Modèle OCEAN vierge
	File1	File 2	File 1	File 2	File 1 ou 2 (identiques)
Concentration moyenne calculée en MES dans le bassin (g/L)	3,60	3,80	3,60	3,80	1,23
Charge massique ($kgDBO_5/(kgMVS.j)$)	0,026				0,07
Taux de recirculation réel des boues du clarificateur (%)	125%				16%
Âge de boue (j)	33	35	32	34	17,5
Concentration moyenne calculée en MES des boues extraites (g/L)	6,53		6,48	6,85	8,82
Quantité moyenne totale de boues à déshydrater par file (kg/j)	385	388	385	388	194

3.2.2. Étude de l'aération

Le poste d'aération des bassins biologiques est le plus énergivore (cf. 2.6). Une comparaison de ce que propose le modèle vierge OCEAN et de ce que propose le constructeur de la station permet de voir s'il y a une surconsommation d'oxygène et donc s'il y a des possibilités de faire des économies

tout en maintenant un bon état de la biologie. Les résultats reportés dans le Tableau 10 signalent que le besoin total en O_2 théorique est beaucoup plus élevé que celui proposé par le modèle OCEAN. Cela semble normal vu que ce dernier propose une concentration dans le bassin beaucoup plus faible. Il en découle que le débit d'air refoulé associé à cette demande en oxygène de la biomasse est aussi plus faible que la réalité. La consommation électrique en est alors fortement diminuée.

Tableau 10: Comparaison de l'aération des bassins biologiques de l'exploitation et du modèle OCEAN

	Modèle OCEAN calé sur 2016		Modèle OCEAN vierge
	File 1	File 2	File 1 ou 2 (identiques)
Besoin total en O_2 par bassin (kgO_2/j)	1 114		556
$Q_{air\ process}$ (Nm^3/j)	12 243	12 190	7 681
Consommation électrique du traitement biologique (kWh/j)	650	649	468
Dont pour l'aération (kWh/j)	347	345	217
Consommation électrique générale (kWh/j)	2 263		1 766
Consommation électriques générale mesurée en 2016 (kWh/j)	2 224		

3.2.3. Comparaison des objectifs de qualité entre la théorie et l'exploitation 2016

Atteindre une bonne qualité des eaux rejetées dans le milieu naturel est le premier objectif du traitement biologique. Les caractéristiques en sortie de station vont conditionner les apports en énergie électrique et en réactifs nécessaires à la biomasse pour atteindre cette qualité souhaitée. Tout d'abord, le Tableau 11 indique que le modèle vierge d'OCEAN propose une qualité des eaux traitées plus dégradée que celle observée, cependant elle reste bien largement en dessous des exigences réglementaires (cf. Annexe 4). Par ailleurs, afin de mieux évaluer l'impact de la qualité sur les besoins en électricité et en réactif, le cas où les concentrations en sortie observées en 2016 sont imposées au modèle vierge OCEAN est aussi étudié.

Tableau 11: Comparaison des concentrations en sortie entre l'exploitation 2016 et le modèle OCEAN

Paramètres	Modèle OCEAN calé sur 2016	Modèle OCEAN vierge	Modèle OCEAN vierge avec qualité des eaux rejetées imposée à celle de l'exploitation 2016
DBO_5 (mg/l)	3,1	5,9	3,1
$N\text{-}NH_4^+$ (mg/l)	2,2	1,0	2,2
$N\text{-}NO_3^-$ (mg/l)	0,3	6,0	0,3
Pt (mg/l)	1,0	1,3	1,0

3.2.3.1. Impact sur la consommation en réactifs

Dans OCEAN, deux réactifs peuvent être injectés dans les bassins d'aération :

- Le chlorure ferrique, $FeCl_3$, assure la déphosphatation physico-chimique. Elle complète la déphosphatation biologique et garantit un bon abattement du phosphore en sortie de station [15]. Leur injection constitue un coût par rapport à l'achat de réactifs, aux besoins électriques de la pompe doseuse et au traitement des boues car les réactifs forment des boues physico-chimiques qui doivent aussi être centrifugées ;
- Le méthanol est un substrat carboné, nutriment nécessaire à la dénitrification [9] (cf. Annexe 7). Le ratio DCO/NTK permet de déterminer s'il y a assez de nutriment carboné pour mener à bien la dénitrification. Une valeur classique de ce ratio est 11,5 [16].

Selon le Tableau 12, OCEAN suggère que l'injection de chlorure ferrique n'est pas nécessaire si

une concentration de 1,3 mgP/l est acceptée en sortie; toutefois, il propose l'injection de méthanol (10,15 kg/j par bassin). Aujourd'hui, sur la Station des Bords de Saône, seule l'injection de chlorure ferrique est pratiquée, mais un ratio DCO/NTK moyen de 8,3 est mesuré sur la station en 2016 ce qui est faible et induit, selon la théorie, la nécessité d'un apport supplémentaire de carbone. Il est donc logique que le modèle OCEAN propose l'injection de méthanol. Dans le cas où, dans le modèle vierge OCEAN, la qualité de rejet est fixée à celle observée en 2016, le logiciel propose alors une injection de 5,7 kg/j de $FeCl_3$ et 36,6 kg/j de méthanol dans chaque bassin. On observe alors non seulement qu'il faut un apport de carbone qui n'existe pas dans l'exploitation actuelle, mais aussi que la quantité de $FeCl_3$ est deux fois moindres si l'exploitation proposée par OCEAN est mise en place. Si toutefois, les paramètres biologiques actuels sont préservés, alors d'après la modélisation OCEAN calé sur 2016, il faudrait injecter 35,6 kg/j/file de méthanol et il ne faudrait que 4,3 kg$FeCl_3$/j/file. Cette surconsommation actuelle de $FeCl_3$ est d'ailleurs confirmée par l'exploitant: d'après ce dernier, les pompes doseuses ont été surdimensionnées par rapport aux réels besoins de la biologie; en outre, l'injection est régulée selon le débit en entrée ce qui n'est pas forcément pertinent car c'est supposé une concentration en phosphore constante en entrée et cela peut engendrer un surdosage de réactif injecté.

Tableau 12: Comparaison des quantités de réactifs injectés

Paramètres	Exploitation 2016	Modèle OCEAN calé sur 2016	Modèle OCEAN vierge	Modèle OCEAN vierge avec qualité en sortie imposée
$FeCl_3$ (kg/j par file)	65,2	4,3	0	5,7
Méthanol (kg/j par file)	0	35,6	10,2	36,6

3.2.3.2. Impact sur la consommation énergétique du traitement biologique

La qualité souhaitée en sortie de station détermine les temps d'aération et de non aération dans les bassins biologiques : en effet, elle va faire varier les besoins en oxygène de la biomasse. La comparaison des besoins énergétiques dans les cas du modèle calé sur 2016 et du modèle vierge (cf. Tableau 13) souligne qu'il est possible de réaliser des économies de près de 200 kWh/j par bassin biologique si les concentrations en sortie proposées par OCEAN sont adoptées.

Tableau 13: Comparaison des besoins énergétiques du traitement biologique

	Modèle OCEAN calé sur 2016		Modèle OCEAN vierge
	File 1	File 2	File 1 ou 2 (identiques)
Consommation électrique du traitement biologique (kWh/j)	650	649	468
Dont pour l'aération (kWh/j)	347	345	217
Consommation électrique générale (kWh/j)	2 263		1 766
Consommation électriques générale mesurée en 2016 (kWh/j)	2 218		

3.2.3.3. Bilan sur l'impact de qualité des rejets

Vu les mesures faites en sortie de station en 2016, les eaux traitées sont conformes à la réglementation et de bonne qualité. Toutefois, OCEAN propose une exploitation dans laquelle les normes en sortie seraient respectées mais à des concentrations plus élevées qu'observées en 2016, notamment en DBO_5 et en NO_3^-. Cette exploitation permettrait d'économiser les besoins énergétiques du traitement biologique. En outre, elle pourrait dispenser de l'utilisation de chlorure

ferrique si la concentration en phosphore total en sortie est augmentée à la limite des valeurs maximales autorisées ; d'autant plus qu'actuellement, l'injection de chlorure ferrique est surdosée. Cette voie d'optimisation énergétique sera explicité par la suite (cf. 4.3).

3.3.Diagnostic approfondi du fonctionnement de la file boue avec OCEAN

La file boue est simple. Elle inclut deux centrifugeuses équipées chacune d'une vis convoyeuse des boues déshydratées vers des bennes de stockage. L'injection de polymère est actuellement contrôlée par l'exploitant qui observe l'état des gâteaux. S'il est trop pâteux (siccité < 20%), alors il y a des risques de blocage des vis convoyeuses, il faut extraire moins de boues du clarificateur ou injecter plus de polymère ; et faire le contraire s'il est trop granuleux (siccité > 25%).

3.3.1. Étude des boues déshydratées

Comme dit dans la partie 3.1.4.2, la siccité des boues déshydratées observée sur la station des Bords de Saône est en adéquation avec ce qui est observé de manière général dans ce type de station. En 2016, elle s'élevait à 22,8%, ce qui est donc, aussi en adéquation avec ce qui était prévu par le constructeur (21 +/- 1%). Cela est plus élevé que ce que propose le modèle vierge OCEAN (20%), toutefois on ne cherchera pas atteindre ces 20% car l'expérience de l'exploitant confirme qu'une siccité d'environ 22% est idéale pour le bon fonctionnement des vis convoyeuses et pour des boues adéquates pour le compostage.

3.3.2. Étude de l'injection de polymère

Actuellement, l'injection de polymère se fait à concentration constante de 2,4 g/l. Le démarrage et l'arrêt sont commandés par des cadences liées au fonctionnement des centrifugeuses, toutefois le volume injecté est réglé manuellement par l'exploitant lorsque la qualité du gâteau ou des centrâts n'est pas satisfaisante.

Le modèle vierge sur OCEAN propose une injection de 10,5 kg/tMS par centrifugeuse. L'exploitation actuelle en utilise plus (en moyenne 13,5 kg/tMS par centrifugeuse) ce qui est logique vu la siccité plus élevée et la concentration des boues extraites plus faible (6,67 gMES/l en moyenne sur les deux files contre 8,82 gMES/l). Par ailleurs, le fournisseur indique un dosage de polymère requis inférieur à 11 kg/tMS Ces deux derniers points indiquent que la consommation en polymère est correcte mais qu'il y a normalement possibilité de la réduire. Ce point sera traité avec plus de détails dans la partie 4.7.

3.3.3. Étude des boues envoyées en déshydratation

Les quantités et la concentration des boues envoyées en déshydratation vont impacter le fonctionnement des centrifugeuses et la quantité de polymère nécessaire pour atteindre la siccité recherchée. Dans le cas du modèle OCEAN, la concentration des boues extraites ou recirculées va conditionner le taux de recirculation : pour un même flux entrant et une même concentration dans les bassins biologiques, plus la concentration des boues extraites augmentent et plus le taux de recirculation sera faible pour permettre un épaississement des boues dans le clarificateur.

La concentration moyenne mesurée en 2016 sur la station pour les files 1 et 2 s'élève en moyenne à 6,48 et 6,85 gMES/l respectivement. Cela est en dehors de l'intervalle préconisé par le fournisseur (entre 8 et 10 gMES/l) et est inférieur à la proposition du modèle vierge d'OCEAN

(8,82 gMES/l). Les centrifugeuses ne fonctionnent alors pas de manière optimales même si la siccité est satisfaisante et les quantités de polymère injectées raisonnables (cf. 3.3.1 et 3.3.2). La proposition d'OCEAN qui est d'atteindre les 8,82 gMES/l au moyen d'un taux de recirculation de 16% n'est pas du tout réaliste car elle engendre un temps de séjour des boues dans le clarificateur beaucoup trop long.

3.4. Conclusion générale sur le diagnostic de la Station des Bords de Saône

Le fonctionnement de la station des Bords de Saône en 2016 peut être jugé comme correct et cohérent par rapport aux caractéristiques de dimensionnement de la station, par rapport au fonctionnement d'autres stations similaires mais aussi par rapport aux garanties du constructeur en termes de consommations électriques. En outre, elle est conforme aux normes imposées par l'arrêté du 21 Juillet 2015. Néanmoins, une modélisation de la station sur OCEAN propose une toute autre manière d'exploiter la filière biologique et met en évidence des leviers d'amélioration de l'exploitation et plus particulièrement d'économies d'énergie.

Le diagnostic souligne ainsi la possibilité d'optimiser le fonctionnement de la station et de diminuer les besoins énergétiques du traitement biologique et du traitement des boues. De ce diagnostic, six leviers d'actions sont retenus et proposés à titre de recommandations dans le cadre de cette étude :

- La mise en place d'un diagnostic permanent des consommations électriques
- Le recalage des puissances souscrites au contrat EDF
- La recherche d'un meilleur compromis entre la qualité de rejet et les dépenses énergétiques
- L'optimisation du système d'aération
- L'optimisation du traitement des boues
- L'optimisation du système d'injection des réactifs

4. Les pistes d'amélioration possibles sur la station

Les propositions émises peuvent être mises en place simultanément, être complémentaires dans le temps ou tout à fait distinctes. Certaines porteront sur une optimisation du fonctionnement actuel de la station sans modification radicale des paramètres biologiques et d'autres proposeront un changement radical de l'exploitation pour qu'elle se rapproche de celle proposée par OCEAN.

4.1. Mise en place d'un diagnostic permanent des consommations électriques

4.1.1. Orientation technique

Comme dit précédemment, il y a actuellement un unique compteur sur le site de la Station des Bords de Saône. Il s'agit d'un compteur général. L'index est relevé hebdomadairement et manuellement. Ce relevé permet d'établir des bilans énergétiques sur la globalité de la station. Toutefois, il n'est pas suffisant pour réaliser des diagnostics énergétiques permanents. Pour cela, un parc de sous-compteurs doit être déployé. Ce dernier permettrait de surveiller la fourniture d'énergie électrique (facturation et qualité de la distribution), d'anticiper les dépassements de la puissance souscrite, de suivre les besoins électriques des équipements et même de repérer les éventuels dysfonctionnements ([3] et [18]). Ce nouveau plan de comptage d'électricité constituerait alors un outil de pilotage supplémentaire pour l'exploitant qui permettrait en plus de faire des économies intéressantes en électricité. Dans ces deux optiques, les postes pertinents à équiper de compteur sont au nombre de six et sont présentés dans le Tableau 14. Afin que le parc de compteur puisse remplir pleinement sa fonction d'outil de pilotage, les sous-compteurs et le compteur existant doivent être équipés de modules de télérelève pour une remontée permanente et automatique des index, suivi d'un archivage sur un superviseur.

Tableau 14: Proposition de postes à équiper de sous-comptage

Poste à équiper	Explication
Le groupe de surpresseurs à air	D'après le diagnostic énergétique effectué (cf. 3.2), c'est le poste le plus énergivore de la station. Par ailleurs, l'aération est régulée selon les besoins de la biomasse et donc la qualité de l'effluent. L'indicateur de performance d'aération "kWh/DCO éliminée" pourra être suivi de manière continu et directement c'est-à-dire sans avoir à passer par la consommation totale de l'usine et une estimation de la part représentée par la consommation électrique de l'aération dans la consommation totale.
Le poste de relèvement PR RPM	Le suivi de la consommation énergétique au niveau d'un poste de refoulement/relèvement pourrait permettre de repérer assez aisément les dysfonctionnements notamment lorsque les pompes sont bouchées (augmentation de la puissance consommée mais pas d'augmentation du volume pompée). L'indicateur de performance « kWh/m3/mCE » pourra alors être introduit.
Le poste de rejet des eaux traitées	
Le banc de désinfection UV	La puissance délivrée par les lampes UV est régulée selon le débit à traiter. La consommation électrique peut alors constituer un indicateur de fonctionnement et de performance de la régulation et des lampes.
La file eau	Avec un comptage au niveau de l'aération, des postes de refoulement/relèvement et de la désinfection, les principaux postes de la file eau sont couverts. Ainsi, un comptage sur la file eau globale pourrait suffire pour avoir une idée de la consommation des autres postes de la file eau (prétraitement, désodorisation, clarificateur, brassage des bassins biologiques, recirculation des boues)
La file boue	La file boue n'est composée que des centrifugeuses, donc un comptage sur la file entière peut suffire. L'indicateur de performance « kWh/ tMS produit » pourra alors être introduit.

4.1.2. Estimations technico-économiques

L'installation d'un compteur (marque Schneider, moteurs filaires 50 à 5 000A) induit un coût d'achat de 500 € et un coût d'installation (électromécanicien, exploitant et automaticien) de 1 245€. Ainsi, pour six compteurs, le coût total est estimé à 10 500€. L'avantage de cette proposition est qu'elle n'induit pas de surcoût d'exploitation. Sur le long terme, cette solution permettra une durée de vie plus longue des équipements.

4.2. Modification du contrat de fourniture EDF

4.2.1. Orientation technique

Le contrat actuel est souscrit à 320 kW (cf. Annexe 15) car, lorsque Veolia a repris l'exploitation de la station, il a été souhaité de garder les mêmes caractéristiques que celles du contrat EDF signé avec l'entreprise délégataire précédente. De manière fréquente, la puissance souscrite est fixé à 10% au-dessus de la consommation maximale observée sur au moins une année. Le diagnostic de la station a mis en évidence le fait que lors de ces deux mois, la puissance souscrite n'a jamais été atteinte. La puissance consommée maximale atteinte sur ces deux mois s'élève à un peu moins de 250 kW. Ainsi, à l'image de l'audit réalisé sur la station de Boulogne Sur Mer [18], il serait intéressant de recaler la puissance souscrite. Il est alors recommandé de souscrire à une puissance de 270 kW peu importe les tranches horaires et les saisons hiver ou été afin de simplifier le contrat: en effet, les puissances souscrites peuvent être différentes dans chaque périodes mais de la période tarifaire classée 1 (pointe) à celle classée 5 (HCE), les puissances doivent être constantes ou croître [19].

4.2.2. Estimations technico-économiques

La puissance souscrite impacte le coût du Tarif d'Utilisation des Réseaux Publics d'Electricité (TURPE) géré par la Commission de Régulation de l'Energie (CRE) et est intégrée à la part fixe de l'abonnement. Une estimation des gains liés à une baisse à 270 kW de la puissance souscrite est faite grâce à l'outil de simulation de la CTE. Elle a été réalisée à partir d'une extrapolation sur une année de l'énergie consommée dans chaque classe horaire partant de celle observée sur les mois de Février pour la pointe, Mars pour la période hivernale et Avril pour la période estival. Ainsi, le gain annuel serait de 595€, cela semble faible vu que le TURPE a été estimé à environ 17 720€ sous 320 kW et à 17 126€ sous 270 kW. Comme les dépassements de la puissance souscrite engendre des coûts supplémentaires non négligeables, il est plus rentable de souscrire à une puissance élevée que de risquer de la dépasser. Il sera alors pertinent d'attendre d'avoir la donnée de puissance atteinte sur une année complètement pour attester de manière plus fiable du dépassement ou non de la puissance actuelle souscrite de 320 kW. En outre, une modification du contrat n'est autorisée qu'à partir d'un an après le démarrage du contrat, soit à partir de Février 2018. L'avantage de cette recommandation est qu'elle ne nécessite aucun frais d'exploitation supplémentaire et que l'effet est immédiat une fois la demande réalisée auprès de la CTE.

4.3. Maîtrise de la qualité de rejet pour des dépenses énergétiques minimisés

Le diagnostic réalisé précédemment sur la station a mis en évidence un fonctionnement non optimal de la station du fait qu'elle était en « surqualité » par rapport aux normes de rejet de l'arrêté (cf. Annexe 4) et consommait plus d'énergie qu'elle ne pourrait consommer. En effet, le modèle

OCEAN suggère qu'il est possible de faire des économies d'énergie en augmentant les concentrations en sortie de station tout restant conforme aux exigences réglementaires. Cela constitue un levier d'action pour l'optimisation énergétique de la station tout en gardant son fonctionnement biologique actuel. C'est une voie d'amélioration qui est aussi valable si le modèle OCEAN est adopté.

Le logiciel OCEAN est alors un outil fort intéressant pour évaluer les gains d'énergie réalisables liés à un meilleur compromis entre la qualité du rejet et les dépense électrique. Cette évaluation est réalisée sur le modèle vierge OCEAN. Le logiciel offre la possibilité d'imposer les concentrations en sortie de station sur seulement les paramètres de DBO_5, NO_3^-, NH_4^+ et Pt. Donc, seuls ces quatre paramètres sont étudiés pour évaluer l'impact de la qualité de rejet sur les besoins en oxygène.

4.3.1. DBO_5

Le débit d'air process journalier nécessaire pour un bassin décroît de manière linéaire avec l'augmentation de la charge en DBO_5 en sortie (cf. Annexe 19). En effet, une augmentation de 1 mgDBO_5/l en sortie induit une diminution de 0,55 kWh/j, soit une diminution de 19,37 Nm^3/j d'air process refoulé. Cette observation est en adéquation avec la formule théorique du besoin en oxygène de la biomasse puisque la DBO_5 est, à première approximation, la part biodégradable de la matière organique [8]. Pour un kilowattheure coûtant sept centimes, les gains pour une hausse de 1 mgDBO_5/l seraient de 4 cts par file par jour, soit près de 30 € au total sur l'année.

4.3.2. NH_4^+

Les ions ammonium sont traités par nitritation puis nitratation en phase aérée [8]. Donc, théoriquement, une augmentation de la concentration en ammonium en sortie est provoquée par une diminution des temps d'aération. Selon OCEAN, pour une concentration en ions ammoniums inférieure à 2,5 mgN-NH_4^+/l environ, une augmentation de 1 mgN-NH_4^+/l entraîne une économie de 5,50 kWh/j grâce à un besoin d'air par bassin diminué de 192,85 Nm^3/j, soit 39 cts d'économie par file par jour et 281 € au total sur l'année. Au-delà de 2,5 mgN-NH_4^+/l, une augmentation de 1 mg/l de N-NH_4^+ induit une économie de 1,40 kWh/j d'électricité pour une diminution de 49,60 Nm^3/j d'air process refoulé par bassin (cf. Figure 15), soit 72€ d'économie annuelle.

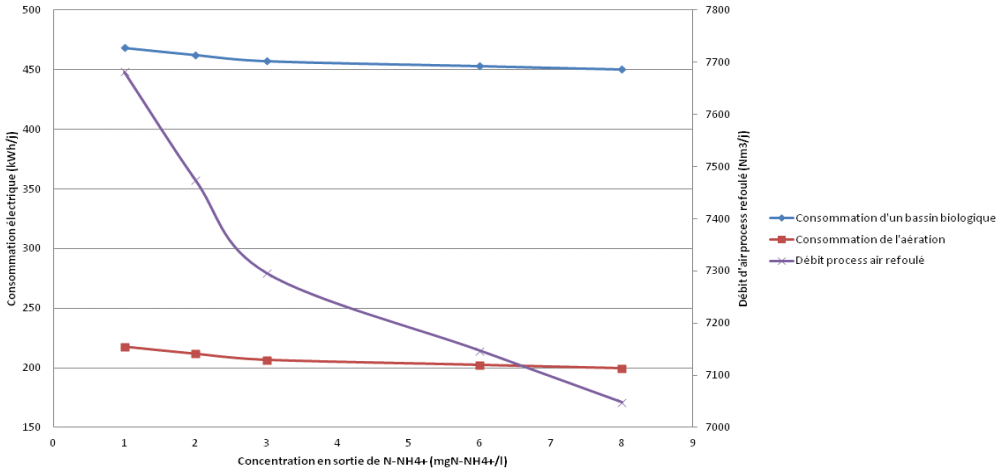


Figure 15: Influence de la concentration en sortie en NH_4^+ sur les besoins énergétiques de l'aération

4.3.3. NO_3^-

En ce qui concerne l'impact de la concentration en nitrates, théoriquement une augmentation

en sortie induit une augmentation des temps d'aération afin de favoriser la formation de nitrates [8]. La Figure 16, exposant les résultats OCEAN, propose deux types d'exploitation selon que la concentration est inférieure ou supérieure à 8 mgN-NO_3^-/l en sortie de station:

- Pour une concentration supérieure à 8 mgN-NO_3^-/l, le débit d'air process refoulé par bassin augmente de manière linéaire car l'injection de méthanol n'est plus suffisante pour garantir une nitrification suffisante (cf. Figure 17). Il faut jouer sur les temps d'aération et plus précisément les augmenter pour favoriser la nitrification sur la dénitrification. Dans ce cas, l'augmentation de 1 mgNO_3^-/l en sortie de station engendre une consommation supplémentaire de plus de 2,40 kWh/j/file pour une augmentation de 84 Nm^3/j d'air process refoulé par bassin, soit 1 230€ de dépense supplémentaire annuelle sur les deux files
- Pour une concentration inférieure à 8 mgN-NO_3^-/l, le débit d'air process refoulé peut être diminué mais du méthanol doit être injecté pour permettre une nitrification suffisante pour atteindre les concentrations en sortie recherchées (cf. Figure 17) ; dans ce cas, 1 mg NO_3^-/l de plus en sortie de station permet une économie de plus de 2,30 kWh/j/file pour une réduction de 75,62 Nm^3/j d'air process refoulé par bassin, soit 1 180€ d'économie annuelle totale

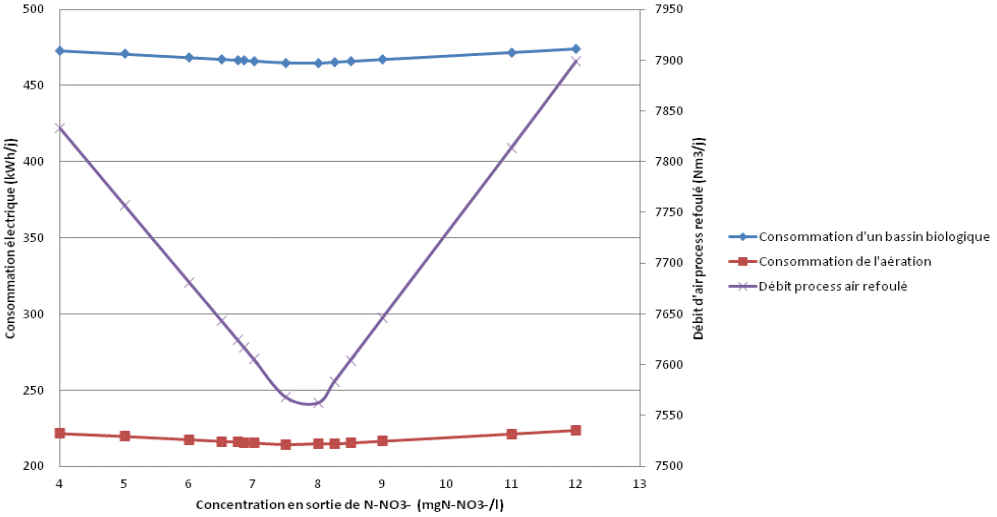


Figure 16: Impact de la concentration en N-NO_3^- en sortie de station sur les besoins en air et en électricité du traitement biologique

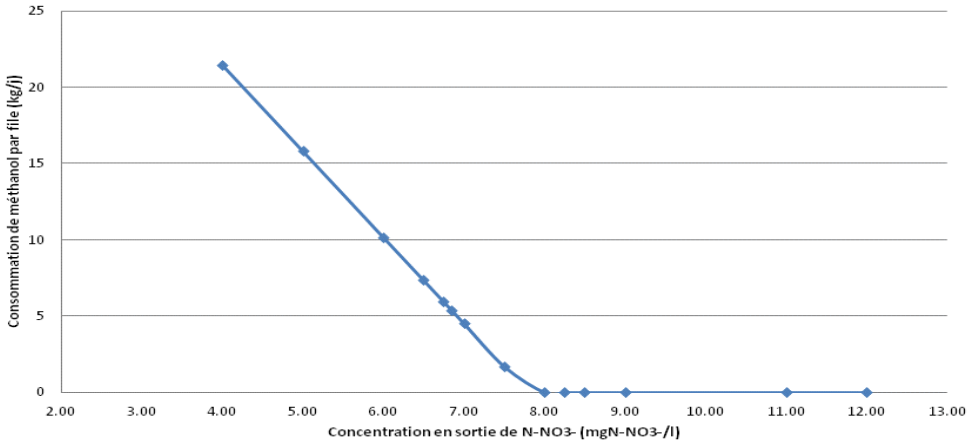


Figure 17: Consommation de méthanol selon la concentration en sortie de N-NO_3^-

Dans le premier cas, s'il n'est pas possible d'ajouter du méthanol, alors une augmentation des nitrates en rejet, nécessite un apport d'oxygène plus élevé. Ainsi, si l'objectif est de diminuer la consommation énergétique liée à l'aération sans ajout de méthanol, alors l'augmentation de ce paramètre en sortie de station n'est pas pertinente.

4.3.4. P_t

Théoriquement, l'abattement du phosphore dépend des temps de non aération et d'aération puisque la première étape de relargage de phosphore se fait en zone anaérobie et la seconde étape de suraccumulation en zone aérée [15]. Toutefois, on ne parlera pas de besoins en oxygène comme c'est le cas pour la nitrification. Dans le cas de la modélisation sur OCEAN, la détermination des besoins en oxygène est lié au traitement de l'azote, le logiciel en déduit l'abattement biologique du phosphore puis propose une injection de chlorure ferrique si le traitement biologique n'est pas suffisant par rapport à la concentration en sortie de phosphore recherchée. Ainsi, pour des concentrations en sortie supérieures à 1,20 mgP/l, OCEAN indique qu'il n'y a pas la nécessité d'injecter du chlorure ferrique (cf. Annexe 19).

D'après les considérations théoriques, les outils qui permettent de jouer sur la qualité des rejets sont les temps d'aération et de non aération, ainsi que l'injection de $FeCl_3$ et de méthanol. Les recommandations qui peuvent être données sont décrites dans l'Annexe 20. Un suivi et un contrôle des concentrations en NH_4^+ et en NO_3^- dans les eaux traitées doivent indispensablement être effectués pour assurer la maîtrise de qualité du rejet car les besoins de la biomasse sont directement liés à la charge reçue en entrée et la concentration recherchée en sortie de ces deux paramètres. Par ailleurs, le ratio kWh/kgDCO éliminé étant l'indicateur de la performance de l'aération, il doit être surveillé de manière régulière. De cette manière, un bon compromis entre qualité de rejet et dépense énergétique peut être assuré sur le long terme.

4.4. Optimisation du traitement biologique

4.4.1. Considérations théoriques

Le diagnostic réalisé sur la station a soulevé qu'OCEAN proposait une tout autre gestion de l'exploitation du traitement biologique comparée à celle pratiquée actuellement, notamment avec une charge massique plus adaptée à une boue activée à aération prolongée (0,07 $kgDBO_5$/(kgMVS.j) recommandée contre 0,026 $kgDBO_5$/(kgMVS.j) observé) et une qualité en sortie légèrement plus dégradée mais toujours conforme à l'arrêté du 21 Juillet 2015 comme il a été vu dans la partie précédente. Cette nouvelle gestion est intéressante car elle permet une meilleure adaptation de l'apport en oxygène aux besoins réels de la biomasse. La recommandation traitée dans cette partie porte alors sur l'application du modèle d'exploitation proposée par OCEAN: plus précisément on cherchera à atteindre une charge massique adaptée à des boues activées en aération prolongée puis à la stabiliser en adaptant le poids de boues à la charge en entrée ([3] et [14]).

4.4.2. Orientation technique

Il est important de retenir que les considérations théoriques provenant de la modélisation présentent une grande incertitude quant à la faisabilité dans la réalité. Par ailleurs, le changement radical de la manière de gérer le traitement biologique doit se faire de manière progressive en

surveillant de manière constante la qualité en sortie de station et l'état de la biomasse. Il faut effectivement veiller à être toujours conforme aux valeurs réglementaires imposées en sortie et que des filamenteuses ou mousses ne se soient pas formées dans les bassins. Les moyens pour ce projet étant limités au logiciel OCEAN, seules des recommandations peuvent être faites.

L'objectif principal sera d'arriver progressivement à des paramètres biologiques (Cm, âge de boue A_b et $[MES]_{BA}$) adaptés à un fonctionnement en aération prolongée et optimaux pour la consommation énergétique, puis à une stabilisation de la biologie. Les valeurs qui figurent dans l'Annexe 18, récapitulant les paramètres proposés par le modèle vierge OCEAN, ont été obtenues par modélisation pour des charges moyennes en entrée. Toutefois, la charge en entrée de station étant constamment variable, pour maintenir une charge massique optimale, il faut adapter le poids de boues à la charge en entrée, les valeurs obtenues par la modélisation ne pourront pas être appliquées dans toutes les situations rencontrées dans la réalité. Le Tableau 15 propose les concentrations en MES à avoir dans les bassins dans le cas des charges en DBO_5 minimale, maximale et moyenne observée en 2016 en entrée de station. Le détail des calculs est présenté en Annexe 21. Cependant, une difficulté se présente. Vu les coûts et le temps nécessaires pour réaliser une analyse de DBO_5 (cinq jours par définition de la DBO_5), la mesure direct de la DBO_5 n'est pas possible pour régir le poids de boues. Il faut passer par la mesure de DCO et plus précisément le ratio DCO/DBO_5 qui traduit la mixité et la biodégradabilité relative de l'effluent. Le ratio varie entre 2,05 et 4,40 en 2016, avec un ratio moyen de 2,93 et un écart-type de 0,64. Cette variation est caractéristique de la présence d'industriels : en effet, pour des effluents urbains stricts, le ratio est en général de 2,4 [14].

Tableau 15: Concentrations en MES à imposer dans les bassins selon la charge en entrée de station

DBO_5 (kg/j)		[MVS] (g/l)	[MS] (g/l)	[MES] (g/l)	DCO (kg/j)	Ratio DCO/DBO_5
Minimum 2016	355	0,7	1	0,9	1 564	4,4
Maximum 2016	817	1,7	2,3	2	1 906	2,33
Moyenne 2016 ***(utilisée pour la modélisation OCEAN)***	580	1,2	1,6	1,4	1 662	2,86

Les méthodes proposées pour, dans un premier temps, atteindre progressivement une charge massique idéale de 0,07 $kgDBO_5/(kgMVS.j)$ (cf. Annexe 22) et pour, dans un second temps, la stabilisation de la biologie à cette optimum (cf. Annexe 23) sont directement liées à la charge en entrée. La difficulté est de déterminer un ratio DCO/DBO_5 qui soit représentatif des effluents reçus par le site et qui puisse être utilisé pour la détermination du poids de boues associé dans les bassins. Il est intéressant de noter que le ratio calculé pour la charge moyenne (2,93) n'est pas identique au ratio moyen calculé sur les 24 échantillons prélevés (2,86). Dans les deux cas, les données de base du calcul sont des valeurs moyennes, donc la représentativité des deux ratios est questionnable. Néanmoins, comme la modélisation OCEAN a été effectuée avec les charges et flux moyens, le ratio de 2,86 sera retenu. Si les ajustements avec ce ratio ne sont pas satisfaisants, il faudra réfléchir plus longuement à trouver un ratio plus représentatif.

Ainsi, il faudra jouer sur l'extraction pour parvenir à une concentration de 1,30 gMES/l environ. Le taux de recirculation serait être maintenu à 125% ou être d'au moins 100%. La stabilisation des paramètres biologiques sera atteinte par une surveillance accrue de la charge en entrée et de la

concentration dans les bassins biologiques. Toutefois, il existe des inconvénients à une concentration faible dans les bassins: il s'agit notamment du traitement des pointes de charges. Dans de telles conditions, une pointe engendrerait une production de boues en excès plus conséquente dû à une stabilisation plus faible des boues. Il sera alors nécessaire de suivre non seulement la qualité du rejet mais aussi de surveiller la production de boues en excès pour s'assurer du bon traitement.

4.5. Optimisation du système d'aération

4.5.1. Orientation technique

Les aérateurs se chargeant actuellement de l'apport d'air process dans les bassins biologiques sont des compresseurs à air fines bulles. Ces derniers fonctionnent à puissance et débit fixes, pas de régulateur de fréquence. La régulation de l'injection d'air est classique de type REDOX/O_2. La marche est déclenchée par un seuil bas REDOX et l'arrêt par un seuil haut O_2. Les temps de marche et arrêt sont temporisés car les temps d'arrêt doivent être limités pour assurer un bon état de la biomasse.

Les recommandations concernant une augmentation des concentrations en sortie de station (cf. 4.3) et une optimisation de la biologie selon les propositions d'OCEAN (cf. 4.4) peuvent être complémentées par l'équipement des surpresseurs de variateur de fréquence. En effet, sans variateur de fréquence, seuls les temps d'aération seront impactés. Toutefois, si la puissance de refoulement d'air peut être flexible et plus précisément régulé par rapport aux besoins réels en oxygène de la biomasse alors les gains énergétiques peuvent fortement augmenter [3].

OTV, la filiale technologique de Veolia Water Technology, a développé un nouveau système de régulation appelé AMONIT™ qui pourrait correspondre aux besoins de la Station des Bords de Saône. Elle propose deux différentes régulations AMONIT (cf. Annexe 24). Vu les domaines d'application préconisées par la Direction Technique, c'est la régulation avec sondes REDOX/O_2 qui est la plus adaptée à la station des Bords de Saône puisque la capacité nominale est de 27 000 EH. Les seuils bas et haut REDOX contrôlent le séquençage de l'aération et la puissance d'aération est calculée et appliquée à partir de la concentration en O_2 mesurée en continu et la consigne imposée par l'exploitant ([20], [21], et [22]).

4.5.2. Estimations technico-économiques

Selon le DTN de Saint-Maurice [21], les gains attendus théoriques pour cette technologie étaient initialement de 10 à 30% de réduction sur la consommation du système d'aération. En réalité, selon les retours d'expérience de certains exploitants ayant adoptés le système, les gains sont plutôt de l'ordre des 5% sur la consommation électrique du système d'aération avec un retour sur investissement de 5 à 7 ans. L'estimation des coûts liés à ce système n'a pas été faite car elle nécessite une étude plus poussée sur l'équipement des pompes de variateurs de fréquence. Toutefois, il est possible de dire que les coûts d'exploitation sont nuls. Bien entendu, pour une pérennisation des équipements et la garantie de leur performance optimale, il est important de prévoir et anticiper la dégradation des diffuseurs par un suivi l'Apport Spécifique Brut en eau claire à 18° (ABS), et de maintenir le plus longtemps possible leur capacité en procédant régulièrement à des opération d'entretien et de maintenance.

4.6. Optimisation du système de régulation de l'injection de chlorure ferrique

4.6.1. Considérations théoriques

L'injection de chlorure ferrique se fait actuellement en entrée des bassins biologiques et le diagnostic de la station a mis en avant une surconsommation du réactif en 2016. Ces deux observations sont liées dans le sens où le volume injecté de $FeCl_3$ est régulé selon le flux entrant: cette régulation induit des surdosages de réactif car la mesure du flux n'est pas représentative de la quantité de phosphore à traiter, ce n'est pas parce que le débit est élevé que la charge à traiter l'est pour autant, cela est d'autant plus vrai en période de pluie où les eaux usées strictes sont fortement diluées [23]. Par ailleurs, selon l'exploitant, les pompes d'injection présentes sur le site aujourd'hui sont surdimensionnées. Il faut alors préconiser une modification de l'emplacement du point d'injection et une nouvelle régulation.

Selon le Guide d'Exploitation de l'ONEMA [24], il est préférable de placer les points d'injection en zone bien brassée. Par ailleurs, pour privilégier la déphosphatation biologique et faire des économies en réactif, l'injection doit se faire plutôt en sortie de bassin biologique. La zone de surverse vers le clarificateur est un emplacement qui remplit ces deux critères.

En termes de régulation, il est préférable d'effectuer un asservissement non pas au débit mais à la charge en phosphate [23]. Il y a alors plusieurs alternatives:

- Réguler par rapport à la charge en phosphore en entrée
- Réguler par rapport à la charge en phosphore en sortie

L'avantage d'une régulation par l'amont est que les problématiques de détection des ions sont moindres et donc les incertitudes de mesure aussi. En plus, elle présente l'intérêt de pouvoir prévenir d'une charge entrante particulièrement faible ou élevée. Toutefois, il semble plus aisé d'évaluer la qualité du traitement du phosphore par une mesure du phosphore en aval et d'agir en conséquence. Idéalement, il faudrait une mesure à la fois en tête et en sortie de station, mais finalement le choix entre l'une ou l'autre des possibilités se fera par rapport à la contrainte financière et les possibilités d'installer un tel dispositif.

4.6.2. Orientation technique

- ***Solution à court terme :***

La solution à court terme a pour objectif de résoudre les problèmes de surconsommation de chlorure ferrique sans avoir à faire de grande modification sur la station et d'investissement. Il s'agira du changement du point d'injection et au passage à une régulation en mode cadencé : le point d'injection est déplacé au niveau de la surverse vers le clarificateur et l'injection se fait en mode cadence durée, c'est-à-dire que l'exploitant va fixer des durées d'injection et de non injection. Elles seront déterminées de façon à diminuer les quantités de réactifs injectés pour se rapprocher de ce que le modèle OCEAN calé propose, soit 4,34 kg/j de $FeCl_3$ par file. Cette valeur n'étant que théorique, la méthode suivante de détermination de la quantité de chlorure ferrique à injecter pourrait être utilisée [15] :

- **Étape 1 : estimation de la concentration en phosphore en entrée de station**

  La concentration moyenne en entrée de station en 2016 est de 5,2 mgP/l.

- **Étape 2 : choix du taux d'abattement du phosphore**
  L'abattement minimal imposé par l'arrêté du 21 Juillet 2015 est de 80%, le rendement moyen observé en 2015 est aussi de 80%. Donc, un abattement de 80% est retenu.
- **Étape 3 : détermination du rapport molaire à appliquer**
  Le ratio molaire Fe/P dépend du rendement recherché et de la concentration en phosphore à traiter. Selon les courbes fournies dans les dossiers techniques du FNDAE, le ratio molaire correspondant au cas étudié est de 2,6 [24].
- **Étape 4 : détermination de la quantité de fer à injecter**
  La quantité de fer pur à injecter se calcule de la manière suivante :

$$Quantité\ de\ fer\ pur\ \left(\frac{kgFe}{j}\right) = flux\ de\ phosphore\ \text{à}\ éliminer\ \left(\frac{kgP}{j}\right) * ratio\ molaire * ratio\ massique$$

  Le flux de phosphore moyen en 2016 étant de 21,7kgP/j et le rendement de 80%, le flux de phosphore à éliminer est de 22,16 kgP/j. Le ratio massique théorique étant de 1,81 et le ratio molaire choisi à 2,6, la quantité de fer pur à injecter s'élève à 104,3 kgFe/j.
  La solution commerciale de chlorure ferrique utilisée étant composé à 14% en poids de fer pur, pour injecter 104,3 kgFe/j, il faut donc 750 kg de réactif par jour soit 517 L de réactif par jour (masse volumique de la solution commerciale à 1,45 kg/l).
- **Étape 5 : détermination des cadences durée d'injection**
  Le mode horloge existe déjà sur les pompes doseuses de la station. Dans ce mode de régulation, les pompes tournent à 100% de leur puissance soit 45L/h selon la fiche technique. A partir de ce débit, la durée d'injection journalière totale peut être déterminée : il faut 517/45=11h d'injection par jour.

Il faudra alors observer l'état des boues qui, en conséquence, verront leur part de boues physico-chimiques fortement diminués sachant que les boues physico-chimiques représentent de manière générale 20% de la production de boues totale [15]. Cette manière de faire pourra sûrement palier le problème de surdimensionnement des pompes d'injection et réduire fortement les quantités de boues à déshydrater.

- ***Solution à long terme***

La solution à long terme nécessite un investissement pour l'achat et la mise en place du matériel mais aussi la mise en place de la plateforme de pilotage et de l'asservissement. Il existe dans le commerce plusieurs dispositifs qui correspondraient à ce projet. Par exemple, les analyseurs de la gamme PHOSPHAX sigma développé par Hach permettent de faire des mesures de concentrations totales de phosphore et d'orthophosphate pour une gamme allant de 0,01 à 5mg/l. La méthode utilisée est du bleu de phosphormolybdène de la norme EN1189 et fournit des résultats sous dix minutes. Ce système pourrait être proposé pour un asservissement par l'aval. Pour un asservissement amont avec des concentrations mesurées en 2016 entre 10 et 40 mgPt/l, les analyseurs de phosphate forte valeur 5500sc du même fournisseur seraient plus adaptés. Le principe de mesure employé est alors la colorimétrie.

Le dispositif de mesure est à relier à un transmetteur numérique qui envoie les mesures de

concentrations de phosphore à la plateforme de pilotage. Les consignes de pilotage peuvent tout d'abord être celles déterminées par le logiciel OCEAN (cf. Annexe 20) puis être ajustées au fil du temps par observation de l'état de la biomasse, des boues et de la qualité en rejet de station.

4.6.3. Estimations technico-économiques

Grâce à la solution à court terme, si la quantité de chlorure ferrique consommée par file et par jour peut être diminuée à environ 5 kg/j, étant donné qu'aujourd'hui la consommation moyenne est de 65 kg/j/file et que le coût unitaire du réactif est de 122€/tonne [15], alors les économies en termes de $FeCl_3$ strict s'élèveraient à 15 €/j, soit plus de 5 470 € l'année. La solution à long terme engendre des coûts d'investissement et d'entretien non négligeables ; surtout que le coût d'un analyseur est de plusieurs milliers d'euros. Toutefois, c'est une solution qui à long terme porterait ses fruits grâce à une régulation poussée de l'injection de chlorure ferrique. Une étude devrait être mise en place pour juger de la pertinence de cette alternative. Toutefois, vu la taille de la station, il est fort probable que la direction technique, juge des projets techniques, soit plutôt en faveur de la solution à court terme et peu couteuse.

4.7. Optimisation du traitement des boues

4.7.1. Considérations théoriques

L'optimisation de la gestion de boues trouve son intérêt dans le fait qu'une bonne gestion des extractions de boues en excès permet d'éviter une suraccumulation des bactéries épuratrices dans les bassins biologiques induisant une demande en oxygène fortement augmentée. Dans cette situation, soit la facture d'électricité augmente de manière conséquente, soit la qualité du traitement se dégrade. Ainsi, deux leviers d'actions se présentent pour l'optimisation du traitement des boues :

- Une optimisation du traitement biologique permettant une concentration des boues extraites située dans la gamme de fonctionnement optimal des centrifugeuses (entre 8 et 10 gMES/l selon la fiche technique du fournisseur)
- Une optimisation de l'injection de polymère par un asservissement

Selon le diagnostic, les quantités de polymères actuellement utilisées (13,5 kg/tMS) sont correctes par rapport aux préconisations du fournisseur (moins de 11 kg/tMS) et à la proposition du logiciel OCEAN (10,5 kg/tMS). Toutefois, il serait possible de les diminuer par l'augmentation de la concentration des boues extraites en agissant sur le traitement biologique et plus précisément sur le taux de recirculation (cf. 3.2.1.). La consommation énergétique des centrifugeuses en serait aussi diminuée. Toutefois, le diagnostic énergétique a mis en évidence que la contribution de la file boue à la consommation énergétique totale du site n'était que de 8,75% contre 57,40% pour le traitement biologique (cf. 2.6, Figure 6 et Annexe 11). Il semble alors plus intéressant de privilégier une optimisation de l'aération sur celle de la file boue dont les gains énergétiques seraient moindres et qui engendrerait des risques de développement de bactéries filamenteuses.

Une deuxième possibilité est d'optimiser l'injection de polymère servant au conditionnement des boues pour une déshydratation plus aisée. La solution serait d'instaurer un asservissement de la quantité de polymère à injecter : actuellement, il n'y a aucune régulation en ce qui concerne l'injection de polymère, elle est contrôlée manuellement par l'exploitant qui adapte la quantité

injectée par rapport au volume de boues envoyées à la déshydratation, la qualité du gâteau et la qualité des centrâts en NH_4^+ et DCO. Cette manière de procéder n'est alors que très empirique et incite à surdoser pour sécuriser le traitement des boues surtout en période de congé ou de week-end quand l'exploitant est absent [26]. Ainsi, la recommandation est d'automatiser ce que fait l'exploitant manuellement.

4.7.2. Orientation technique

Il y a deux paramètres d'asservissement possible pour cela : l'asservissement par rapport à une mesure de la concentration en MES des boues en entrée de centrifugeuse et l'asservissement par rapport à une même mesure mais sur les centrâts (liquide extrait des centrifugeuses). L'une et l'autre méthode sont proches car elles emploient les mêmes types de régulation et de dispositif de mesure, cependant elles possèdent chacune des avantages et des inconvénients que l'autre n'a pas (cf. Annexe 25) [27]. Vu les inconvénients présentés pour la régulation par la qualité des centrâts et surtout vu les retours d'expérience négatifs, il serait préconisé de choisir une régulation classique sur la concentration des boues en entrée de centrifugeuses. Il serait indispensable de continuer à observer le gâteau et à faire des mesures ponctuelles de NH_4^+ et DCO sur les centrâts pour avoir des outils supplémentaires de détection d'un dysfonctionnement.

4.8. Premier bilan sur les possibilités d'optimisation énergétique

Le diagnostic énergétique de la station via le logiciel OCEAN a permis non seulement de mettre en évidence des possibilités d'économies d'énergie mais aussi un potentiel d'amélioration du fonctionnement de la station. Les recommandations sont multiples et peuvent être classées par ordre de faisabilité et de priorité (cf. Tableau 16). Le classement proposé a été effectué par une évaluation arbitraire des différentes recommandations énumérées. La faisabilité a été évaluée en tenant compte de l'aspect logistique et financier ainsi que des délais de mise en place, tandis que la priorité a été mesurée par rapport à l'état d'urgence des défauts observés sur la station aujourd'hui.

Tableau 16: Classement par ordre de faisabilité et de priorité des recommandations émises

Recommandations	Faisabilité	Priorité
Diagnostic permanent des consommations énergétiques	2	2
Renégociation du contrat de fourniture	1	3
Diminuer les exigences de qualité en sortie tout en respectant la réglementation et en maintenant la biologie actuelle	5	1 *(s'il n'est pas souhaité de modifier l'exploitation de la biologie)*
Diminuer et stabiliser la charge massique à celle d'une aération prolongée	4	1 *(s'il est souhaité de modifier l'exploitation de la biologie)*
Optimiser le système de régulation de l'aération	7	5
Optimiser l'injection de chlorure ferrique en maintenant la biologie actuelle	3	4
Optimiser l'injection de $FeCl_3$ par asservissement au P_t en sortie	8	7
Optimiser l'injection de polymère par asservissement à la concentration des boues	6	6
Optimiser l'injection de polymère par asservissement à la qualité des centrâts	9	8

5. La maîtrise hydraulique en réseau : une autre piste d'optimisation énergétique

5.1. Intérêt et contexte de l'étude hydraulique

5.1.1. Une voie d'optimisation énergétique pour la station des Bords de Saône

Précédemment, des actions au droit de la station d'épuration ont été recommandées. Dans cette nouvelle partie, une étude hydraulique du système de collecte des eaux usées est proposée. Elle a pour objectif de proposer des solutions permettant de minimiser l'introduction d'eaux claires parasites d'infiltration et de captage. L'outil proposé est le diagnostic permanent des eaux claires parasites. En effet, cette voie d'optimisation est intéressante et non négligeable car une proportion importante des eaux usées traitées est en réalité des eaux claires parasites (ECP) qui diluent inutilement les eaux usées strictes. Cela engendre des surcoûts au niveau des pompages et des traitements puisqu'il y a plus de volumes à refouler/relever et à traiter [3]. Par ailleurs, cette proposition s'inscrit dans le contexte de l'arrêté du 21 Juillet et surtout les préconisations relatives au diagnostic permanent. Ce dernier permet de comptabiliser les ECP et de mettre en place des mesures de renouvellement ou réhabilitation du réseau.

5.1.2. La mise en évidence d'un réseau relativement ancien et de la présence d'ECP

Le réseau d'assainissement de la CCDSV possède un linéaire total d'environ 110km avec une répartition entre les communes présentée dans l'Annexe 26 (a). Les matériaux constitutifs des collecteurs du réseau sont divers : amiante-ciment, béton, fonte, grès, maçonne, PEHD et PVC (cf. Annexe 26, b). La majorité est en amiante ciment puis en PVC et béton. Les diamètres sont aussi très variés (cf. Annexe 26, c): les plus petits collecteurs sont des DN63, les plus grands sont des DN1000, et pratiquement la moitié du réseau est en DN200. La connaissance du patrimoine en termes de diamètres et de matériaux est pratiquement complète, néanmoins cela n'est pas le cas de l'année de pose des collecteurs dont le pourcentage d'âges de canalisation inconnus s'élève à 94,4% du réseau total. Les 5,6% connus portent sur des canalisations datant de 2006 à 2016. Le réseau de RPM est strictement gravitaire et séparatif tandis que le réseau de SBT est gravitaire et en partie unitaire notamment le centre de Trévoux, appelé aussi la « Vieille Ville ». Ainsi, le réseau de la CCDSV est en grande majorité (80%) séparatif (cf. Annexe 26, d).

Malgré l'absence de données sur l'année de pose des collecteurs du réseau d'assainissement de la CCDSV, plusieurs indices amènent à la déduction que ce dernier est relativement ancien et donc dégradé:

- Les communes de la CCDSV possèdent un passé qui remonte loin. Les centre villes semblent anciens visuellement et notamment pour la commune de Trévoux dont le centre ville se prénomme la "Vieille Ville" datant de l'époque médiévale. Cela est d'autant plus confirmé par l'observation qu'en centre ville de Saint Bernard et Trévoux le réseau est du type unitaire et en périphérie du type séparatif; cela met en évidence le caractère ancien des centres.
- Les matériaux constitutifs du réseau sont divers (amiante-ciment, béton, fonte, grès, maçonne, PEHD et PVC), cependant la majorité est en amiante-ciment (51,7%) puis en PVC (18,2%) et en béton (18,1%) (cf. Annexe 26, b). Même si l'interdiction de l'usage de l'amiante

n'arrive que très tardivement dans le monde (1997 en France), le caractère cancérogène du matériau sont connus depuis les années 50. On peut croire alors qu'une grande partie du réseau d'assainissement date d'une époque où les effets de l'amiante n'étaient pas encore connus, notamment dans les années 30 pendant lesquelles les industries ont fortement utilisé l'amiante [28].

- Une première version du schéma directeur a été partagée avec la collectivité et l'exploitant Veolia en 2015 dans lequel apparaissent entre autres les résultats de la sectorisation nocturne pour la détermination des débits d'eaux claires parasites permanentes, le résultat des inspections télévisées qui ont été réalisées depuis 2014 dans et hors du cadre du schéma directeur, et les résultats des tests au fumigène et au colorant effectuée par le bureau d'étude pour le repérage de mauvais branchements. Actuellement, c'est 22% du réseau de la CCDSV qui a été inspectée. Les résultats des inspections ultérieures à 2004 uniquement sont disponibles et mettent en évidence la plupart du temps des collecteurs dégradés avec de nombreux défauts structurels comme des défauts de joint et d'assemblage, des effondrements, des problèmes de revêtement et encore des fissures qui rendent le réseau relativement sensibles aux intrusions d'ECPP. Un programme de travaux visant à la mise en séparatif et à la préservation de l'état patrimonial du réseau a été proposé [5].

5.1.3. L'autosurveillance sur le réseau d'assainissement de la CCDSV

5.1.3.1. L'arrêté du 21 Juillet 2015 et autosurveillance

L'arrêté du 21 Juillet 2015, remplaçant l'arrêté du 22 Juin 2007, a pour objet les systèmes d'assainissement collectif et les installations d'assainissement non collectif recevant des charges brutes de pollution organique de plus de 1,2 kgDBO_5/j [4]. Il traite tous les aspects de la gestion des eaux usées strictes de la conception, à l'évaluation de la conformité des ouvrages concernés en passant par leur exploitation et surveillance. Plus particulièrement, il souligne l'importance de l'autosurveillance et du diagnostic permanent qui permet une connaissance précise du système d'assainissement et un suivi continu de son fonctionnement pour, entre autres, repérer les dysfonctionnements, mettre en place des mesures préventives et suivre les impacts des travaux entrepris. Notamment, l'arrêté précise les déversoirs d'orage DO devant être réglementés:

- Les DO drainant des BVs de plus de 2 000 EH, soit 120 kgDBO_5/j, et dont le cumul des volumes ou flux rejetés représente au minimum 70% des rejets annuels sont sujets à une mesure du temps de déversement et à une estimation du débit ou à une surveillance
- Les DO drainant des BVs de plus de 10 000 EH, soit 600 kgDBO_5/j, et déversant plus de 10j par an en moyenne quinquennale sont sujet à une mesure et un enregistrement en continu des débits et à une estimation des charges polluantes (DBO_5, DCO, Pt, NTK, MES)

Une autre possibilité qui peut être proposée par le Préfet dans le cas de la présence d'un usage sensible ou une sensibilité particulière du milieu récepteur est de réglementer les déversoirs d'orage dont le cumul des volumes ou charges rejetés correspond à 70% des volumes ou charges totaux rejetés par le système d'assainissement. L'Annexe 27 synthétise toutes les nouveautés apportées par le nouvel arrêté.

5.1.3.2. Les points équipés pour l'autosurveillance : de premiers éléments pour le diagnostic permanent des eaux claires parasites

Le bureau d'étude, Réalité Environnement, chargé de l'élaboration du schéma directeur du réseau d'assainissement de la CCDSV a réalisé une étude poussée sur les ouvrages existants et les charges émises dans le réseau qui a permis de proposer cinq points à équiper dans le cadre de l'autosurveillance imposée par l'arrêté du 21 Juillet 2015. Ces cinq points ont été équipés entre fin 2016 et début 2017 du système SOFREL LT-US majoritairement utilisé par Veolia pour les mesures de débits en regard d'assainissement. Le SOFREL recueille, enregistre et transmet les données mesurées par la sonde ultrason au superviseur Lerne. La sonde est associée à un détecteur de surverse. Ce dernier permet d'économiser la batterie de l'équipement en signalant à la sonde UV d'augmenter sa fréquence de mesure lorsqu'il repère un déversement (cf. Annexe 28).

Les cinq points équipés recouvrent pratiquement la totalité du réseau d'assainissement :

- Le point DO TR2 mesure les eaux de Saint Bernard et Trévoux Ouest
- Le point DO TR25 mesure les eaux de Saint Bernard, Trévoux Ouest et une partie de Trévoux Centre
- Le point DO TR1 mesure les eaux de Saint Bernard et Trévoux Ouest, Centre et une partie de la périphérie Est
- Le point DO RPM2 mesure les eaux de Massieux Nord, Parcieux et Reyrieux
- Le point DO RPM3 mesure les eaux Reyrieux et le Nord du centre de Parcieux
- Le point DO RPM5 mesure les eaux de Reyrieux

Dans le cadre du diagnostic permanent des eaux claires parasites, les cinq points d'autosurveillance cités précédemment suffisent pour une évaluation globale des volumes d'ECP transitant dans le réseau et entrant dans la station d'épuration. Cependant, ils ne suffisent pas pour une évaluation poussée visant à un suivi local de l'état des canalisations particulièrement sensibles aux intrusions d'eaux claires et où des travaux de renouvellement ou de réhabilitation seront probablement entrepris par la collectivité. Il faut implémenter des points de mesure permanents équipés de la même manière que les points autosurveillés notamment avec une remontée continue des mesures et une récupération de ces données pour traitement et analyse.

5.2. Mise en place du diagnostic permanent sur le réseau de la CCDSV

Pour mettre en place le diagnostic permanent, il faudrait déployer le logiciel de centralisation et traitement des données, GesCIRA, et proposer des points supplémentaires de mesure permanents qui permettraient, avec les six points déjà équipés dans le cadre de l'arrêté, d'évaluer assez précisément les volumes d'eaux claires parasites.

5.2.1. GesCIRA : un outil de Veolia pour le diagnostic permanent des eaux claires parasites

5.2.1.1. Généralités sur le logiciel

GesCIRA, acronyme de Gestion Centralisée des Informations en Réseau d'Assainissement, est un outil d'aide à la décision développé par Veolia dans le cadre du diagnostic permanent des réseaux d'assainissement. Il analyse et traite les données brutes issues des chambres de comptage du réseau,

qui ont été collectées par le superviseur Lerne puis récupérées par le serveur GesCIRA (cf. Annexe 29). L'outil est capable de calculer des volumes transités d'eaux usées totales, d'estimer les volumes d'eaux claires parasites d'infiltration (EPI) et de captage (EPC) et de calculer les volumes déversés. L'annexe 30 rappelle la distinction entre les eaux usées et les eaux claires parasites

5.2.1.2. Méthodologie du logiciel pour l'estimation des eaux claires parasites

Après import des données archivées depuis le serveur GesCIRA sur la plateforme du logiciel, l'utilisateur doit passer par trois étapes différentes pour en arriver à l'établissement d'une synthèse des volumes EU/EU strictes/Eaux Parasites d'Infiltration EPI/Eaux Parasites de Captage EPC.

- **Première étape : estimation des EU strictes et des EPI**

Sous les hypothèses qu'en temps sec il n'y a pas d'EPC et, que les EU sont composées de 20% d'EU strictes et 80% d'EPI en période nocturne (cf. Annexe 31), l'utilisateur sélectionne des jours de temps sec dont le profil de débit est cohérent. Deux profils moyens journaliers, un pour les jours de semaine et un pour les jours de weekend end, sont établis pour chaque mois de l'année. Cela permet de déterminer un volume moyen journalier d'EU strictes et d'EPI en temps sec (cf. Annexe 32).

- **Deuxième étape : estimation des ECP**

Les volumes d'ECP sont définis par GesCIRA commet étant les survolumes engendrés par les évènements pluvieux par rapport aux profils de temps sec déterminés dans l'étape précédente (cf. Figure 18).

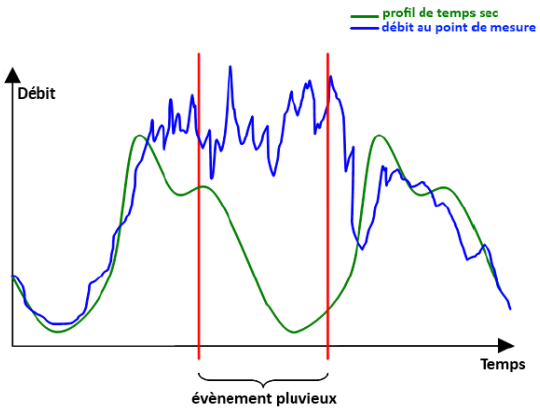


Figure 18: Détermination des volumes d'ECP pour un évènement pluvieux par rapport au profil de temps sec
(Source : Manuel utilisateur de GesCIRA)

L'utilisateur choisit alors les événements pluvieux pertinents en vérifient la coïncidence des débits par rapport à la pluviométrie mais aussi par rapport au profil de temps sec.

La surface active S_A du point de mesure est ensuite approximée par régression linéaire grâce aux survolumes des évènements retenus et de leur hauteur de pluie précipitée correspondante, notée h. GesCIRA calcule alors les volumes d'EPC de la manière suivante :

$$Survolume = V_{EPC} = h.S_A * 10 + r$$, avec r le seuil de pluie significatif (cf. Annexe 33)

- **Troisième étape : synthèse des volumes**

- Les volumes totaux d'eaux usées sont mesurés par la sonde ou calculés à partir des hauteurs mesurées.
- Les volumes d'EUS en temps sec ($V_{EUS,TS}$) sont issus des profils journaliers moyens mensuels

de l'étape 1

- Les volumes d'EPI en temps sec ($V_{EPI,TS}$) sont issus de la méthode du débit minimal nocturne
- Les volumes d'EPC (V_{EPC}) sont des survolumes en temps de pluie
- Les volumes d'EUS en temps pluie ($V_{EUS,TP}$) sont estimés de la manière suivante:

$$V_{EUS,TP} = moy(V_{EU\ tot,TS}) - V_{EPI,TS}$$

- Les volumes d'EPI en temps de pluie ($V_{EPI,TP}$) sont estimés de la manière suivante

$$V_{EPI,TP} = V_{EU\ tot} - V_{EUS,TP} - V_{EPC}$$

5.2.1.3. Limite de la méthode et du logiciel

L'utilisation de ce logiciel présente de nombreuses limites. Seules celles observées lors de cette étude seront énumérées par soucis de concision.

Tout d'abord, la méthode n'est pas applicable en présence d'industriels car leur rejet d'eaux usées dépend de leur production industrielle qui est trop imprévisible pour supposer des proportions d'eaux usées strictes et d'eaux claires parasites d'infiltration strictes constantes en période nocturne et pour supposer que les survolumes observés en période pluvieuse ne provient que des précipitations et non pas des industries. Ainsi, de manière plus général, il n'est pas possible de distinguer les eaux parasites des eaux industrielles.

Ensuite, la remontée des données brutes jusqu'au serveur rencontre souvent des dysfonctionnements: il arrive souvent que les sondes de mesure ne fonctionnent pas et donc ne mesure rien engendrant des plages temporelles relativement grandes sans aucune donnée; ou encore il arrive que les sondes fonctionnent mal se traduisant par des incohérences par exemple entre la pluviométrie mesurée et les hauteurs ou débits mesurés ou encore les volumes déversés dans le milieu naturel. Il n'y a aucune solution pouvant permettre de récupérer des données lorsqu'aucune mesure n'a été faite, cependant lorsqu'il y a des anomalies il est possible de modifier les archives brutes de façon à obtenir des valeurs cohérentes avec le contexte pluviométrique ou avec des mesures fiables qui auraient été faites autre part sur le réseau. La difficulté dans cette tâche est que GesCIRA fonctionne à pas de temps de 5 minutes quand il s'agit de mesures de hauteur et donc que l'utilisateur possède peu d'emprise sur la valeur des volumes que GesCIRA va estimer une fois les données brutes modifiées. Cela rend les résultats moins fiables et cette incertitude est d'autant plus forte que la quantité de données à modifier est importante.

5.2.2. Déploiement de GesCIRA sur les points déjà équipés dans le cadre de l'arrêté

Les mesures provenant des six points déjà équipés pour l'autosurveillance sont d'ores et déjà archivées dans le serveur Lerne. Afin de procéder au déploiement de GesCIRA sur ces points, il faut tout d'abord automatiser le transfert des données du Lerne vers le superviseur GesCIRA. Puis il s'agit de créer les points sur la plateforme GesCIRA et renseigner à l'outil les différents paramètres à importer depuis son superviseur. Enfin, il faut paramétrer les éventuels calculs qu'il doit effectuer (calcul d'un débit de pompage ou de déversement).

5.2.3. Proposition de nouveaux points de mesure permanents

5.2.3.1. Méthodologie adoptée

Tout d'abord, au vu de la limite de la méthode d'estimation des ECP de GesCIRA (cf. 5.2.1.3), des points de mesure doivent être instaurés à l'aval direct des zones industrielles (ZI). Ils permettraient de faire des estimations plus correctes des EUS et ECP en ayant la connaissance précise des volumes provenant des ZI. L'idéal est de disposer de remontée permanente des rejets de chaque industriel dans le réseau d'assainissement mais cela nécessite un investissement financier pour la construction et la maintenance de la part des industriels concernés, ce qui n'est pas aisé d'obtenir.

Ensuite, la proposition de points de mesure permanents peut suivre une méthodologie assez simple et intuitive mais pertinente, qui est de se baser sur les années de pose des canalisations et sur les résultats d'inspections télévisées réalisées auparavant. Ces deux données rendent possible l'élaboration d'un plan de mesures en visant les secteurs les plus anciens et dont les inspections ont mis en évidence des collecteurs dégradés. Cependant, comme dit précédemment (cf. 5.1.2), les informations quant à l'âge des collecteurs sont peu nombreuses et ne suffisent pas. Il existe des facteurs autres que l'âge qui pourraient être pertinentes tel que le matériau, l'occupation du sol ou encore le type de réseau (unitaire/ séparatif). En effet, ces derniers permettraient d'estimer l'état de dégradation des collecteurs en croisant les inspections télévisées et l'état des habitations desservies et des voiries. L'âge serait extrapolé en observant les matériaux et le type de réseau des collecteurs voisins dont l'année de pose est connue.

La méthode employée est finalement basée sur de nombreuses extrapolations mais étant donné que les informations patrimoniales liées à l'état interne des collecteurs sont fortement limitées, elle semble la seule solution pour pouvoir atteindre l'objectif de mise en place de points de diagnostic permanent. D'ailleurs, le diagnostic permanent permettrait de renforcer la connaissance du patrimoine et ainsi palier au manque de données auquel l'étude fait face aujourd'hui.

5.2.3.2. Les nouveaux points de mesure permanents

L'application de la méthodologie décrite précédemment (cf. 5.2.3.1) pointe de nombreux points qui pourraient être intéressants pour le diagnostic permanent toutefois le budget étant très limité, un choix a du être fait et cinq points ont été retenus. L'Annexe 34 positionne ces cinq nouveaux points à équiper et l'Annexe 35 les décrit et justifie de leur sélection pour le déploiement de GesCIRA et de la mise en place du diagnostic permanent.

L'aspect financier étant primordial, une estimation des coûts engendrés par l'achat du matériel et son installation a été effectué (cf. Annexe 35): les cinq points induiraient un coût total approximatif de 8 360€, main d'œuvre pour l'installation et le calibrage des sondes comprise.

5.3. Exemples d'application : établissement du diagnostic permanent sur quatre contrats du centre

5.3.1. Présentation rapide et générale des contrats

Au sein du centre RLA, l'établissement du diagnostic permanent via GesCIRA n'est contractuel

que sur quatre contrats qui sont les contrats de Mâcon, d'Andrézieux-Bouthéon, du Syndicat des Trois Ponts et du Grand Projet (cf. Annexe 2). L'Annexe 37 en fait un récapitulatif succinct.

5.3.2. Résultats obtenus

L'objectif initial de GesCIRA est l'estimation des ECP, toutefois il est possible d'aller plus loin qu'une simple synthèse des EPI, EPC et EU strictes en présentant les résultats de façon à répondre aux attentes réelles du client. Effectivement, d'un point de vue réglementaire, économique et politique, les collectivités sont intéressées par les volumes déversés par les communes raccordées, ainsi que par les volumes transitant aux points caractéristiques et postes de pompage. Avec GesCIRA, il est possible de présenter ces volumes avec une distinction entre ECP et EU strictes (cf. Annexe 38, a à d). Elles portent aussi grande attention aux volumes déversés au milieu naturel qui sont surveillés et réglementés (cf. Annexe 38, e). En plus, dans le cadre de mauvais raccordement d'eaux pluviales et de travaux entrepris pour y remédier, il est possible au travers de l'évolution de la surface active en certains points d'attester des bienfaits apportés par les modifications (cf. Annexe 38, f et g).

5.4. Étude de l'impact de la réduction des ECP par la modélisation OCEAN

5.4.1. Estimation des volumes d'eaux claires parasites

L'estimation des volumes d'eaux claires parasites est permise par l'utilisation du logiciel GesCIRA comme il a été montré sur les trois contrats pris pour exemples d'application (cf. 5.3). Toutefois, comme l'outil n'est pas encore déployé totalement sur le réseau concerné (cf. 5.2) et qu'il n'y a pas encore suffisamment de données sur les points déjà équipés (cf. 5.1.3), les volumes d'eaux claires parasites utilisés pour cette étude ont été soutirés du schéma directeur en cours de rédaction. En effet, la phase 4 provisoire du schéma directeur pour le réseau d'assainissement de la CCDSV propose deux volumes estimés des eaux claires parasites (cf. Annexe 39). Les estimations d'Artelia sont beaucoup plus faibles que celles du BE en charge du schéma directeur. Comme la note de dimensionnement d'Artelia n'a pu être obtenue pour évaluer la pertinence de la méthode de calcul, les deux estimations seront considérées pour l'étude de l'impact des ECP sur les consommations énergétiques.

5.4.2. Impact des volumes d'ECP sur les consommations électriques en 2016

L'utilisation du logiciel OCEAN pour le diagnostic de la station présente l'avantage de permettre la comparaison entre l'exploitation réelle de la station (modèle calé) et l'exploitation optimale proposée par OCEAN (modèle vierge). L'impact des volumes d'ECP sur les consommations électriques en 2016 sera évalué sous ces deux modèles d'exploitation. Pour chaque modèle, trois situations sont comparées:

Cas 1. La situation actuelle de 2016 sans réduction des volumes d'ECP

Cas 2. Une réduction à 100% des volumes d'ECP estimés par Artelia appliquée aux flux et charges observées en 2016

Cas 3. Une réduction à 100% des volumes d'ECP estimés par le Schéma Directeur appliquée aux flux et charges observées en 2016

5.4.2.1. Étude sous le modèle calé sur l'année 2016 sur OCEAN

L'Annexe 40 compare les consommations électriques dans les trois cas énumérés

précédemment sous le modèle OCEAN calé sur l'exploitation réelle observée en 2016 sur la station. L'élimination des volumes d'ECP estimés par Artelia (cas 2) ou par le schéma directeur (cas 3) induit une réduction intéressante de la consommation totale d'énergie. En effet, une économie de 190 et 310 kWh/j sont observables respectivement pour les cas 2 et 3, soit des gains de 4 900 € et 7 900 €. Ces derniers proviennent principalement des relèvements et de la désinfection UV dont les besoins énergétiques dépendent directement du débit à traiter. Comme les débits sont diminués, leur consommation est forcément moindre. Le traitement secondaire voit sa consommation diminuer dans une moindre mesure mais non à cause de l'aération puisque les paramètres biologiques restent les mêmes mais à cause des pompes de recirculation : par définition du taux de recirculation, pour un même taux, si le débit d'eaux brutes diminue alors le débit de recirculation aussi.

5.4.2.2. Étude sous le modèle d'exploitation optimale proposé par OCEAN

En supposant qu'en 2016 l'exploitation était celle proposée par OCEAN, une absence des ECP en 2016 aurait engendré une baisse approximative de la consommation énergétique de 140 kWh/j et 230 kWh/j respectivement pour les cas 2 et 3 (cf. Annexe 41), ce qui est plus faible qu'observer sous l'exploitation réelle. Ces économies proviennent aussi des relèvements et de la désinfection et induirait des gains de plus de 4 300 € et 5 800 €. Les besoins énergétiques de l'aération augmentent légèrement avec les concentrations en entrée ; de même que la file boue qui est plus sollicitée puisque que le taux de recirculation est plus élevé pour une concentration en MES dans les bassins plus élevé et que plus ce taux augmente plus les volumes de boues à déshydrater sont élevés.

5.4.2.3. Comparaison des deux modèles d'exploitation soumis à la réduction d'ECP

L'impact d'une réduction des ECP semble plus important sous le modèle d'exploitation actuel car sous le modèle optimal d'OCEAN, les paramètres du traitement biologique sont adaptés à la charge entrée. Ainsi une diminution du volume entrant d'eaux brutes entraînant une augmentation des concentrations en entrée induit une augmentation du poids de boues préconisé dans les bassins biologiques et donc une augmentation des besoins en oxygène de la biomasse. Si l'exploitation recommandée par OCEAN est appliquée avec une adaptation du poids de boues aux charges en entrée alors la réduction des ECP devrait avoir un effet positif sur la consommation totale par les relevages et la désinfection toutefois on observera une augmentation des consommations au du traitement biologique et des boues.

5.4.3. Impact des volumes d'ECP à long terme

5.4.3.1. Caractérisation de l'état futur en terme d'équivalents-habitants et de charges organiques

Le schéma directeur du réseau d'assainissement de la CCDSV propose une projection à horizon de 2031 de l'état démographique et urbain de la zone desservie et prévoit 22 194 habitants en 2031. L'annexe 42 détaille la projection du nombre d'habitants en 2031 sous les hypothèses suivantes :

- Pour Saint Bernard, Parcieux et Massieux : un taux annuel d'évolution démographique constant entre 2012 et 2031 identique à celui observé entre 1999 et 2012
- Pour Trévoux : un ajout de 1000 habitants supplémentaires à horizon de 2031 par rapport à 2012 selon le service d'urbanisme de la commune et,

- Pour Reyrieux : 7 961 habitants en 2025 selon le PLU de la commune et les données de l'INSEE, et un taux annuel d'évolution démographique constant entre 2025 et 2031 qui est celui observé entre 1999 et 2012

Les informations indispensables pour travailler sous OCEAN sont le flux et les charges journaliers entrants. Il y a alors deux manières de déterminer des caractéristiques pour 2031 :

- Méthode 1 : déterminer le nombre d'équivalent-habitant correspondant à la projection du nombre d'habitant puis en déduire la charge en DBO_5 équivalente par la relation théorique qu'un équivalent-habitant produit 60 $gDBO_5/j$
- Méthode 2 : partir des charges maximales actuelles reçues par la station d'épuration et y ajouter la charge en DBO_5 provenant des habitants supplémentaires prévus à échéance de 2031 par la même relation reliant charge et équivalent-habitant

La méthode 1 résulte en un nombre d'équivalent-habitant d'environ 29 200EH ce qui est supérieure à la capacité nominale de la station de 27 000EH. La méthode 2 résulte en une charge de 1 428 $kgDBO_5/j$, ce qui représente 88% de la capacité nominale de la station de 1 622 $kgDBO_5/j$. Par soucis de cohérence avec les caractéristiques nominales de la station et jugeant la deuxième méthode plus pertinente, les résultats de la méthode 2 sont retenues.

A partir de cette charge en DBO_5, il faut déterminer le flux entrant et les autres charges entrantes. La méthode employée est la suivante :

Etape 1. Par une règle de trois entre les capacités nominales de la station (débit et charge en DBO5) et la charge prévue pour 2031, déterminer le débit entrant d'eaux brutes pour 2031 :

$$Q_{EB;2031} = \frac{Q_{EB;nominal} * Charge\ DBO_{5;2031}}{Charge\ DBO_{5;nominale}} \cong 5\ 200\ m^3/j$$

Avec $Q_{EB\ ;nominal}$ = 5 904m^3/j, Charge $DBO_{5\ ;nominale}$=1 622 $kgDBO_5/j$ et Charge $DBO_{5\ ;2031}$ = 1 428 $kgDBO_5/j$

Etape 2. Déterminer les charges de 2031 en DCO, MES, NK, NH4 et Pt en appliquant le ratio $DBO_{5\ ;2031}/DBO_{5\ ;nominale}$ qui vaut 88% aux charges de référence de la station. Cette deuxième étape repose sur une hypothèse très forte concernant l'évolution des charges de ces paramètres : en effet, elle considère que l'évolution de toutes les charges est la même au cours du temps, ici en l'occurrence identique à celle prévue pour la DBO_5. Il sera alors nécessaire de prendre en compte l'incertitude liée à l'approximation de ces charges dans l'évaluation des modèles qui va suivre.

5.4.3.2. Conséquences de l'évolution urbaine sur les consommations énergétiques sans réduction des ECP

L'évolution urbaine entre 2016 et 2031 annonce une augmentation des flux et charges à traiter non négligeable. En l'absence d'une réduction des eaux claires parasites, la consommation énergétique totale du site découlant de cette forte augmentation est augmentée de 863 kWh/j, soit plus de 315 000 kWh/an (cf. Annexe 43) et 22 000 €/an supplémentaire. Elle provient de la file boue et plus particulièrement de l'aération des bassins biologiques et de la déshydratation dont la consommation électrique croit de 130% et de 166% respectivement: en effet, les charges en entrée

étant plus élevées, la concentration en MES préconisée dans les bassins est doublée. En conséquence, les besoins en oxygène le sont aussi. En outre, l'injection de chlorure ferrique est indispensable pour l'abattement du phosphore pour rester dans la limite des normes.

5.4.3.3. Conséquences de la présence d'ECP sur les consommations électriques en 2031

L'étude de l'influence des volumes d'ECP sur les consommations électriques en 2031 est intéressante car elle prend en considération l'augmentation des flux et des charges due à l'évolution démographique urbaine. Elle s'effectuera sur le modèle d'exploitation optimal proposé par OCEAN en supposant qu'en 2031, cet optimum aura pu être atteint.

Trois situations sont comparées:

- Cas 1 : La situation prévue pour 2031 sans réduction des volumes d'ECP
- Cas 2 : Une réduction à 100% des volumes d'ECP estimés par Artelia appliquée aux prévisions pour 2031
- Cas 3 : Une réduction à 100% des volumes d'ECP estimés par le Schéma Directeur appliquée aux prévisions pour 2031

Une absence des ECP permet une diminution de 157 et 240 kWh/j environ respectivement dans les cas 2 et 3, soit des économies de 1 100 et 1 680 €/j. Tout comme en 2016, l'éradication des ECP permet de diminuer les besoins énergétiques des relevages et de la désinfection UV et induit une légère augmentation de ceux du traitement biologique et du traitement des boues (cf. Annexe 43).

5.5. Bilan sur l'optimisation hydraulique du réseau

Après une étude des leviers d'actions possible au droit de la station, il a été étudié une nouvelle voie possible d'optimisation énergétique de la station qui concerne le réseau. Il s'agit de la réduction des eaux claires parasites dans le réseau d'assainissement pour diminuer les volumes traités. Une analyse des impacts des ECP a été effectuée sur différents cas grâce à l'outil de modélisation OCEAN et a mis en avant que la réduction des ECP à 100% permettraient de diminuer les besoins énergétiques de pompage et du poste de désinfection UV au dépend d'une très faible augmentation des besoins de l'aération et du traitement des boues. Cette réduction est d'autant plus importante que l'évolution démographique et urbaine annonce une augmentation non négligeable du nombre d'habitants et donc des intrants dans la station d'épuration. Dans cette optique, il paraît alors intéressant de proposer la mise en place d'un diagnostic permanent des eaux claires parasites sur le réseau de la CCDSV à l'image de ce qui a été fait sur les contrats pris pour exemples d'application. Actuellement, un programme de travaux a été proposé par le bureau d'étude Réalité Environnement pour la mise en séparatif intégrale des communes de Saint Bernard et de Trévoux ainsi que pour la diminution des ECP [5]. Toutefois, ces travaux ne prévoient qu'une diminution des ECP de 20% d'ici 2031, ce qui est très peu. Effectivement, d'après la modélisation OCEAN réalisée pour une réduction totale des ECP, il semble que 20% de réduction ne suffirait pas pour affecter de manière positive et significative la performance énergétique de la Station des Bords de Saône.

Conclusions générales

Le travail effectué a permis d'étudier le fonctionnement général et les performances énergétiques de la Station des Bords de Saône à Massieux. Cette étude initiée par l'intégration de la norme ISO 50001 au centre de la politique de développement de Veolia a permis de remettre en question l'exploitation actuelle afin de l'optimiser. Pour cela, la méthodologie employée a intégré le logiciel de modélisation énergétique développé par Veolia, OCEAN. Cette analyse diagnostique a ainsi permis la proposition de recommandations pour une optimisation du fonctionnement de la station et débouchera possiblement sur un plan d'actions lancé par le Centre RLA.

Des indicateurs de performance ont tout d'abord été utilisés pour évaluer le fonctionnement global de la station. Cette analyse a souligné que les influents de la station étaient soumis à l'influence des eaux claires parasites pendant les saisons pluvieuses. Par ailleurs, l'étude des paramètres biologiques définissant le fonctionnement de la station (âge de boues, charges massique, extraction des boues..) a montré une certaine stabilité de ces derniers. En effet, l'âge de boue est stable à environ 33 jours, la charge massique avoisine quotidiennement les 0,026 $kgDBO_5$/(kgMVS.j) et environ 380 kgMES/j par file sont envoyées à la déshydratation. Cependant, malgré cette stabilité, ces paramètres biologiques ne semblent pas adaptés à de bonnes performances énergétiques : les boues activées étant du type aération prolongée, la charge massique est trop faible et devrait être d'environ 0,07 $kgDBO_5$/(kgMVS.j), il en découle une concentration en boues dans les bassins et un âge de boue trop élevés ; cela entraîne alors des surconsommations à la fois en oxygène et en réactifs. Au niveau énergétique, il a été prouvé que des situations de sous-charges de la station ne sont pas bénéfiques : en effet, le ratio kWh/m^3 d'eaux brutes montre qu'un taux de charge inférieur à 50% de la capacité nominale entraîne une surconsommation électrique car la station est dimensionnée sur la base d'une charge nominale. Enfin, la confrontation des consommations électriques de la station fournies par EDF à la puissance souscrite dans le contrat (320kW) a fait ressortir un potentiel de gain allant jusqu'à près de 600€ si une renégociation à la baisse de la puissance souscrite était entreprise.

La modélisation de la station sur le logiciel OCEAN a commencé par un calage du modèle. Les données utilisées sont les paramètres d'exploitation observés sur l'année 2016. La méthode de calage est critiquable car les valeurs utilisées sont des moyennes et interroge la représentativité du modèle ; en plus la validation du modèle a été effectuée par comparaison aux mesures du compteur général. Pour un modèle plus fiable, il aurait fallu des mesures de sous-comptage sur plusieurs jours au niveau de chaque poste et ensuite faire une comparaison des consommations modélisées et mesurées. Toutefois, le manque de temps et de moyens a limité l'étude au compteur général. Malgré ces contraintes, le calage a débouché sur un modèle présentant un écart très satisfaisant de 2% par rapport à la réalité. De plus, la répartition des consommations électriques proposés par le modèle sont cohérents avec ce qui est habituellement observé et ce au niveau de: en effet, la file eau est la plus énergivore avec 81% de la consommation totale et la file boues en représente seulement 9%. A une échelle plus fine, il ressort que l'aération des bassins biologiques est responsable pour 57% de la consommation totale, la désinfection UV 11% et les relèvements 10%.

Pour procéder à une analyse plus approfondie de l'exploitation de la station, une modélisation

sans calage de la station a été effectuée sur OCEAN. Cette dernière proposant un modèle d'exploitation optimum de la station, a servi de base pour évaluer l'exploitation actuelle et en dégager des leviers d'actions pour amélioration qui sont les suivantes :

- Recaler la puissance souscrite par rapport aux besoins réels de la station. Une puissance de 270 kW a été proposée et devra être revue quand une année de données sera disponible
- Mettre en place un diagnostic permanent des consommations électriques au travers de six postes de sous-comptage
- Ajuster le poids de boue dans les bassins biologiques à la charge entrante en jouant sur l'extraction vers la file de traitement des boues pour augmenter et maintenir la charge massique à environ 0,07 $kgDBO_5$/(kgMVS.j) (contre 0,026 observé aujourd'hui).
- Interpréter et appliquer la norme de qualité de rejet sans surqualité en jouant sur le degré d'abattement des ions NH_4^+ notamment
- Mettre en place une régulation de la puissance d'aération avec le dispositif AMONIT^{TM} pour adapter l'apport d'air aux besoins réels de la biomasse et donc faire des économies au niveau de l'aération
- Modifier l'injection de chlorure ferrique pour répondre à la surconsommation du réactif; selon OCEAN, le besoin étant de 4,34 kg/j/file contre 65 kg/j/file observé actuellement
- Optimiser l'injection de polymère par une régulation à la concentration des boues extraites
- Mettre en place un diagnostic permanent du réseau de collecte pour une diminution des eaux claires parasites et ainsi réduire les volumes intrants à la station, générer des gains d'énergie au niveau des pompages et de la désinfection UV, et enfin prendre en considération l'augmentation des flux et des charges prévues à l'avenir

Il s'agit ici d'une liste de propositions qui ont pu être étudiées dans le cadre du stage et avec les moyens fournis, elle n'est alors pas exhaustive. Effectivement, pour exemple, la solution du lissage des consommations électriques ne figure pas ici : il s'agirait d'adapter les mises en marche/arrêt des équipements selon les périodes EDF par des délestages, et ce afin de diminuer considérablement les coûts énergétiques et d'éviter les dépassements de puissances souscrites.

Finalement, l'étude réalisée est un travail préliminaire qui a permis de dégager des pistes d'amélioration intéressantes qui seront à étudier plus en profondeur avant de les proposer aux communes. Elle est d'autant plus importante qu'aujourd'hui, les méthodes de production d'électricité qui se développent sont l'éolien et le solaire. Ces deux moyens de production dépendent fortement des conditions météorologiques sur lesquelles l'homme a peu de contrôle. La production d'électricité pourra alors s'avérer très variable. Ainsi, dans le futur, il ne sera pas surprenant que les producteurs d'énergie demandent aux plus gros consommateurs, tels que les exploitants de stations de traitement, de diminuer leur consommation. Pour ces derniers, il sera alors crucial de développer de nouvelles stratégies de pilotage qui permettraient à la fois de répondre aux contraintes du producteur d'électricité et de respecter les objectifs de qualité en rejet. Il s'agira plus précisément de voir comment le fonctionnement des usines pourrait inclure le facteur qui est la fluctuation du coût de l'électricité. La réalisation d'études et la mise en place de plans d'action pour une optimisation dès aujourd'hui des consommations électriques sont alors un moyen pertinent de se préparer aux changements futurs.

Bibliographie

[1] AFNOR. Norme ISO 50001. **Systèmes de management de l'énergie – Exigences et recommandations de mise en œuvre**. Organisation internationale de normalisation, 2011.

[2] VEOLIA ZONE GRAND EST. **Sensibilisation ISO 50001**. Document interne, 2015.

[3] PUJOL R., ARNAUD P. **Plaidoyer pour optimisation technique et énergétique des stations**. TSM, 2015 – 110e année, numéro ½, p. 32-38

[4] MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE. **Arrêté du 21 juillet 2015 relatif aux systèmes d'assainissement collectif et aux installations d'assainissement non collectif, à l'exception des installations d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j de DBO5**. JORF n°0190 du 19 Août 2015. P14457 texte n°2.

[5] RÉALITÉ ENVIRONNEMENT. **Schéma directeur d'assainissement des réseaux de collecte des communes de Trévoux, Saint-Bernard, Reyrieux, Parcieux et Massieux**. Document interne provisoire du bureau d'étude, 2015.

[6] SOGEA. **Dossier des Ouvrages Exécutés DOE de la STEP de Massieux**. Document interne, 2015.

[7] VEOLIA EAU FRANCE, DIRECTION TECHNIQUE FRANCE. **Modules de Formation Continue pour les Stations d'Epuration**. Document interne à Veolia, 2015.

[8] CHOCAT B. **Encyclopédie de l'Hydrologie Urbaine et de l'Assainissement**. Hermès – Lavoisier, 4e édition, 1997. 1124p. <http://www.georisques.gouv.fr/glossaire>

[9] DERONZIER G., SCHETRITE S., RACAULT Y., CANLER J-P., LIENARD A., HEDUIT A., DUCHENE P. **Traitement de l'azote dans les stations d'épuration biologique des petites collectivités**. Document Technique FNDAE n°25, Cemagref Editions, 2001. 79p.

[10] MÜLLER E., THOMMEN R., STÄHLI P. **L'énergie dans les stations d'épuration**. ISBN 3-905251-26-4

[11] GRAIE. **Retour d'expériences sur l'optimisation énergétique des stations d'épuration**. Document de travail évolutif – version 1 – Octobre 2012. 13p.

[12] VEOLIA EAU FRANCE, DIRECTION TECHNIQUE FRANCE. **Benchmark Les indicateurs des Stations d'épuration en France**. Document interne à Veolia, 2015.

[13] VEOLIA DIRECTION TECHNIQUE RÉGION CENTRE EST. **Guide Méthode et Standard Exploitation**. Document interne à Veolia, 2013.

[14] CANLER J. P., Gis BioStep. **Dysfonctionnements biologiques des stations d'épuration: origines et solutions**. Document technique FNDAE n°33, Cemagref Editions, 2005. 124p.

[15] DERONZIER G., CHOUBERT J-M. **Traitement du phosphore dans les petites stations d'épuration à boues activées**. Document technique FNDAE n°29, Cemagref Editions, 2004. 24p.

[16] CHOUBERT J-M. **Analyse et optimisation du traitement de l'azote par les boues activées à basse température**. Thèse de Doctorat, Sciences pour l'Ingénieur Spécialité Génie des Procédés, 2002. 266p.

[17] AZIMI S., ROCHER V. **Stratégie d'optimisation énergétique au sein d'une d'épuration**. Cas du SIAAP. TSM, 2016 – 111e année, numéro 5, p. 14-31

[18] VEOLIA OTV. **Rapport d'audit énergie Station d'Épuration de Boulogne sur Mer.** Document interne à Veolia, 2011.

[19] EDF ÉLECTRICITÉ DE FRANCE. **Bien connaître le tarif vert "A5" Électricité Moyenne Tension**. Edition Janvier 1989.

[20] MILLION J.-L., MOATAMRI N., PRINTEMPS-VACQUIER C. **Point sur la régulation Amonit**. Document interne à Veolia, 2009.

[21] VEOLIA EAU DIRECTION TECHNIQUE RÉGION NORD OUEST. **Retour d'expérience régional AMONIT MSA Abbeville**. Document interne à Veolia, 2014.

[22] DIRECTION TECHNIQUE DE VEOLIA EAU. **AMONIT™ Régulation de l'aération des bassins biologiques à cultures libres par mesure de NH_4^+ et NO_3^-**. Dossier Technique Interne.

[23] EAU DE PARIS – Direction de l'Ingénierie. **Syndicat d'Assainissement des Aravis – Étude diagnostique des systèmes de régulation des injections de réactifs en tête des décanteurs primaires**. Note de synthèse, 2011.

[24] ONEMA. **Guide d'exploitation Ouvrages de traitement par boues activées.** Janvier 2015.

[25] CANLER J-P, PERRET J-M. **Les Clarifoculateurs plus particulièrement utilisés en traitement tertiaire.** Document technique FNDAE n°35, Cemagref Editions, 2007. 80p.

[26] HACH LANGE. **Optimisation de la déshydratation des boues**. Rapport d'application: station d'épuration de Bran Sands, Royaume-Uni, 2015.

[27] MOATAMRI N. **De l'analyse du pilotage d'un décanteur centrifuge à son instrumentation**. Thèse de Doctorat, Sciences de l'ingénieur Spécialité Génie des Procédés, ENSIA (AgroParisTech), 2003. 234p.

[28] LIGUE NATIONALE CONTRE LE CANCER. **Les dangers de l'amiante**. Brochure d'information. 24p. < https://www.ligue-cancer.net/shared/brochures/dangers-amiante.pdf >

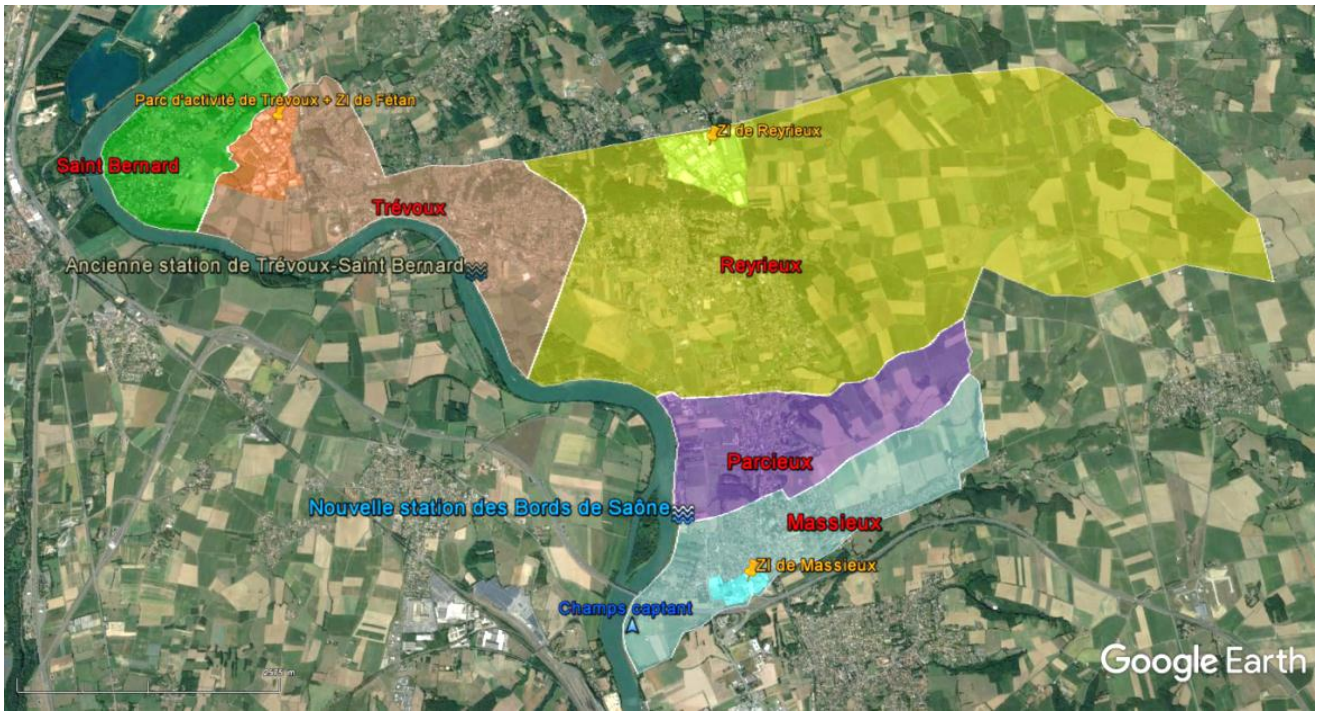
Annexes

ANNEXE 1: LA ZONE GRAND EST 65
ANNEXE 2: LES SITES ETUDIES DANS LE CADRE DU STAGE 65
ANNEXE 3: LOCALISATION DE LA CCDSV ET DE CES STATIONS D'EPURATION *(SOURCE: GOOGLE EARTH)* 65
ANNEXE 4: EXIGENCES REGLEMENTAIRES NATIONALES ET PRESCRIPTIONS DU SERVICE DE POLICE DE L'EAU 66
ANNEXE 5: LES MODULES DE TRAITEMENT D'OCEAN 66
ANNEXE 6: SYNOPTIQUE SIMPLIFIE DE LA STATION DES BORDS DE SAONE 67
ANNEXE 7: DEFINITIONS ET PRECISIONS SUR LE TRAITEMENT BIOLOGIQUE A BOUES ACTIVEES EN AERATION PROLONGEE 68
ANNEXE 8: SQUELETTE DU MODELE ENERGETIQUE DE LA STATION DES BORDS DE SAONE SUR OCEAN 70
ANNEXE 9: ÉVOLUTION DE LA CONSOMMATION ELECTRIQUE DE LA STATION DES BORDS DE SAONE EN 2016 71
ANNEXE 10: PARAMETRES DU TRAITEMENT BIOLOGIQUE ET DU TRAITEMENT DES BOUES EN 2016 71
ANNEXE 11: METHODE DE CALCUL DE L'ESTIMATION DU BESOIN JOURNALIER D'OXYGENE DJO (KGO_2/J) 72
ANNEXE 12: SYNTHESE DES CONSOMMATIONS ELECTRIQUES 73
ANNEXE 13: RATIOS INDICATEURS DE PERFORMANCE CALCULES PAR OCEAN 73
ANNEXE 14: ANALYSE DE LA CONFORMITE DES REJETS EN 2016 73
ANNEXE 15: CARACTERISTIQUES DU CONTRAT DE FOURNITURE 74
ANNEXE 16: PROFIL HEBDOMADAIRE MOYEN DES PUISSANCES CONSOMMEES EN MARS ET AVRIL 2017 74
ANNEXE 17 : COMPARAISON DE STATIONS SUR LES INDICATEURS TAUX DE CHARGE ET SICCITE DES BOUES EN COMPOST 75
ANNEXE 18: RECAPITULATIF DES PARAMETRES DU TRAITEMENT BIOLOGIQUE PROPOSES PAR LE MODELE VIERGE OCEAN 75
ANNEXE 19: IMPACT DE LA QUALITE EN SORTIE SUR LES BESOINS DU TRAITEMENT BIOLOGIQUE 76
ANNEXE 20: RECOMMANDATIONS POUR AGIR LA QUALITE EN REJET 77
ANNEXE 21: METHODE DE CALCUL POUR L'ESTIMATION DE LA CONCENTRATION EN MES A APPLIQUER SELON LA CHARGE EN ENTREE 78
ANNEXE 22: PROCEDURE D'ADAPTATION PROGRESSIVE DE LA CHARGE MASSIQUE 79
ANNEXE 23: PROCEDURE DE STABILISATION DE LA BIOLOGIE 80
ANNEXE 24: LES DEUX TYPES DE REGULATION AMONIT 80
ANNEXE 25: COMPARAISON DES DEUX MOYENS DE REGULATION DE L'INJECTION DE POLYMERE 81
ANNEXE 26: CARACTERISTIQUES DU RESEAU DE LA CCDSV ETUDIE 82
ANNEXE 27: SYNTHESE DES NOUVEAUTES DE L'ARRETE DU 21 JUILLET 2015 PAR RAPPORT A L'ARRETE DI 22 JUIN 2007 83
ANNEXE 28: EMPLACEMENT DES POINTS REGLEMENTES DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT DE LA CCDSV ET DISPOSITIF DE MESURE SOFREL LT-US MISE EN PLACE SUR CES POINTS (*SOURCE: CAMILLE LAM, FRANÇOIS MANN, LE 17/03/2016)* 84
ANNEXE 29: METHODE DE RECUPERATION DES DONNEES BRUTES UTILISEE PAR VEOLIA POUR GESCIRA 85
ANNEXE 30: DISTINCTION EAUX USEES ET EAUX CLAIRES PARASITES 85
ANNEXE 31: METHODE DU DEBIT MINIMAL NOCTURNE POUR LA DETERMINATION DES EPI 86
ANNEXE 32: ÉTABLISSEMENT DE PROFILS MOYENS JOURNALIERS POUR L'ESTIMATION DES EPI 86
ANNEXE 33: DETERMINATION PAR GESCIRA DE LA SURFACE ACTIVE DU POINT ETUDIE 86
ANNEXE 34: LOCALISATION DES POINTS DE MESURE PROPOSES DANS LE CADRE DU DIAGNOSTIC PERMANENT 87
ANNEXE 35: FICHES DESCRIPTIVES DES POINTS PROPOSES POUR LE DIAGNOSTIC PERMANENT 88
ANNEXE 36: COUTS ESTIMES POUR LA MISE EN PLACE DE NOUVEAUX POINTS DE MESURE POUR LE DIAGNOSTIC PERMANENT 94
ANNEXE 37: CARACTERISTIQUES DES CONTRATS SUR LESQUELS GESCIRA A ETE MIS EN PLACE 95
ANNEXE 38: EXEMPLES DE RESULTATS OBTENUS GRACE A L'ETABLISSEMENT DU DIAGNOSTIC PERMANENT SUR GESCIRA 95
ANNEXE 39: ESTIMATIONS DES VOLUMES D'ECP PAR ARTELIA ET PAR REALITE ENVIRONNEMENT 98
ANNEXE 40: IMPACT DES VOLUMES D'ECP SUR L'EXPLOITATION ACTUELLE DE LA STATION PAR LA MODELISATION OCEAN 99
ANNEXE 41: IMPACT DE LA REDUCTION A100% DES ECP SUR L'EXPLOITATION EN 2016 SELON OCEAN 99
ANNEXE 42: PROJECTION EN 2031 DU NOMBRE D'HABITANTS ET DES CHARGES 100
ANNEXE 43: IMPACT DE L'EVOLUTION DEMOGRAPHIE ET URBAINE SUR L'EXPLOITATION SELON OCEAN SANS REDUCTION DES ECP 101
ANNEXE 44: IMPACT DE LA REDUCTION A100% DES ECP SUR L'EXPLOITATION EN 2031 SELON OCEAN 102

Annexe 1: La zone Grand Est

Annexe 2: Les sites étudiés dans le cadre du stage

Annexe 3: Localisation de la CCDSV et de ces stations d'épuration *(Source: Google Earth)*

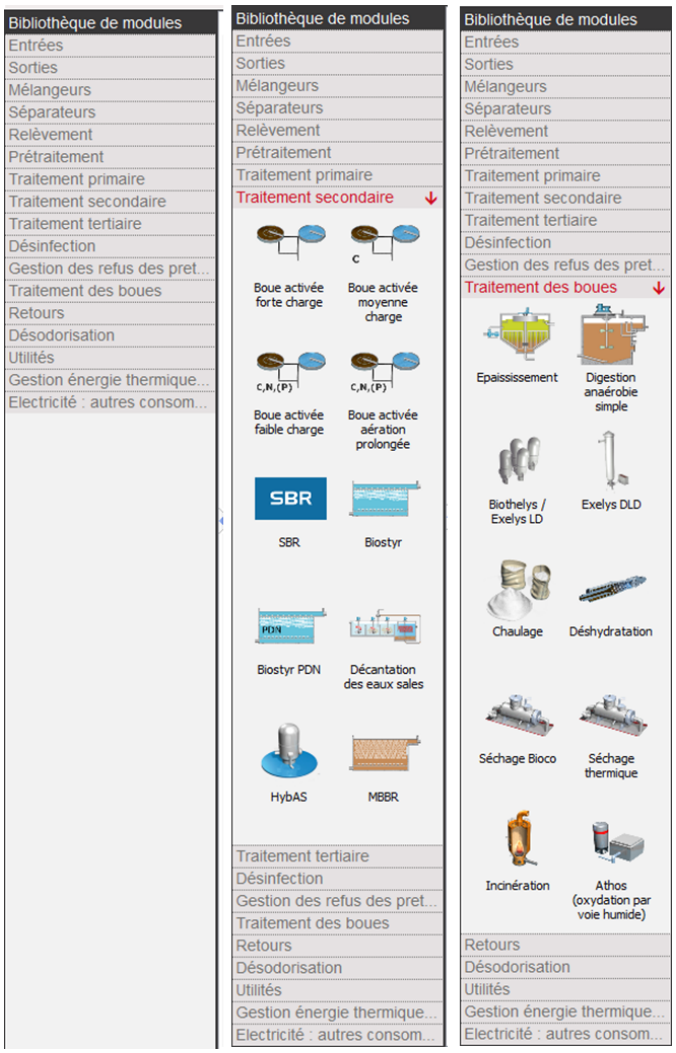


Annexe 4: Exigences réglementaires nationales et prescriptions du Service de Police de l'Eau

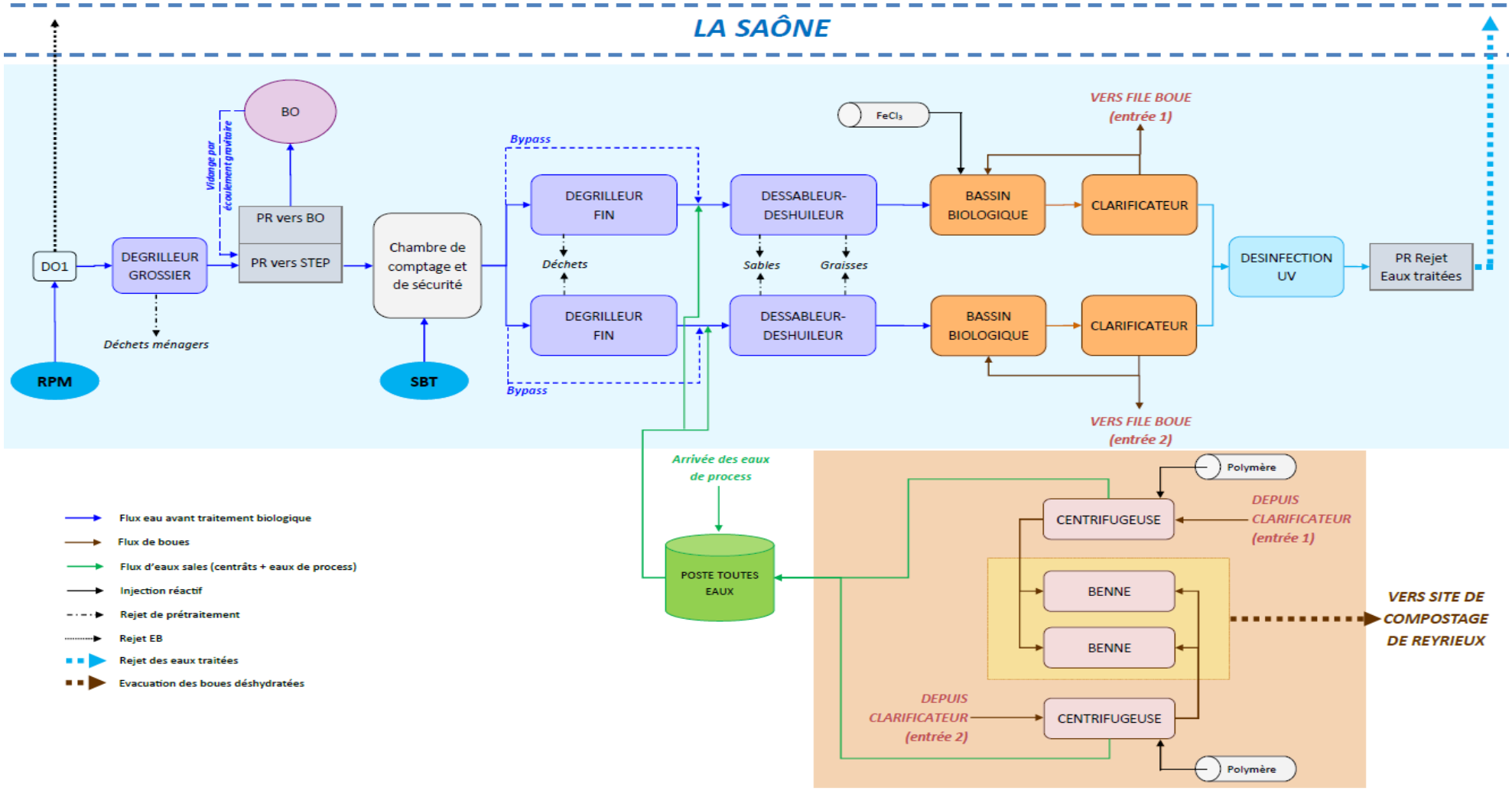
SENSIBILITÉ					
Azote : Oui		Phosphore : Oui		Bactéries : Oui	
NORMES					
OBJECTIFS QUALITÉ				VALEURS RÉDHIBITOIRES	
Paramètre	**Valeurs Max en sortie**		**Rendement min (%)**	**Valeurs Max en sortie**	
MES	25	mg/j	80%	50	mg/j
DCO	125	mg/j	75%	250	mg/j
DBO5	35	mg/j	90%	85	mg/j
NGL	15	mg/j	70%	-	
Pt	2	mg/j	80%	-	
Bactériologie*			10^5%		

**Escherichia coli, Entérocoques et coliformes totaux*

Annexe 5: Les modules de traitement d'OCEAN



Annexe 6: Synoptique simplifié de la Station des Bords de Saône



Annexe 7: Définitions et précisions sur le traitement biologique à boues activées en aération prolongée

- **Principe du traitement biologique par boues activées et les réactions biologiques associées**

Principe du procédé de traitement par boue activée : traitement des matières non décantables présentes dans les eaux résiduaires reposant sur une culture de micro-organismes, essentiellement composée de bactéries (notées bact.) et de protozoaires. Les matières facilement biodégradables sont éliminées par assimilation et le reste est éliminé sous forme de substances minérales ou solubles

Rôle du bassin biologique : lieu de développement de la biomasse bactérienne épuratrice du phosphore, des composés azotés, et des matières organiques. Le bassin doit être suffisamment brassé pour éviter la décantation des flocs et est équipé d'un système d'apport d'oxygène pour assurer la prolifération des microorganismes

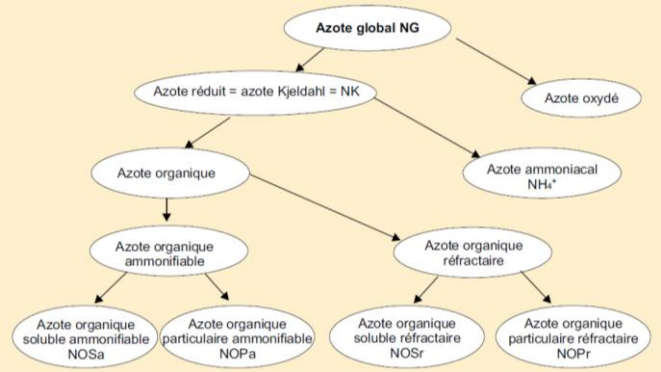
Rôle du clarificateur : lieu de séparation de la boue et de l'eau par décantation, les boues sont extraites en fond de clarificateur et sont recirculées en tête de bassin biologique et envoyées vers la déshydratation

Réaction d'assimilation de la matière organique :

$$MO + Bact.hétérotrophes \rightarrow Nouvelles\ bact. + H_2O + CO_2$$

Les différentes formes de l'azote et les réactions de traitement de l'azote :

Les différentes formes de l'azote concernées dans les eaux résiduaires sont présentées sur le schéma « Les différentes formes de l'azote » présenté ci-dessous :



Les différentes formes de l'azote *(Source : [25])*

- Ammonification : hydrolyse de l'azote organique ammonifiable en azote ammoniacale

$$R-NH_2 \xrightarrow{Bact.} NH_4^+$$

- Nitrification biologique : oxydation de l'azote ammoniacale en nitrites puis nitrates

$$NH_4^+ + Bact.nitrifiantes + HCO_3^- \xrightarrow{O_2} Nouvelles\ bact.nitrifiantes + H_2O + NO_3^-$$

Etape 1 : Nitritation : $NH_4^+ \xrightarrow{O_2} NO_2^-$

Etape 2 : Nitratation : $NO_2^- \xrightarrow{O_2} NO_3^-$

- Dénitrification biologique : réduction des nitrates en diazote gazeux

$$MO + Bact.hétérotrophes \xrightarrow{NO_3^-} Nouvelles\ bact. + N_2 + H_2O + CO_2$$

Les différentes formes du phosphore et les réactions de traitement du phosphore :

Les différentes formes du phosphore sont le phosphore inorganique et orthophosphates PO_4^{3-} et le Phosphore organique. Le phosphore total Pt est l'ensemble des phosphores inorganiques et organiques. Son traitement par assimilation se fait en deux étapes :

- Relargage du phosphore : en absence d'oxygène, les bactéries déhosphatatantes synthétisent des poly-β-alcanoate relarguant du phosphore
- Assimilation et suraccumulation du phosphore : en présence d'oxygène, les PHA et la MO sont oxydés

par les bactéries et la respiration endogène de ces dernières entraîne la consommation des phosphores relargués dans la première phase et ceux présent initialement dans les eaux brutes

- **Paramètres et caractéristiques biologiques concernés dans l'étude : leur définition et les enjeux**

Âge de boue : Défini comme étant le rapport de la masse de boues présente dans la station et celle extraite quotidiennement de la station, il est directement lié à la concentration en MES dans les bassins et est important pour la stabilisation des boues. Selon la qualité de traitement, l'âge de boues doit être adapté, dans le cas contraire il y a non seulement des risques de non conformités mais aussi de développement bactérien néfaste.

Charge massique : Calculée en $kgDBO_5/(kgMVS.j)$, elle caractérise la performance du réacteur biologique et correspond au rapport de la quantité de matière organique reçue par jour et par m3 de bassin sur la quantité de microorganismes disponibles pour la consommer. L'âge de boue, le poids de boue et la production de boues sont des conséquences directes de la charge massique fixée. En aération prolongée, la charge est faible (inférieure à $0,1kgDBO_5/(kgMVS.j)$).

Concentration en O_2 dissous : Une bonne gestion de l'aération dans le BA est indispensable pour permettre la déphosphatation biologique et la nitrification. Il est donc indispensable de connaître la concentration d'oxygène dissous libre dans le bassin disponible pour ces réactions.

DCO : la demande chimique organique traduit la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation chimique des matières organiques et des matières minérales oxydables. C'est un indicateur de la qualité du traitement des matières organiques. C'est un paramètre réglementé.

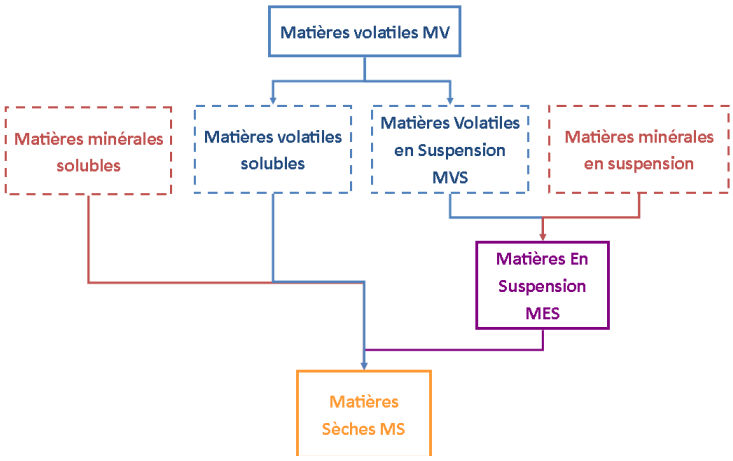
DBO5 : la demande biochimique en oxygène au bout de 5 jours est la quantité de d'oxygène consommé par les microorganismes aérobies présents dans l'échantillon analysé pour l'oxydation biochimique des composés organiques et/ou inorganique. Elle permet d'évaluer la pollution organique carbonée biodégradable.

Indice des boues (IB) :

C'est le volume occupé par un gramme de boue après 30 minutes de décantation statique dans une éprouvette d'un litre, il permet d'évaluer la décantabilité des boues, information importante pour la phase de séparation dans le clarificateur et pour prévenir les pertes de boues

MES, MV, MVS et MS : Ces paramètres permettent de caractériser les effluents et les boues. Ils sont définis selon le schéma intitulé « Définition MES, MV, MVS et MS » présenté ci-contre.

Au sein du BA, les MES mesurent la quantité de biomasse ; au sein du clarificateur ou en sortie, les MES évaluent la qualité du traitement biologique et de la séparation. La quantité de MVS présente dans le système de traitement est souvent considérée comme étant la quantité de boues activées disponibles, données importantes pour évaluer la faisabilité et la vitesse des réactions de nitrification, dénitrification, assimilation et dégradation. Ce sera aussi la donnée qui permettra d'adapter le traitement à la charge entrante pour une charge massique fixée.

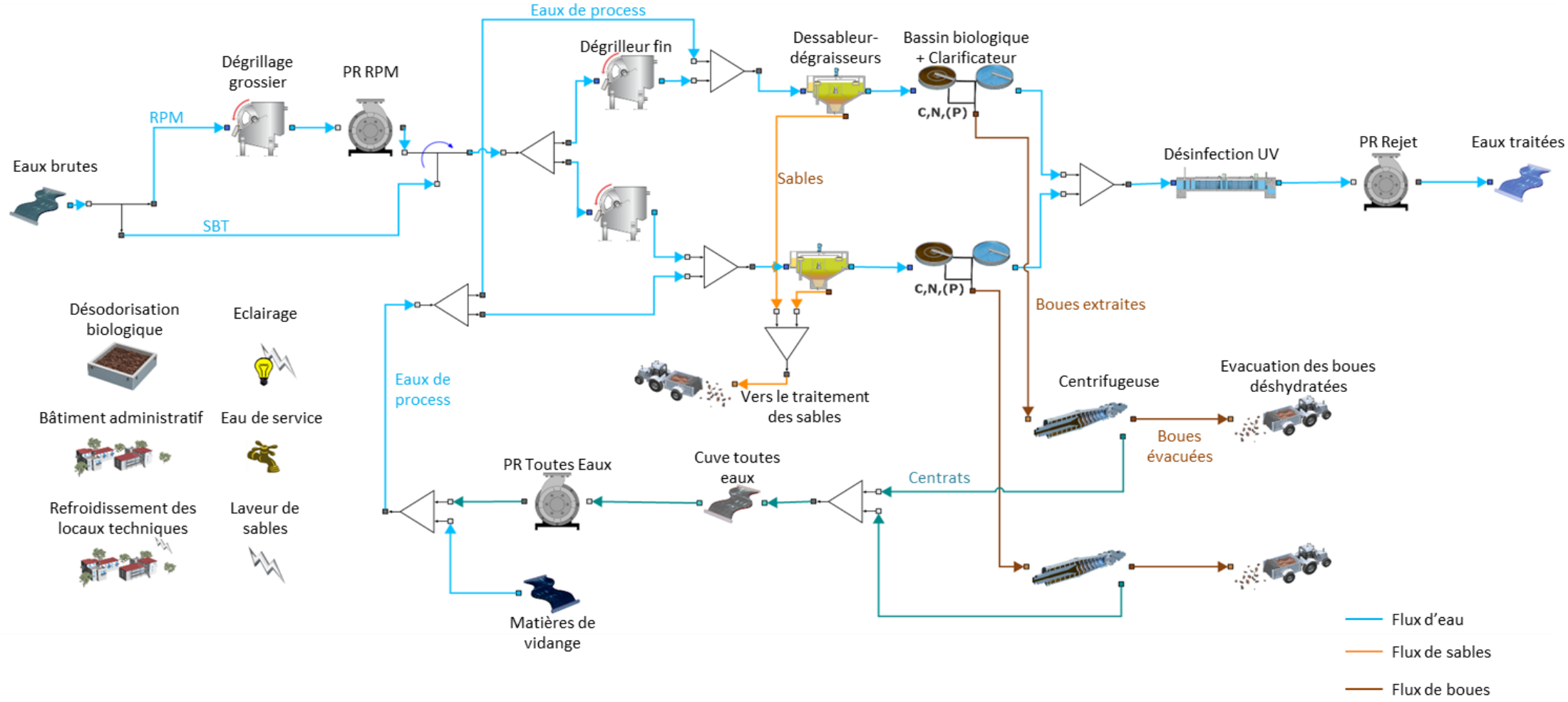


Définition MES, MV, MVS et MS

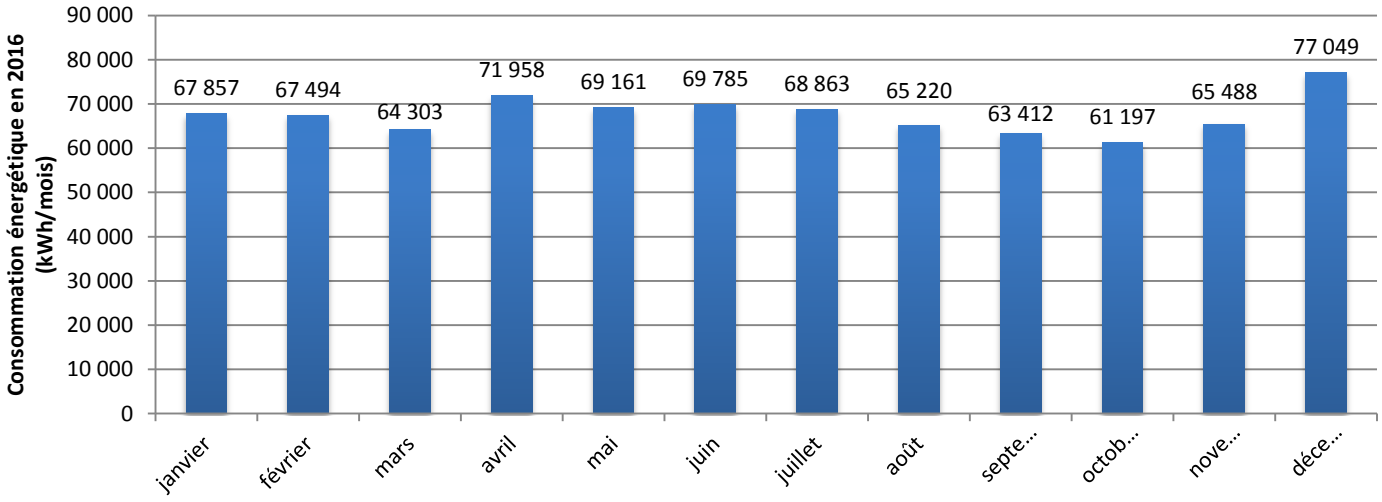
Production de boues en excès : il s'agit de la production de boue en excès lié aux réactions d'assimilation et de précipitation et donc développement de la biomasse. C'est un paramètre qui est important pour savoir la sollicitation de l'étape de déshydratation pour le maintien d'un traitement équilibré. Souvent il est considéré qu'elle correspond à 80% de la DBO5 éliminée quotidiennement.

Taux de recirculation : C'est le taux par rapport au débit entrant auquel les boues épaissies dans le clarificateur sont renvoyées au bassin biologique. La recirculation permet un renouvellement de la biomasse dans le BA.

Annexe 8: Squelette du modèle énergétique de la Station des Bords de Saône sur OCEAN



Annexe 9: Évolution de la consommation électrique de la Station des Bords de Saône en 2016



Annexe 10: Paramètres du traitement biologique et du traitement des boues en 2016

	File1	File 2
Concentration moyenne mesurée en MS dans le bassin (g/L)	4,5	4,75
Concentration moyenne calculée en MES dans le bassin (g/L)	3,60	3,80
Ratio estimé MES/MS (%)	80%	
Ratio réel MVS/MS (%)	72%	73%
Ratio calculé MV/MES (%)	57%	58%
Taux de recirculation réel des boues du clarificateur (%)	125%	
Indice des boues moyen sur l'année 2016 (ml/g)	115	112
Âge de boue (j)	33,42	35,07
Concentration moyenne mesurée en MS des boues extraites (g/L)	7,25	
Ratio estimé MES/MS des boues extraites (%)	90%	
Concentration moyenne calculée en MES des boues extraites (g/L)	6,53	
Consommation annuelle totale en $FeCl_3$ (kg) *(pas de consommation en Janvier 2016)*	43 517	
Consommation journalière moyenne en $FeCl_3$ par file (kg/j)	65,2	
Consommation annuelle totale en polymère (kg)	9 845	
Quantité moyenne totale de boues à déshydrater par file (kg/j)	385	387
Besoin moyen en polymère par file (kg/tMS)	13,5	
Concentration moyenne en O_2 libre dissous dans la phase aérée (mgO_2/l)	1,1	
Besoin théorique journalier en oxygène dans les bassins (kgO_2/l)	1 115	

Annexe 11: Méthode de calcul de l'estimation du besoin journalier d'oxygène DJO (kgO_2/j)[5]

$$DJO = DO_{MO} + DO_{Ni} + DO_{Endog} - AO_{Dénit}$$

Avec :

- $DO_{MO} = 0{,}65 * 0{,}97 * DBO_{entrée}$

Où:

- DO_{MO} la demande en oxygène journalière pour le traitement de la matière organique (kgO_2/j)
- $DBO_{entrée}$ la masse journalière de DBO admise sur l'installation (kg/j)

- $DO_{Ni} = 4{,}2 * N_{nit} = 4{,}2 * (NK_{entée} - N_{opr} - N_{osr} - N_{ass} - N\text{-}NH_{4\,rejet})$

Où:

- DO_{ni} la demande en oxygène pour la nitrification (kgO_2/j)
- N_{nit} la masse d'azote journalière à nitrifier (kgN/j)
- $NK_{entrée}$ la masse d'azote Kjeldahl apportée par l'eau brute (kgN/j)
- N_{opr} la masse d'azote organique soluble réfractaire en sortie (kgN/j)
- N_{ass} la masse d'azote assimilée essentiellement par les bactéries du carbone (incorporée aux boues) (kgN/j)
- $N\text{-}NH_{4\,rejet}$ la masse d'azote ammoniacal rejetée avec l'eau épurée ($kgN\text{-}NH_4^+/j$)

- $DO_{Endog} = 0{,}07 * MVS$

Où:

- DO_{endog} la demande en oxygène nécessaire à la respiration endogène des boues (kgO_2/j)
- MVS la masse de matières volatiles en suspensions dans le système (kg)

- $AO_{Dénit} = 2{,}85 * N_{dénit}$

Où:

- $AO_{Dénit}$ l'apport journalier 'oxygène rétrocédé par la dénitrification (kgO_2/j)
- $N_{dénit}$ La masse journalière d'azote nitrique dénitrifiée (kgN/j)

Hypothèses de calculs :

- la demande en O_2 pour l'oxydation de la MO représente 65% de la DBO éliminée
- le rendement d'élimination de la DBO est de 97%
- il faut 4,2 g d'O_2 pour l'oxydation de 1 g de $N\text{-}NH_4^+$
- 1 g d'azote nitrique dénitrifié rétrocède 2,85 g d'O_2

[5] Selon la méthode proposée par le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche [8]

Annexe 12: Synthèse des consommations électriques

FILE EAU	kWh/j	1 831
Relèvements	kWh/j	231
Prétraitements	kWh/j	61
Traitement secondaire	kWh/j	1 299
dont aération	kWh/j	692
Désinfection	kWh/j	240
FILE BOUE	**kWh/j**	**198**
FILE DE TRAITEMENT ODEURS	**kWh/j**	**167**
UTILITES	**kWh/j**	**67**
Chauffage et climatisation des bureaux	kWh/j	34
Centrale de Traitement de l'air	kWh/j	6
Eclairage	kWh/j	23
Eau de service	kWh/j	4
CONSOMMATION TOTALE	**kWh/j**	**2 263**

Annexe 13: Ratios indicateurs de performance calculés par OCEAN

RATIOS INDICATEURS DE PERFORMANCE		
Électricité consommée / m^3 d'eau traitée	kWh/m^3	0,54
Électricité consommée / DCO éliminée	$kWh/kg_{DCO\ éliminée}$	1,51
Électricité consommée / (EH.an)	kWh/(EH.an)	85,33
Électricité consommée / DBO éliminée	$kWh\ /kg_{DBO\ éliminée}$	3,99

Annexe 14: Analyse de la conformité des rejets en 2016

Paramètres	Niveaux de rejet (mg/l)	Données en sortie de la STEP en 2016		
		Moyenne (mg/l)	Nombre de valeurs	% dépassement
DBO_5	25	3.17	24	0%
DCO	135	127.26	24	29%
MES	35	4.04	24	0%
NK	5*	3.94	12	25%
NGL	15	4.33	12	0%
P_t	2	0.94	12	8%

** Selon l'acte d'engagement du constructeur*

Annexe 15: Caractéristiques du contrat de fourniture

Puissance souscrite[6] (kW)	
Hiver	
Heures pleines ou HH (classe 2)	320
Heures creuses (classe 3)	320
Pointe (fixes ou mobile) (classe 1)	320
Été	
Heures pleines ou HH (classe 4)	320
Heures creuses (classe 5)	320

Plages horaires des pointes	
Début Matin	09:00
Fin Matin	11:00
Début Après Midi	18:00
Fin Après Midi	20:00

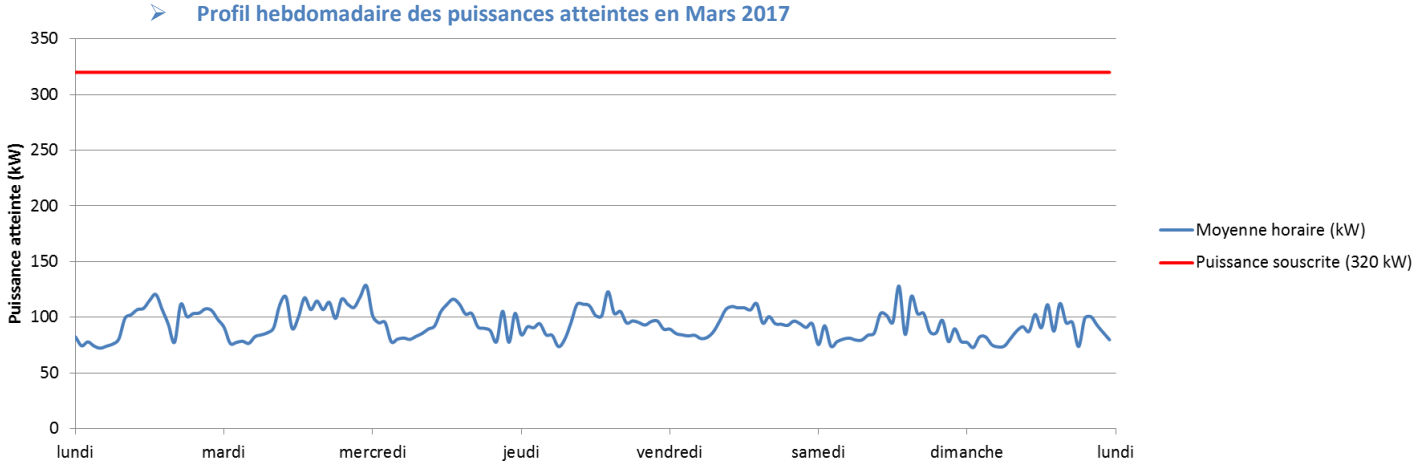
Plages Horaires des heures creuses	
Été	22:00 - 06:00
Hiver	22:00 - 06:00

Pour rappel, les périodes des contrats Tarifs Vert A5 :

- Hiver : de novembre à mars inclus
- Eté : d'avril à octobre inclus
- Pointe : 4h/j (de 9h à 11h et de 18h à 20h) du lundi au samedi inclus de décembre à février inclus
- Heures creuses : 8h/j du lundi au samedi inclus, en dehors des heures de pointes
- Heures pleines : toutes les autres heures

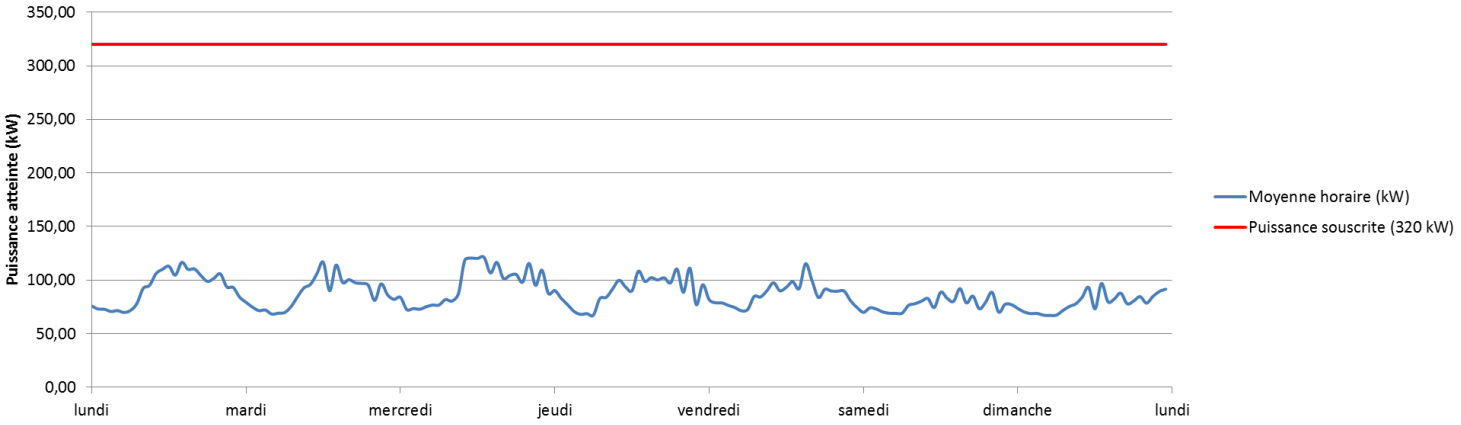
Annexe 16: Profil hebdomadaire moyen des puissances consommées en Mars et Avril 2017

➢ Profil hebdomadaire des puissances atteintes en Mars 2017



[6] La puissance souscrite correspond à l'énergie électrique active mise à disposition par le gestionnaire transport (la Commission de la Régulation de l'Energie) ramenée à la période d'intégration du comptage (10 min en France).

➢ **Profil hebdomadaire des puissances atteintes en Avril 2017**



Annexe 17 : Comparaison de stations sur les indicateurs taux de charge et siccité des boues en compost

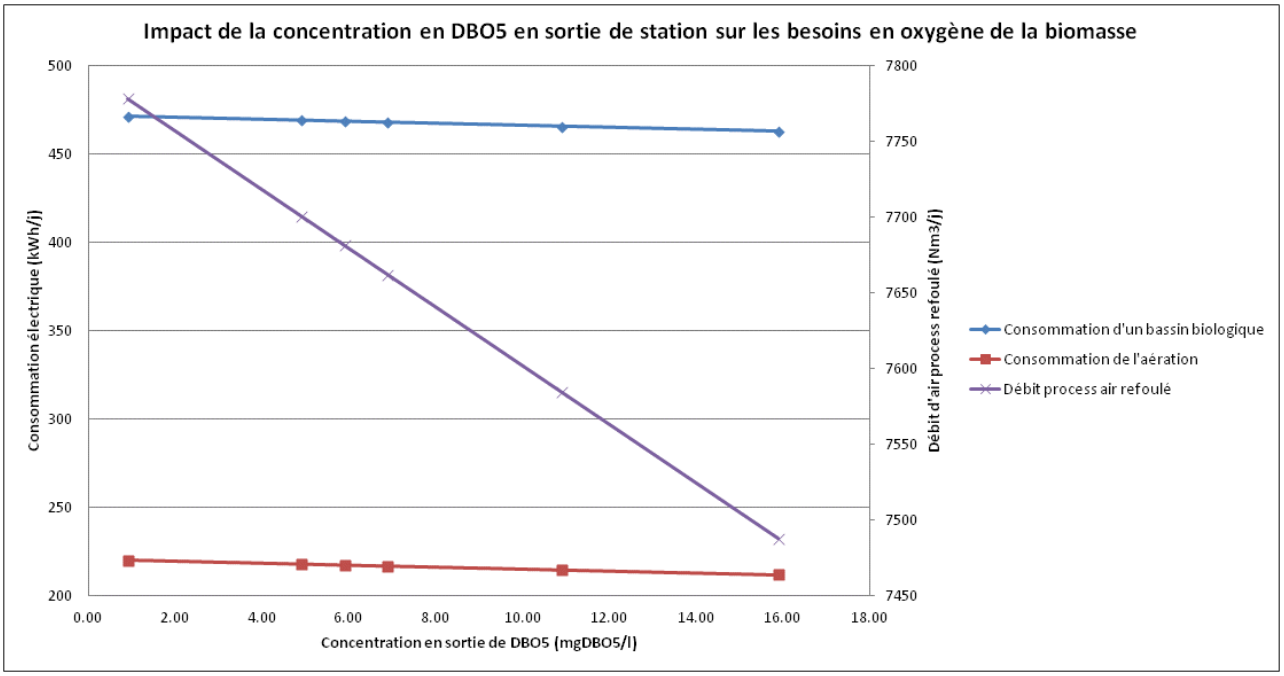
Station	Taux de charge (DBO traité / DBO nominal)	
UDEP SIZOV	38%	
UDEP MONTEMELIAN	32%	
UDEP RUMILLY	30%	
Station des Bords de Saône	min	22%
	moyenne	41%
	max	50%

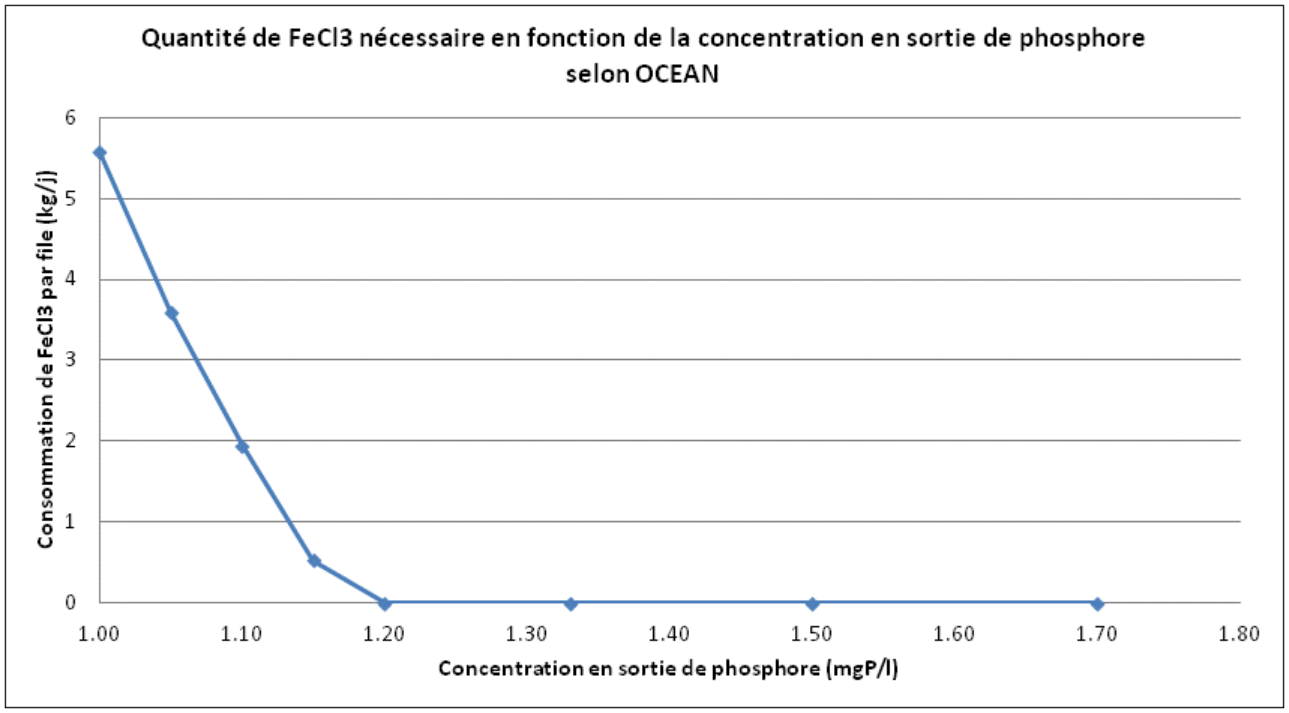
Station	Siccité des boues en compost (%)				Moyenne (%)
	2011	2012	2013	2014	
UDEP SIZOV	27,50%	27,50%	26,00%	25,50%	27%
UDEP RUMILLY	/		21,50%	25,50%	24%
Station des Bords de Saône (2016)	min		20%		22%
	max		24%		

Annexe 18: Récapitulatif des paramètres du traitement biologique proposés par le modèle vierge OCEAN

	Valeurs proposées par le modèle vierge OCEAN par file
Concentration moyenne calculée en MES dans le bassin (g/L)	1,23
Charge massique ($kgDBO_5/(kgMVS.j)$)	0,07
Taux de recirculation réel des boues du clarificateur (%)	16%
Âge de boue (j)	17,53
Concentration moyenne calculée en MES des boues extraites (g/L)	8,82
Quantité moyenne totale de boues à déshydrater (kg/j)	194
Besoin total en O_2 par bassin (kgO_2/j)	555
$Q_{air\ process}$ (Nm^3/j)	7 681
Consommation électrique du traitement biologique (kWh/j)	468
Dont pour l'aération (kWh/j)	217
Consommation électrique générale (kWh/j)	1 766
$FeCl_3$ (kg/j)	0
Méthanol (kg/j)	10,5

Annexe 19: Impact de la qualité en sortie sur les besoins du traitement biologique





Annexe 20: Recommandations pour agir la qualité en rejet

Objet	Objectif	Recommandation
Temps d'aération et non aération	Diminuer les temps d'aération	Modifier les consignes d'asservissement REDOX/O_2 de l'aération tout en gardant les mêmes temporisations de marche/arrêt. Consignes actuelles : - Seuil bas redox : -45 mV - Seuil haut redox : 80 mV - Seuil bas O_2 : 0,25 mg O_2/L - Seuil haut O_2 : 2 mg O_2/L Deux possibilités : - Augmenter le seuil bas REDOX - Diminuer le seuil haut O_2 Méthode : choisir une des deux possibilités et procéder à tâtons en augmentant/diminuant progressivement et en suivant l'état de la biologie et la concentration en sortie de station Autres : Suivre la consommation énergétique de l'aération Difficultés: procédure à tâtons qui peut nécessiter du temps et perturber le traitement biologique pendant la recherche des nouvelles consignes ; temps de non aération limités par les temporisations offrant peu de marge (temps d'arrêt maximum de 2h et temps de marche minimum de 6min); augmentation des nombres de démarrage/arrêt entraînant l'usure rapide des surpresseurs
Injection de méthanol	Injecter du substrat carboné pour faciliter la nitrification et diminuer les besoins en oxygène	Méthode : Ajouter du méthanol en zone aérée selon la concentration en nitrate souhaitée en sortie de station et suivre la concentration en NO_3^- en sortie de station Autres : Suivre la consommation énergétique de l'aération Difficultés : mise en place du dispositif d'injection de méthanol ; mesurer l'impact de la variation en NO_3^- et NH_4^+ sur les concentrations en NGL et NK réglementées
Injection de $FeCl_3$	Minimiser l'injection chlorure ferrique pour économiser les coûts liés à l'achat du réactif et à son pompage	Méthode : Asservir l'injection de chlorure ferrique à une mesure de phosphore en continu en sortie de station avec les consignes d'asservissement suivantes : - Si $[Pt]_s$ < 1,20 mgP/l, injecter du $FeCl_3$, *avec* Q_{FeCl3} *(kg/j)* $= 55*[Pt]_s^2 - 151,79*[Pt]_s + 102,36$ - Si $[Pt]_s$ > 1,20 mgP/l, ne pas injecter de $FeCl_3$ Autres : Suivre la consommation énergétique de l'aération (cf. la partie 4.6. pour plus de détail sur le dispositif) Difficultés : consigne de 1,20 mgP/l en sortie donnée par la modélisation possiblement non adaptée et à modifier ; mise en place du dispositif d'injection et d'asservissement

Annexe 21: Méthode de calcul pour l'estimation de la concentration en MES à appliquer selon la charge en entrée

Soit

- $\%_{MVS/MS}$ la fraction de MVS dans les MS présente dans les bassins biologiques (%)
- $\%_{MES/MS}$ la fraction de MES dans les MS présente dans les bassins biologiques (%)
- C_m la charge massique ($kgDBO_5/(kgMVS.j)$)
- DBO_5 la charge en DBO_5 en entrée de station (g/l)
- [MES] la concentration en MES des boues (gMES/l)
- [MVS] la concentration en MVS des boues (gMVS/l)
- [MS] la concentration en MS des boues (gMS/l)

Par définition,

$$C_m = \frac{DBO_5}{V_{BA} * [MVS]}$$

Alors,

$$C_m = \frac{DBO_5}{V_{BA} * [MS] * \%_{\frac{MVS}{MS}}}$$

$$C_m = \frac{DBO_5 * \%_{MES/MS}}{V_{BA} * [MES] * \%_{MVS/MS}}$$

D'où,

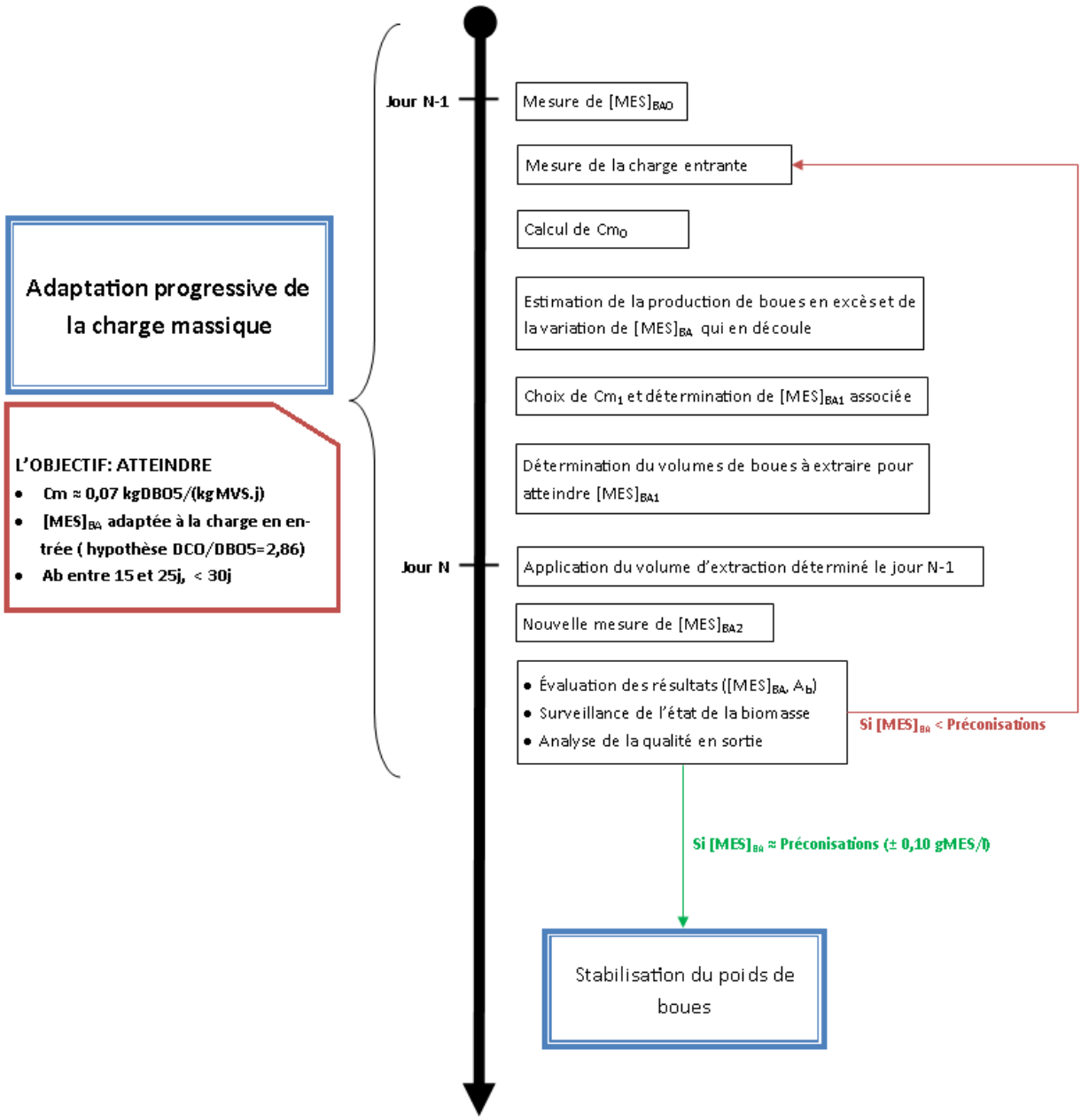
$$[\boldsymbol{MES}] = \frac{\boldsymbol{DBO_5} * \%_{\boldsymbol{MES/MS}}}{\boldsymbol{V_{BA}} * \%_{\boldsymbol{MVS/MS}} * \boldsymbol{C_m}}$$

Avec

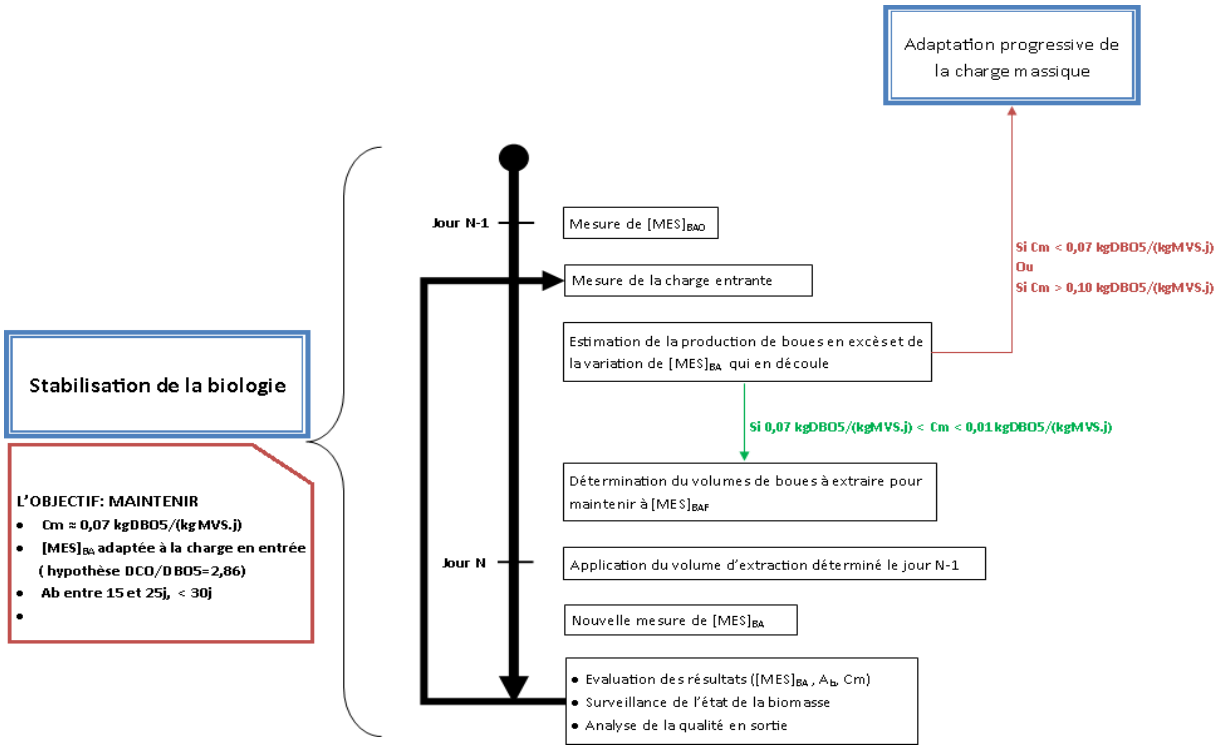
- R le ratio DCO/DBO (-)
- DCO la charge en DCO en entrée de station (g/l)

$$[\boldsymbol{MES}] = \frac{\boldsymbol{DCO} * \%_{\boldsymbol{MES/MS}}}{\boldsymbol{V_{BA}} * \%_{\boldsymbol{MVS/MS}} * \boldsymbol{C_m} * \boldsymbol{R}}$$

Annexe 22: Procédure d'adaptation progressive de la charge massique



Annexe 23: Procédure de stabilisation de la biologie



Annexe 24: Les deux types de régulation AMONIT

	Régulation AMONIT avec sonde NO_3^-/NH_4^+	**Régulation AMONIT sans sonde NO_3^-/NH_4^+, avec sonde REDOX/O_2**
Domaine d'application	- >150 000EH - Paramètres azotés en sortie restrictifs - Présence d'un laboratoire et temps humain - Présence de régulateur de puissance d'aération	- > 15 000EH - Présence de régulateurs de puissance d'aération - Présence de sondes REDOX et O_2
Seuil bas de démarrage de l'aération	$N\text{-}NH_4^+$	REDOX
Seuil haut d'arrêt de l'aération	$N\text{-}NH_4^+$	REDOX
Régulation de la puissance d'aération	Consigne et mesure O_2	Consigne et mesure O_2
Avantages	• Traduction directe des performances du traitement biologique (nitrification et dénitrification) • Adaptation constante de la puissance d'aération • Faible concentration résiduelle d'oxygène possible permettant un rendement de transfert plus élevé • Gain énergétique	• Entretien simple des sondes • Adaptation constante de la puissance d'aération • Gain énergétique • Pas de coût d'exploitation supplémentaire si il y a déjà les sondes
Inconvénients	• Investissement dans des sondes NO_3^-/NH_4^+, leur installation et leur entretien • Mise en service des sondes et régulation difficile car moyens humains et laboratoires indispensables	• Traduction indirecte des performances du traitement biologique

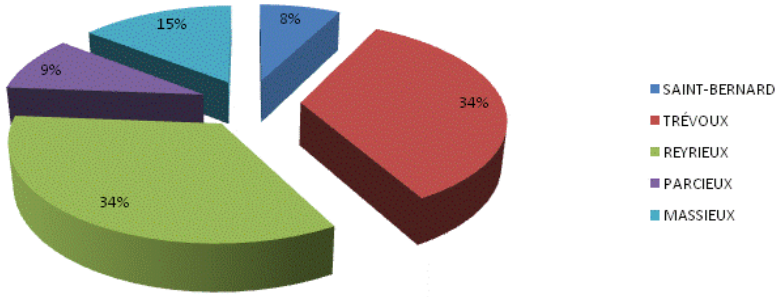
Annexe 25: Comparaison des deux moyens de régulation de l'injection de polymère

	Régulation 1 : boues en entrée[7]	**Régulation 2 : qualité des centrâts**[8]
Mesure de contrôle	$[MES]_{extr}$	$[MES]_{centrât}$
Appareil de mesure	Turbidimètre	Turbidimètre
Type de régulation	Régulation PID pompe polymère	Régulation PID pompe polymère
Paramètre contrôlé: le taux de traitement Tx (kg polymère/ tMS)	$Tx = \frac{[polymère] * Q_{polymère}}{[MES]_{extr} * Q_{extr}}$ *Avec [polymère] et $[MES]_{extr}$ en g/l, $Q_{polymère}$ en l/h, et Q_{extr} en m^3/h*	$Tx = \frac{[polymère] * Q_{polymère} * (1 - T_c)}{[MES]_{centrât} * Q_{extr}}$ *Avec [polymère] et $[MES]_{centrât}$ en g/l, $Q_{polymère}$ en l/h, et Q_{extr} en m^3/h et T_c le taux de capture en %* *<u>Remarque</u>: $T_{c\ optimal}$=98% et $T_{C\ minimal}$=95%*
Avantages	- Mise en place et entretien relativement simple - **Asservissement simple**	- Mise en place et entretien relativement simple - **Régulation tenant compte directement de la qualité de la déshydratation**
Inconvénients	- **Ne tient pas compte de la siccité des boues et de la qualité des centrâts** - Problème d'encrassement - Mesure qui dépend de l'indice de réfraction des particules, de la granulométrie, de l'angle de mesure et de la longueur d'onde utilisée	- Ne tient pas compte de la siccité des boues - Problème d'encrassement - Mesure qui dépend de l'indice de réfraction des particules, de la granulométrie, de l'angle de mesure et de la longueur d'onde utilisée - **Peu de retours d'expérience et retours d'expérience existants négatifs** - **Taux de traitement dépendant du taux de capture qui serait théorique** - **Difficulté de la mesure due à la présence de polymère et de mousse**

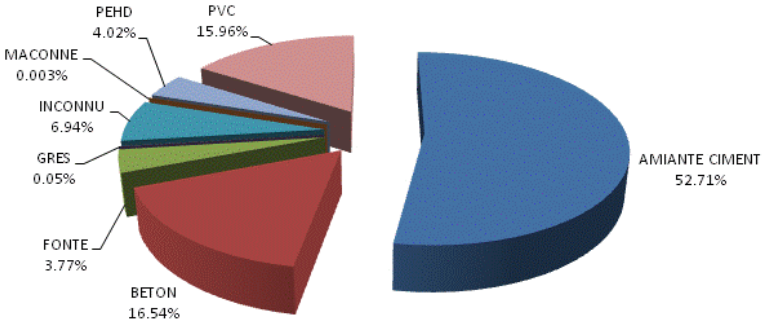
[7] [13]
[8] [27]

Annexe 26: Caractéristiques du réseau de la CCDSV étudié

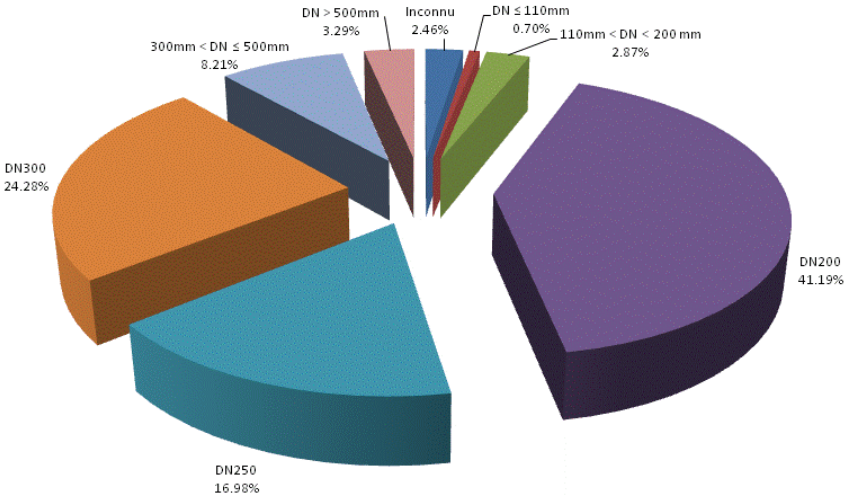
a. Répartition des linéaires de réseau entre les communes de la CCDSV



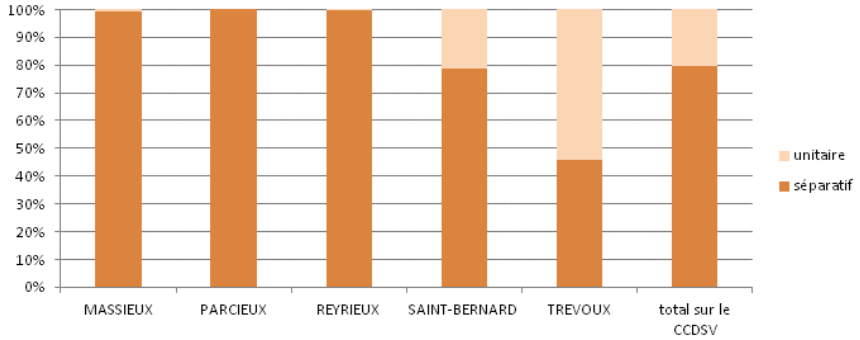
b. Répartition des types de matériau sur le réseau de la CCDSV



c. Répartition des diamètres de canalisations sur le réseau de la CCDSV



d. Répartition séparatif/unitaire des réseaux d'assainissement des différentes communes de la CCDSV



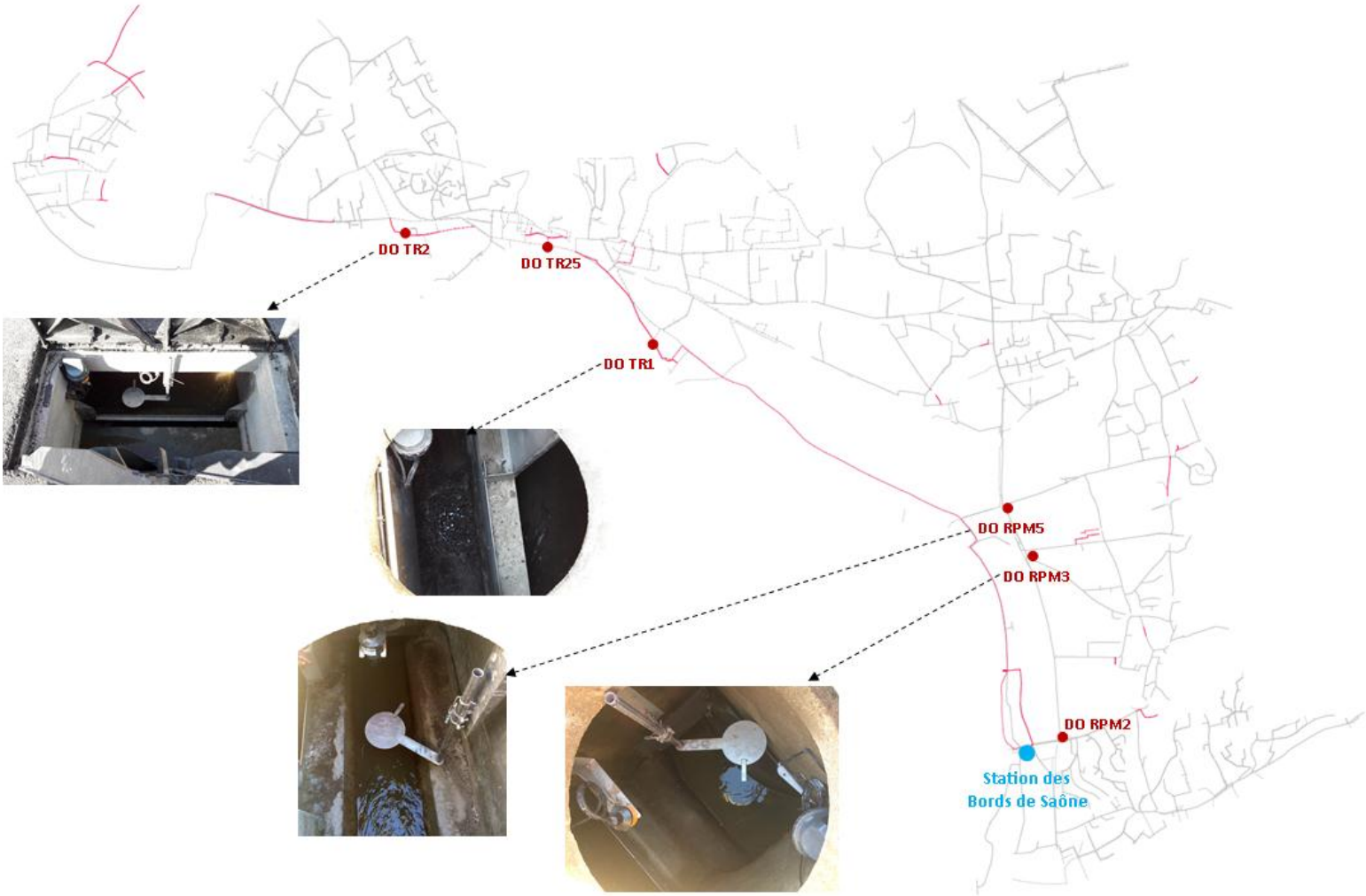
Annexe 27: Synthèse des nouveautés de l'arrêté du 21 Juillet 2015 par rapport à l'arrêté di 22 Juin 2007[9]

Article	Thème	Ajout par rapport à l'arrêté du 22 Juin 2007
Article 2	**Définitions**	32 nouvelles définitions dont « usages sensibles »
Article 3	**Principes généraux**	Non atteinte aux usages sensibles; principes de prévention et de réduction des pollutions à la source
Article 4	**Règles générales de conception des systèmes**	Conception en tenant compte des effets cumulés sur les milieux naturels sans entraîner de coûts disproportionnés; limitations des nuisances liés aux gîtes à moustiques
Article 5	**Règles spécifiques au système de collecte**	Éviter l'introduction d'eau du milieu naturel dans le réseau via les déversoirs d'orage; privilégier la gestion à la source si possibilité technico-économique
Article 6	**Règles d'implantation des stations d'épuration**	Implantation à 100 des habitations, hors zones sensibles et humides; prendre en compte les prescriptions par rapport aux zones inondables
Article 7	**Règles spécifiques des stations d'épuration**	Mise en place de disconnecteurs pour éviter les retours d'eau usées dans les canalisations d'eaux potables; mise en place d'équipements de dépotage pour les nouvelles STEP de plus de 10 000EH ou réhabilitées; analyse de risque de défaillance avant mise en service pour toute station de capacité > 120 kgDBO5/j
Article 10	**Contrôle de la qualité d'exécution des ouvrages**	Marché de travaux spécifique à la réception: sous-traitance interne des contrôles plus possibles
Article 12	**Diagnostic du système d'assainissement**	- < 10 000EH: tous les 10 ans au minimum - > 10 000 EH: diagnostic permanent à mettre en place sous 5 ans, synthèse à intégrer au bilan de fonctionnement annuel
Article 13	**Raccordement d'eaux usées non domestiques**	Interdiction de déversement des eaux de source et eaux de vidange des bassins de natation; demande possible du maître d'œuvre au responsable du rejet de justifier de l'aptitude des rejets
Article 14	**Traitement des eaux et performances à atteindre**	Nouvelles performances minimales
Article 15	**Gestion des déchets**	Capacité de stockage de la production de boues de 6 mois en cas d'épandage; pour les capacités supérieures de 2 000 EH, au minimum 2 analyses par an des paramètres de janvier 1998
Article 17	**Dispositions générales**	I. Obligation de transmission des informations du maître d'ouvrage du système de collecte vers le maître d'ouvrage de la station II. Autosurveillance du système de collecte: pour les DO de plus de 10 000 EH, mesure et enregistrement en continu des débits et estimation de la charge polluante (DBO5 notamment) s'ils déversent plus de 10 jours par an en moyenne quinquennale; choix des ouvrages à autosurveiller par modélisation et étude technico-économique; pour les trop-pleins équipant un système de collecte séparatif de plus de 2 000 EH, mesure du temps de déversement journalier IV. Paramètres à mesurer et fréquences: date de rendu du calendrier prévisionnel d'autosurveillance au service en charge du contrôle et agence/office de l'eau fixé au 1er décembre; surveillance renforcée en cas de situations inhabituelles des flux de DBO_5, NTK et P_t
Article 18	**Surveillance complémentaire**	I. Micropolluants: demande possible par le préfet; suivi analytique régulier peut être instauré pour les plus pertinents ou significatifs; résultats à transmettre le mois suivant le mois de l'acquisition II. Masse d'eau réceptrice: programme général possible si plusieurs stations, surveillance des eaux souterraines en cas d'infiltration
Article 19	**Transmission des données relatives à l'autosurveillance**	Si impact sanitaire potentiel sur les usages sensibles à l'aval, prévenir le responsable de l'usage, le service du contrôle et ARS, selon les modalités définies en commun
Article 20	**Production documentaire**	I. Agglomération de plus de 2 000EH: un manuel unique par système d'assainissement; précision sur le contenu du manuel d'autosurveillance et du bilan de fonctionnement II. Agglomération de moins de 2 000EH: cahier de vie à mettre en place tous les 2 ans à transmettre au service en charge du contrôle, agence/office de l'eau; bilan de fonctionnement à transmettre annuellement par le MO collecte au MO traitement pour les capacités de plus de 500EH
Article 22	**Contrôle annuel de la conformité**	I. Dispositions générales: à transmettre au service de police ou SPANC avant le 1er juin II. Stations d'épuration: référence à l'annexe 3 pour les paramètres autres que la température et le pH

[9] [4]

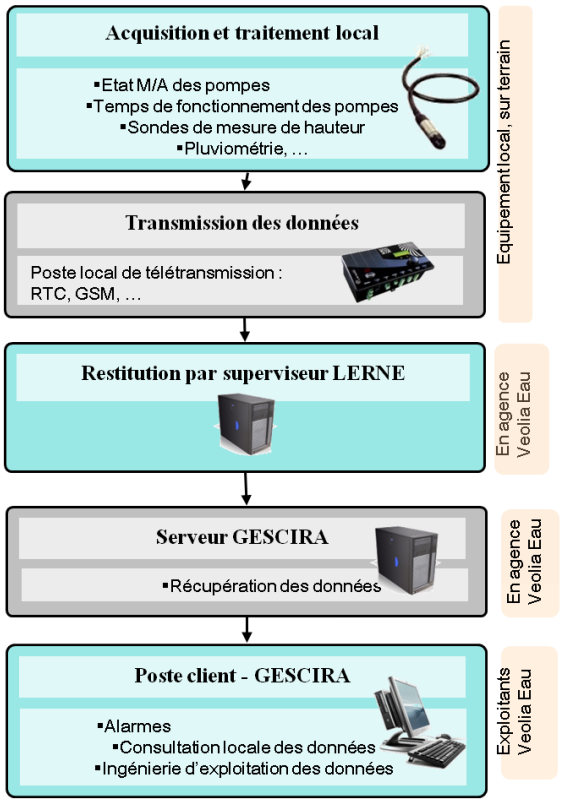
Annexe 28: Emplacement des points réglementés du réseau d'assainissement de la CCDSV et dispositif de mesure SOFREL LT-US mise en place sur ces points (*Source: Camille LAM, François MANN, le 17/03/2016)*

- **Emplacement des points réglementés**



- **Dispositif d'autosurveillance SOFREL LT-US**

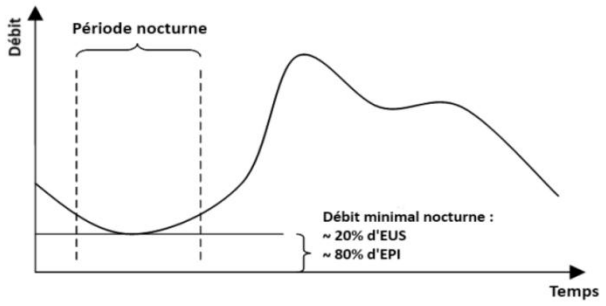
Annexe 29: Méthode de récupération des données brutes utilisée par Veolia pour GesCIRA



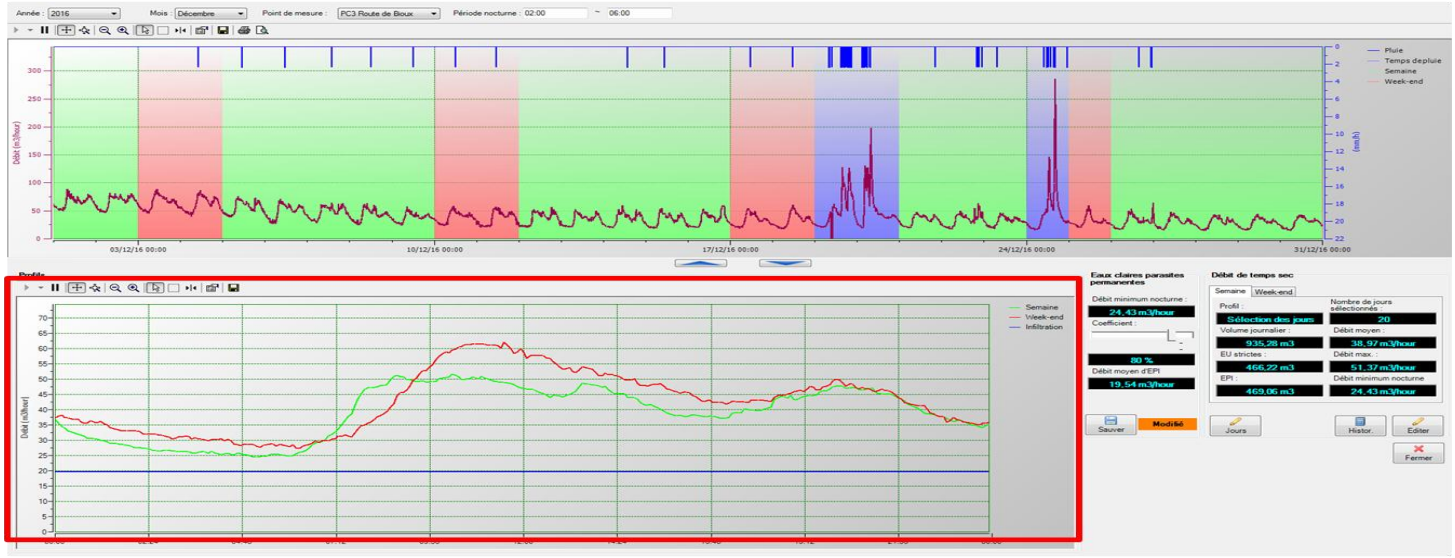
Annexe 30: Distinction eaux usées et eaux claires parasites

	Eaux usées industrielles	Eaux usées domestiques	Eaux pluviales raccordées	Eaux pluviales drainées	Eaux de nappe drainées
Appelation fx de l'origine	**Eaux usées strictes**		**Eaux claires météoriques**		**Eaux claires parasites permanentes**
Appelation fx du cheminement	Eaux Usées Strictes EUS		Eaux Parasites de Captage EPC	Eaux Parasites d'Infiltration EPI	
Type de traitement	**Procédés spécifiques ou Usine de dépollution**	**Usine de dépollution**	**Aucun ou Traitement primaire ou Usine de dépollution**	**Aucun (eaux non polluées)**	
Objectif du suivi hydraulique	**Pollution spécifique**	**Population raccordée**	Surface à déconnecter	Défaut d'étanchéité du réseau	

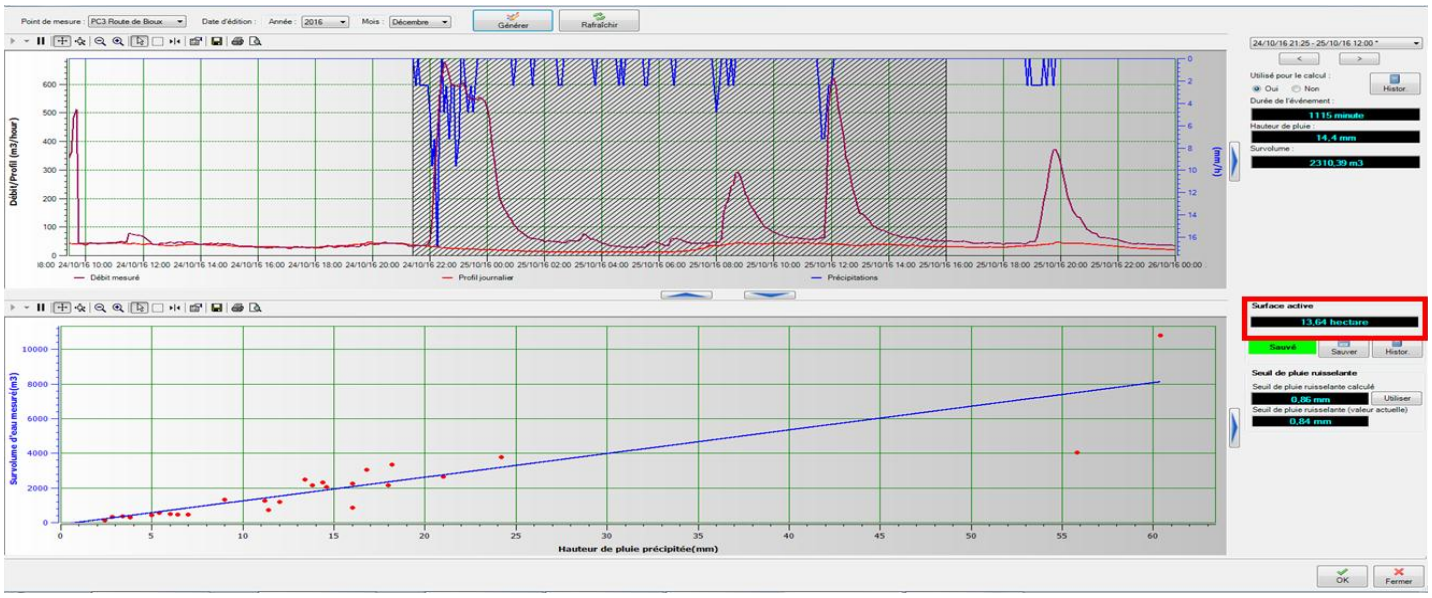
Annexe 31: Méthode du débit minimal nocturne pour la détermination des EPI



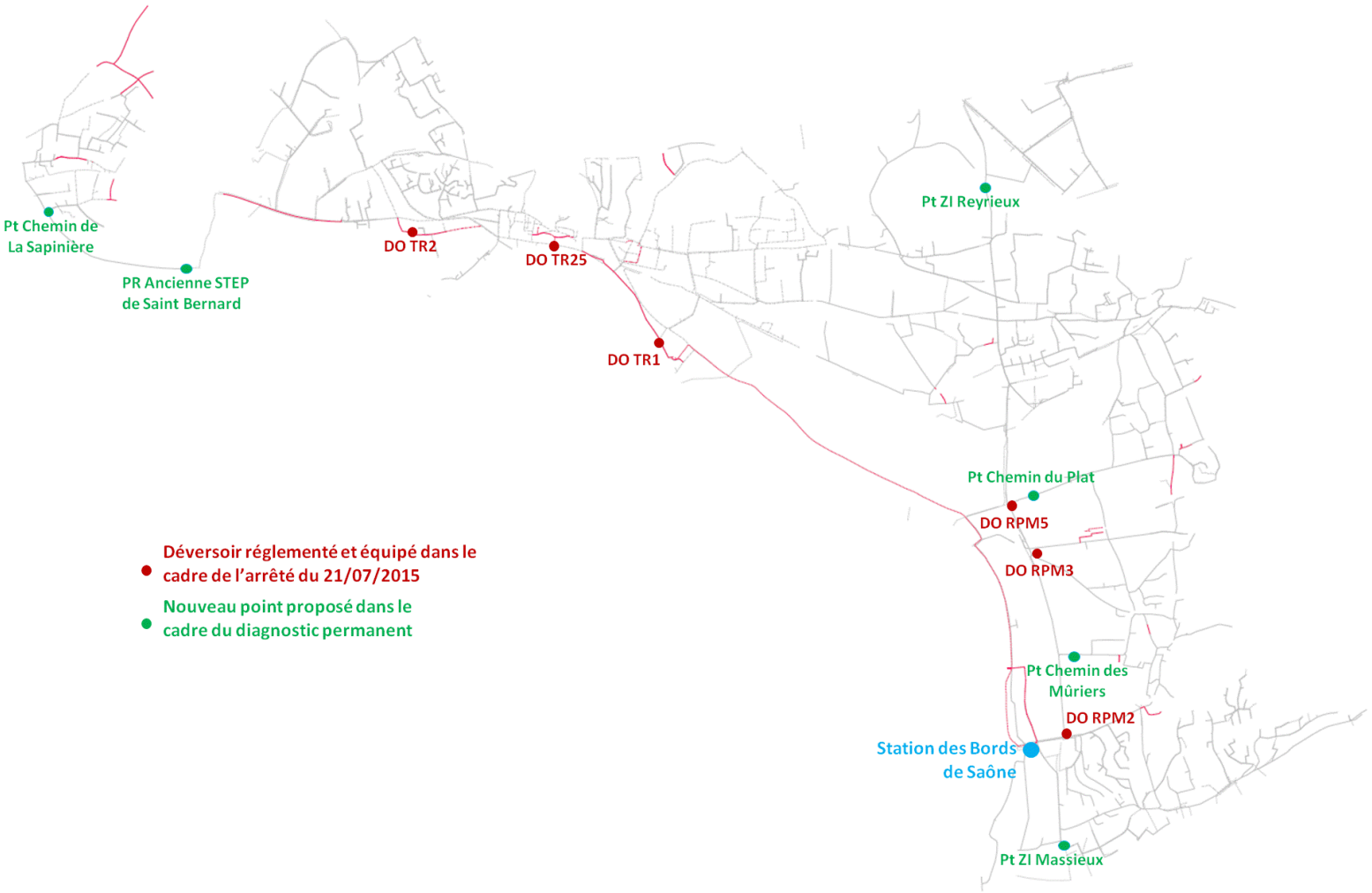
Annexe 32: Établissement de profils moyens journaliers pour l'estimation des EPI



Annexe 33: Détermination par GesCIRA de la surface active du point étudié

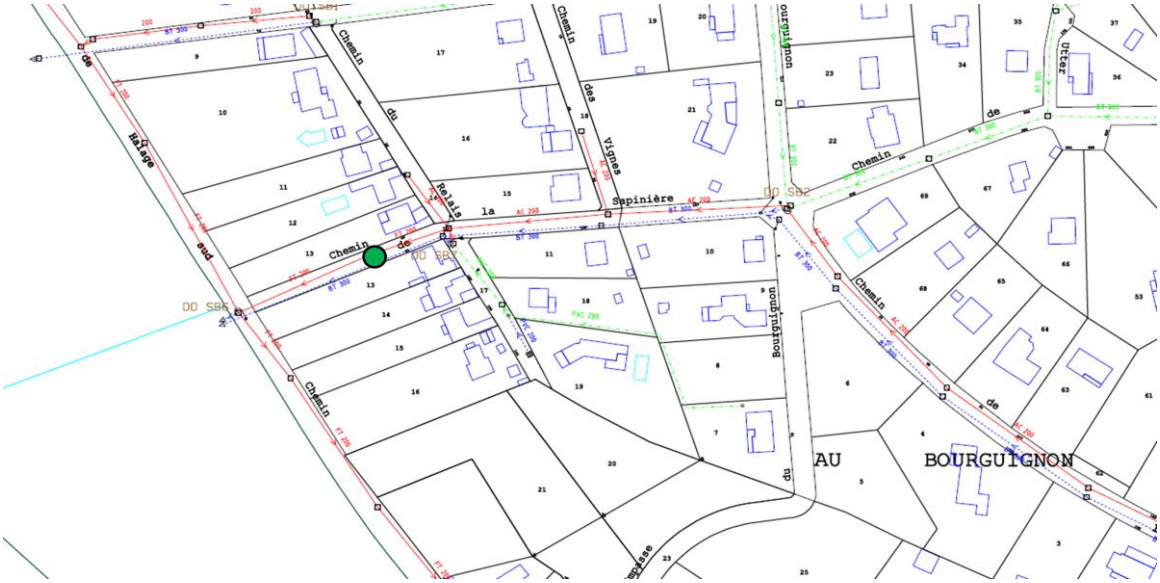


Annexe 34: Localisation des points de mesure proposés dans le cadre du diagnostic permanent

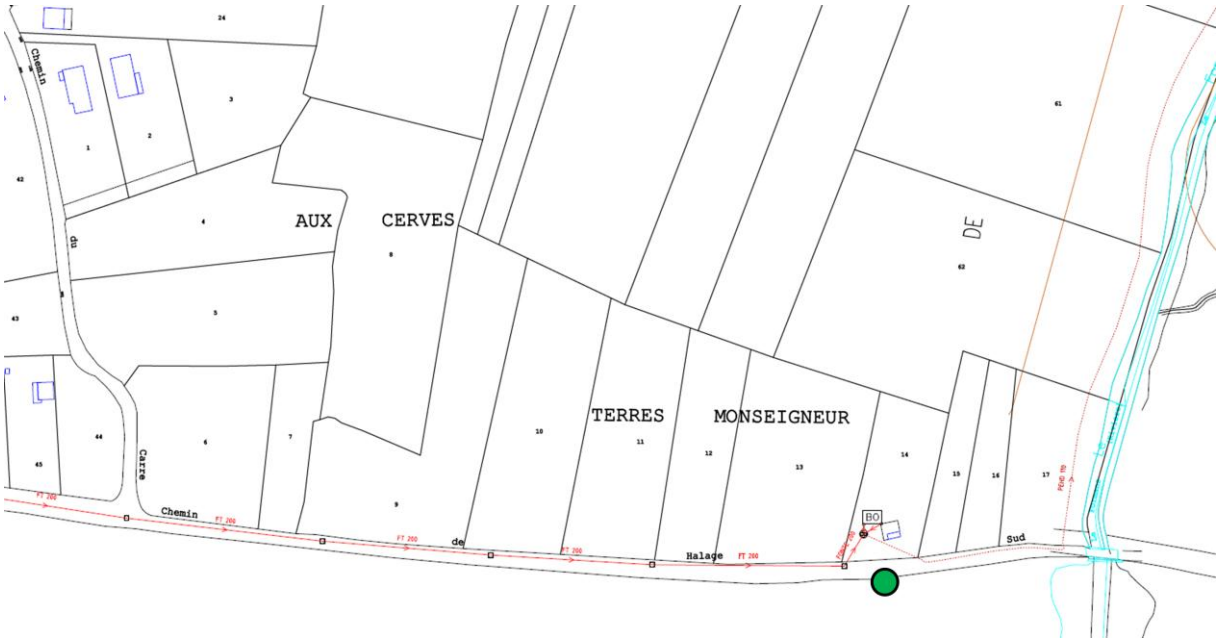


Annexe 35: Fiches descriptives des points proposés pour le diagnostic permanent

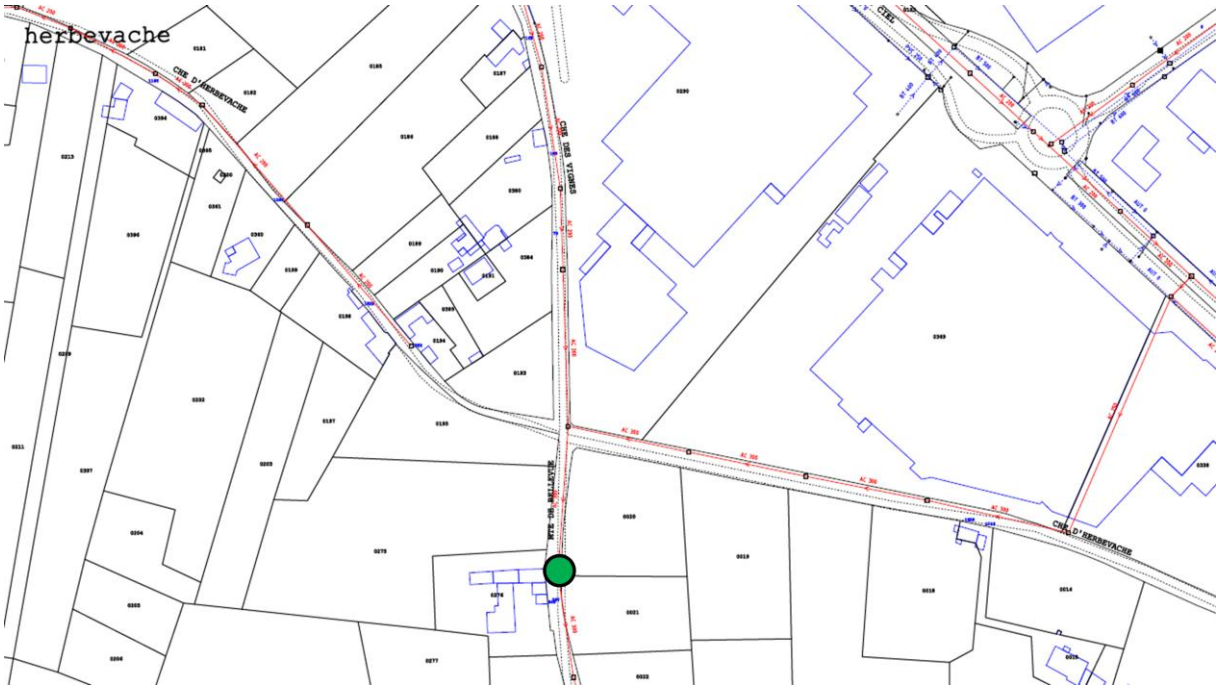
Nom du point	Pt Chemin de la Sapinière
Commune de localisation	Saint-Bernard
Adresse ou description du site	Centre de Saint Bernard
	Chemin de la Sapinière
	Premier regard du chemin
	Après le déversoir d'orage situé à l'intersection entre le Chemin de la Sapinière et le Chemin de Halage
Type actuel de point	Regard
Réseau drainé	Sud du centre-ville de Saint Bernard
	Réseau unitaire
	Zone résidentielle assez homogène
	Travaux réalisés en 2013 sur 60m du Chemin de la Sapinière (total de 430m environ)
	Probablement du béton, DN 250/300
Linéaire de réseau drainé (km)	1,40 (approximativement)
Inspections télévisées (m)	Deux ITV sur 267 m
	Béton apparaissant fortement usé
	Raccordements défectueux
Résultats de la sectorisation nocturne	Sensibilité moyenne
Test au fumigène	NON
Justification pour le diagnostic permanent	ITV mettant en évidence un réseau dégradé
	Sectorisation mettant en évidence une sensibilité moyenne
	Suivi des améliorations apportées par les travaux déjà entrepris permettant de déterminer si d'autres portions de la zone drainée nécessitent des inspections télévisées et éventuellement des travaux de renouvellement/réhabilitation
	Point plus pertinent qu'un point mesurant les eaux du centre



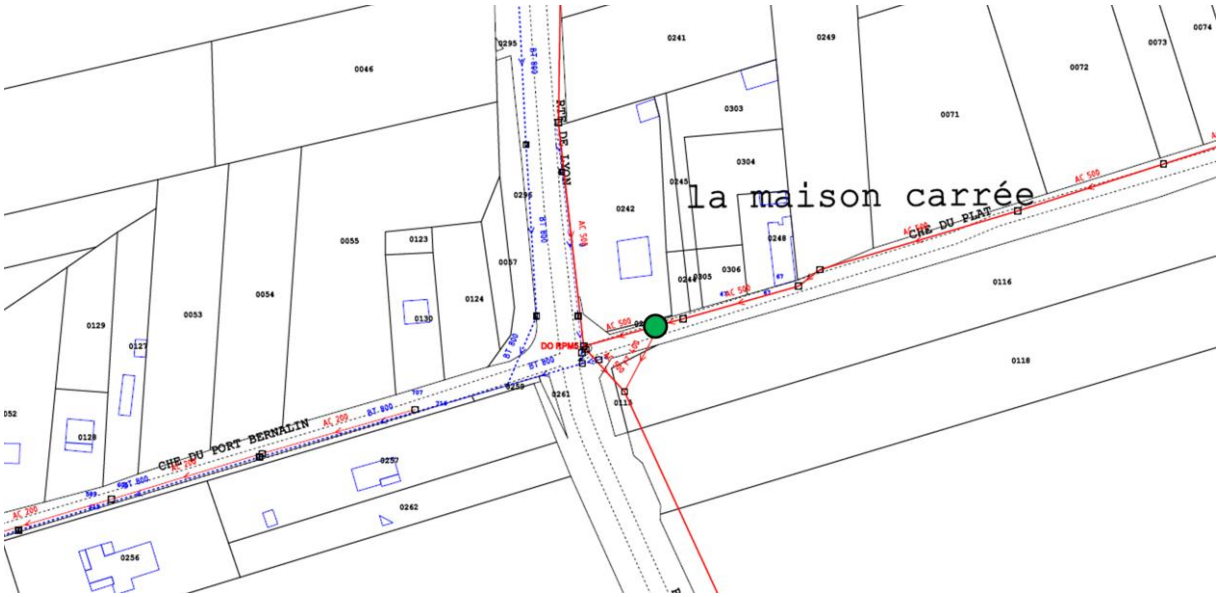
Nom du point	PR Ancienne STEP de St Bernard
Commune de localisation	Saint-Bernard
Adresse ou description du site	Extrémité Sud-Est de Saint Bernard
	Au niveau de l'ancienne STEP de Saint Bernard
	Chemin de Halage Sud
Type actuel de point	Poste de relèvement
Réseau drainé	Toute la ville de Saint Bernard
	Réseau mixte (80% séparatif et 20% unitaire)
	Zone résidentielle assez homogène
Linéaire de réseau drainé (km)	8,75
Inspections télévisées (m)	Trois ITV sur 501m
	Dans le centre, réseau très vétuste
	Dans le Sud du centre, réseau entre bon et vétuste
Résultats de la sectorisation nocturne	Sensibilité faible à moyenne
Test au fumigène	NON
Justification pour le diagnostic permanent	Comptabiliser les volumes provenant de Saint Bernard
	Compléter le point unique proposé dans la commune même
	Projet futur de la Communauté de Communes de raccordement de la périphérie Est de Saint Bernard sur le chemin de Halage Sud à l'amont du point proposé



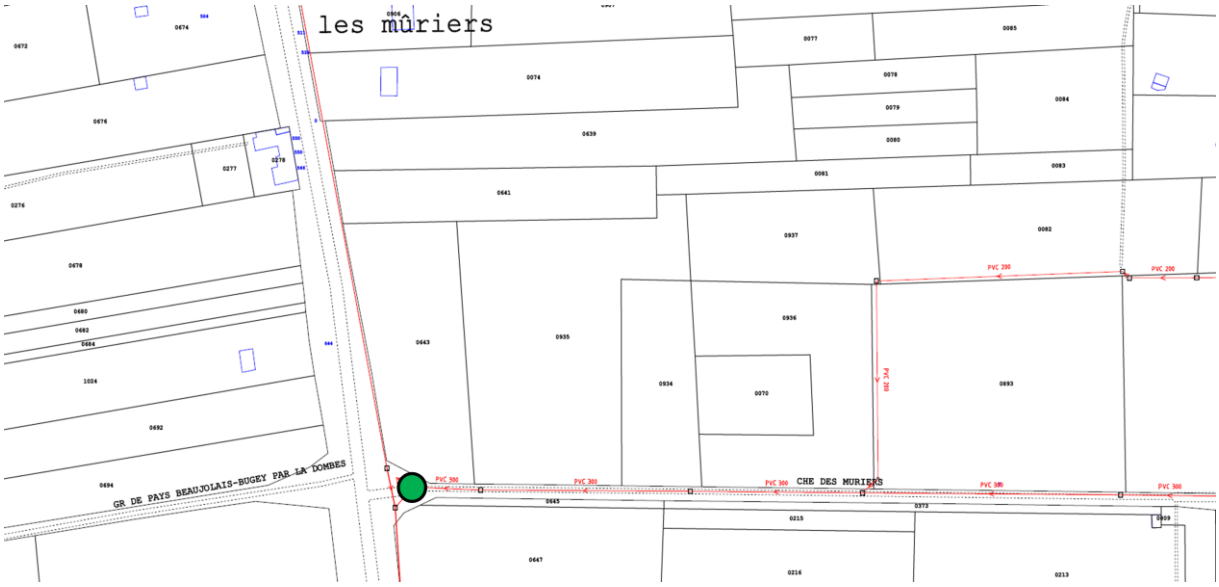
Nom du point	Pt ZI Reyrieux
Commune de localisation	Reyrieux
Adresse ou description du site	Exutoire de la zone industrielle de Reyrieux
	Reyrieux Nord (Nord du centre-ville)
	Montée de Bellevue
	Premier regard de la Montée de Bellevue après le carrefour entre Chemin des Vignes, Chemin d'Herbevache et Montée de Bellevue
Type actuel de point	Regard
Réseau drainé	Zone industrielle de Reyrieux
	Réseau séparatif
Linéaire de réseau drainé (km)	4,30
Inspections télévisées (m)	1TV de 330m
	Correct mais nombreux défauts avec intrusion de racines
Résultats de la sectorisation nocturne	Sensibilité forte (34,6m^3/j)
Test au fumigène	NON
Justification pour le diagnostic permanent	Permet la distinction eaux usées domestiques et eaux industriels en comptant les eaux provenant exclusivement de la ZI
	Application de la méthode d'estimation des ECP impossible en présence d'eaux industrielles
	Sensibilité fortes aux intrusions d'ECP selon la sectorisation nocturne
	Impossibilité de mettre en place un comptage par rejet industriel donc proposition d'un comptage unique en aval de la zone



Nom du point	Pt Chemin du Plat
Commune de localisation	Reyrieux
Adresse ou description du site	Extrémité Sud-Ouest de Reyrieux
	Chemin du Plat
	Premier regard après DO RPM5
Type actuel de point	Regard
Réseau drainé	Le Sud du centre-ville de Reyrieux dont la maison de retraite
	Réseau séparatif
	Zone résidentielle avec des résidences récentes comme les Magnolas datant de 2014
Linéaire de réseau drainé (km)	5,90
Inspections télévisées (m)	3ITV de 299m
	Correct
Résultats de la sectorisation nocturne	Sensibilité moyenne à forte (8,6 m^3/j, 15,4m^3/j, 19,9m^3/j)
Test au fumigène	Oui
	20 Tests au fumigène
	Mise en évidence d'eaux pluviales mal raccordées (1700m²)
Justification pour le diagnostic permanent	Centre ville ancien de Reyrieux
	Sensibilisation aux intrusions des ECCP mis en évidence par la sectorisation nocturne
	Maison de retraite rejetant beaucoup d'eaux claires parasites d'après la campagne de mesures ponctuelles réalisées par Réalité Environnement
	Une surface active importante liée à des eaux pluviales mal raccordées au réseau d'eau pluvial, des travaux de déconnection au réseau d'eaux usées devront être entrepris dans le futur



Nom du point	Pt Chemin des Mûriers
Commune de localisation	Parcieux
Adresse ou description du site	Chemin des Mûriers
	Premier regard à l'Est de l'intersection avec la route de Lyon
Type actuel de point	Regard
Réseau drainé	Centre ville de Parcieux
	Réseau séparatif
Linéaire de réseau drainé (km)	3,75
Inspections télévisées (m)	8ITV dont 6 avec résultats sur 325m
	Vétuste (joint défectueux, présence d'obstruction de certaines canalisations)
Résultats de la sectorisation nocturne	Sensibilité fortes aux intrusions (29,3m^3/j; 8,6m^3/j; 1 16,3m^3/j; 8,6m^3/j)
Test au fumigène	Oui
	10 tests au fumigène
	Mise en évidence d'eaux pluviales mal raccordées (1425m²)
Justification pour le diagnostic permanent	Centre ville ancien de Parcieux
	Année de pose des canalisations assez homogène vu le matériau commun qui est l'amiante ciment
	Année de pose assez vieille car présence de chemin de campagne
	Sensibilisation importante aux intrusions des ECCP mis en évidence par la sectorisation nocturne
	Une surface active importante liée à des eaux pluviales mal raccordées au réseau d'eau pluvial, des travaux de déconnection au réseau d'eaux usées devront être entrepris dans le futur



Nom du point	Pt ZI Massieux
Commune de localisation	Massieux
Adresse ou description du site	153 Avenue Lavoisier
	Regard face à Locarest
Type actuel de point	Regard
Réseau drainé	Zone industrielle de Massieux
	Réseau séparatif
Linéaire de réseau drainé (km)	1,10
Inspections télévisées (m)	2ITV sur 461m
	Plutôt correct
Résultats de la sectorisation nocturne	Sensibilité forte aux intrusions sur l'Avenue Lavoisier (27,6m3/j)
Test au fumigène	Oui
	1 test au fumigène
	Mise en évidence d'eaux pluviales mal raccordées (65m²)
Justification pour le diagnostic permanent	Permet la distinction eaux usées domestiques et eaux industriels en comptant les eaux provenant exclusivement de la ZI
	Application de la méthode d'estimation des ECP impossible en présence d'eaux industrielles
	Sensibilité fortes aux intrusions d'ECP selon la sectorisation nocturne
	Pas de comptage pour la zone Sud de Massieux mis à part au niveau de la chambre de comptage
	Impossibilité de mettre en place un comptage par rejet industriel donc proposition d'un comptage unique en aval de la zone

Annexe 36: Coûts estimés pour la mise en place de nouveaux points de mesure pour le diagnostic permanent

- **Fourniture SOFREL LT-US**

Article	Désignation	Qté	Total Net HT €
	LT-US AVEC CABLE		
ABE422011	Data logger LT-US 3m pile haute capacité avec câble I/O	5	5 250.00 €
T4400204	Equerre de fixation sonde de niveau LT-US	5	320.00 €
LB0421200	Gestion de 2 entrées analogiques 4-20mA / préleveur pour Gamme LT	5	450.00 €
T4400301	Raccord étanche 2 presses étoupes 5 conducteurs pour LS/LT	5	100.00 €
	LT-US / GPRS / PILE HTE CAPA / AVEC CABLE IO		6 120.00 €
	ACCESSOIRES POUR GAMME LT		
T1200061	Clé d'activation pour LS/LT	5	80.00 €
T1200062	Outil de serrage pour LS/LT	5	240.00 €
T1200063	Adaptateur USB Bluetooth pour LS/LT	5	240.00 €
	Accessoires pour Gamme LT		560.00 €
	TOTAL EN EUROS HORS OPTIONS ET VARIANTES		**6 680.00 €**

- **Main d'œuvre**

Désignation	Qté (h)	Total Net HT €
Installation	20	1 200.00 €
Etalonnage	8	480.00 €
TOTAL EN EUROS		**1 680.00 €**

- **TOTAL**

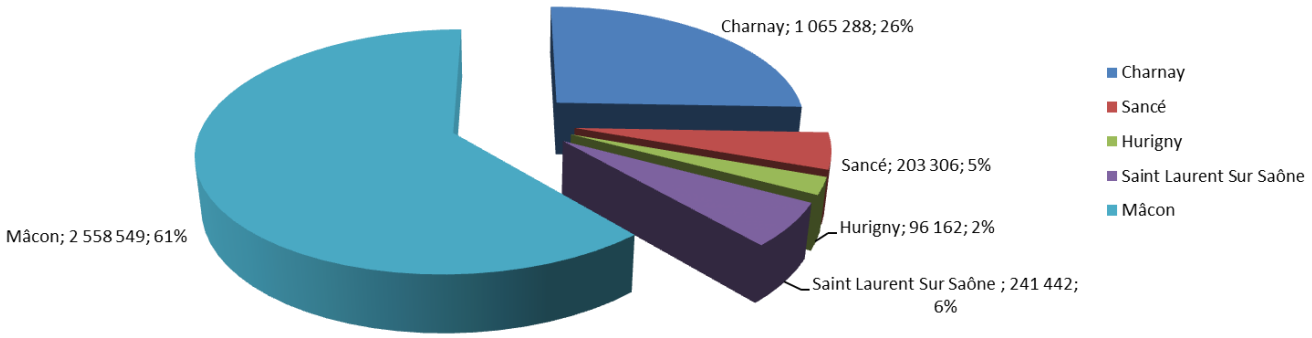
COÛT TOTAL ESTIMÉ EN EUROS POUR L'ÉQUIPEMENT DES 5 POINTS PROPOSÉS	**8 360.00 €**

Annexe 37: Caractéristiques des contrats sur lesquels GesCIRA a été mis en place

	Mâcon	Andrézieux-Bouthéon	Syndicat des Trois Ponts	Grand Projet
Communes raccordées	Hurigny Sancé Charnay-Lès-Mâcon Sennecé-lès-Mâcon Saint Jean de Priche Saint Laurent-sur-Saône	Andrézieux-Bouthéon	Andrézieux-Bouthéon Bonson Saint Just-Saint Rambert + ZI Nord	Saint Laurent de Mûre Saint Bonnet de Mûre Genas (uniquement 2 lotissements)
Usine de traitement des eaux	UDEP du SITEAM	STEP des 3 Ponts (48 000EH)	STEP des 3 Ponts (48 000EH)	Attendre réponse de Ludo
Linéaire de réseau	67 km de réseau unitaire 87 km de réseau séparatif 143 km de réseau pluvial	146 km total	8 km total	10,5 km majoritairement unitaire
Ouvrages	61 DO 18 PR 4 dessableurs 11 BO	12 DO 17 SR	6 DO 5 PR	5 DO
Objets du diagnostic permanent sur GesCIRA	9 points caractéristiques 4 points d'entrée de communes raccordées 7 PR	11 SR 5 DO 5 points caractéristiques	4 PR 6 DO	4 points d'entrée de communes raccordées 5 DO

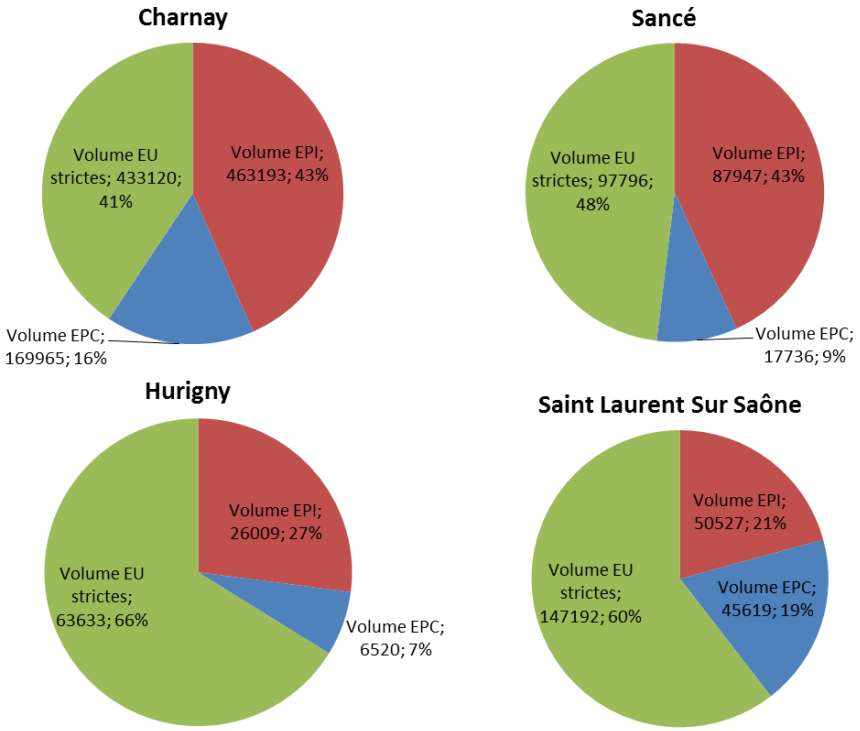
Annexe 38: Exemples de résultats obtenus grâce à l'établissement du diagnostic permanent sur GesCIRA

a. Contribution des communes raccordées au réseau de Mâcon au volume entrant à l'UDEP du SITEAM



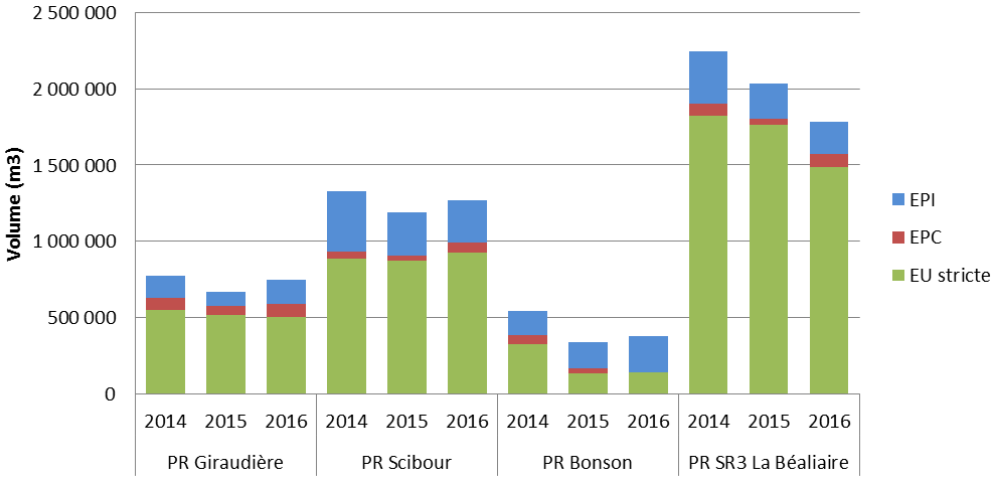
Dans le cas des entrées dans l'UDEP du SITEAM, les eaux proviennent principalement de Mâcon même, mais plus de 25% proviennent de Charnay. Ces informations comparées à celles de l'année précédente permettent en quelque sorte de vérifier qu'il n'y a pas eu de déversements anormaux par les différentes communes au cours de l'année.

b. Répartition des eaux aux points de déversement des communes raccordées au réseau de Mâcon



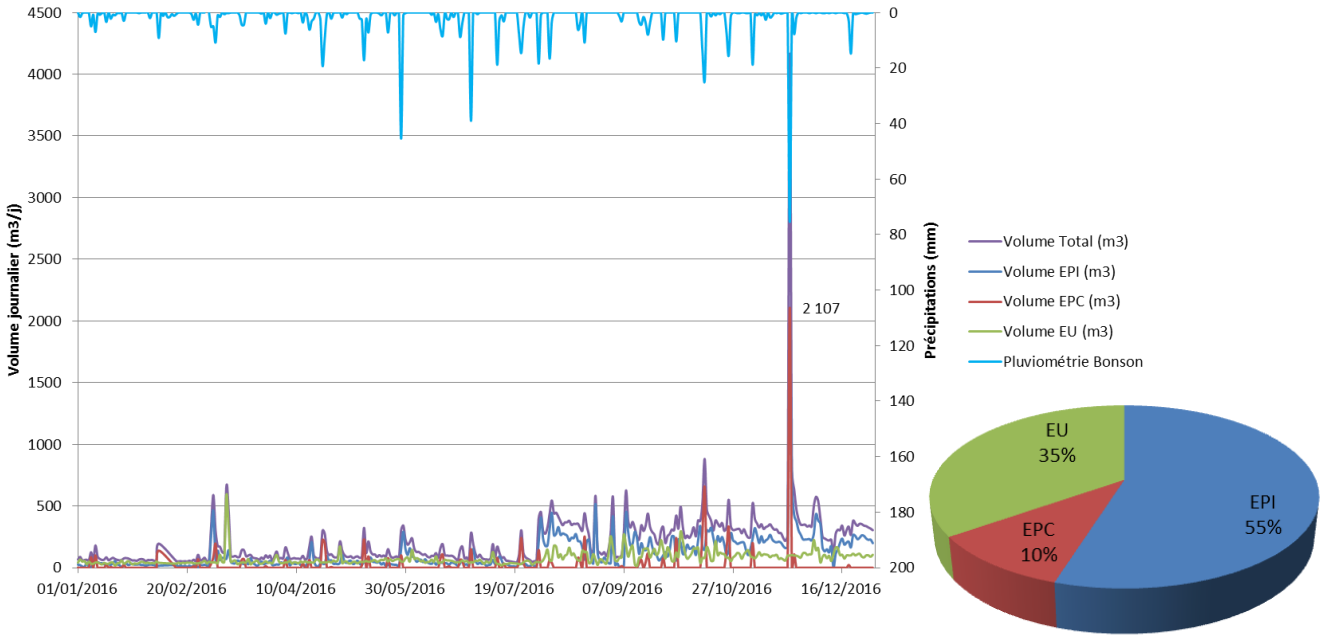
Le détail de la répartition des eaux entre EPI, EPC et EU strictes au niveau des points de raccordements au réseau de Mâcon des différentes communes montre que Charnay et Sancé produisent un volume conséquent d'EPI, signe que ces communes possèdent des réseaux particulièrement sensibles aux infiltrations.

c. Évolution des volumes transités aux PR du SI des 3 Ponts au cours des années



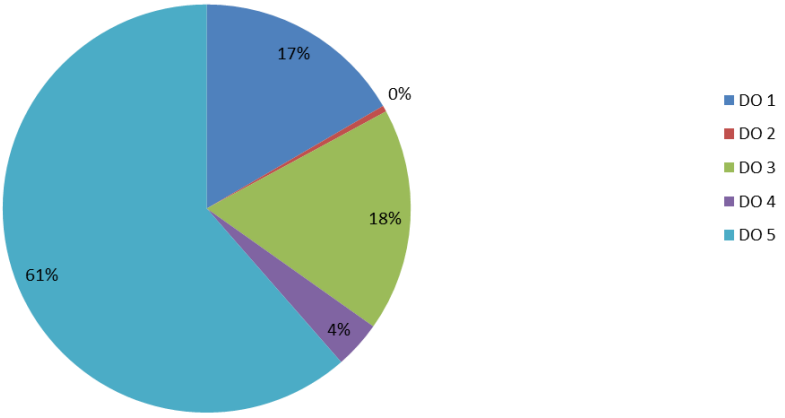
Selon les postes, l'étude de l'évolution des volumes transités au niveau des PR au cours des années permet d'observer que le volume total transité a augmenté ou diminué pour différentes raisons : il a augmenté pour Giraudière et Scibour car les volumes d'EPI et EPC ont augmenté ; il a aussi augmenté pour Bonson à cause d'une faible augmentation des EPI mais il n'y a plus d'EPC ; pour La Béaliaire il y a une baisse provenant d'une diminution des volumes d'eaux usées strictes.

d. Évolution des volumes pompés en SR1 à Andrézieux-Bouthéon en 2016



Le graphe d. est une manière plus détaillée de présenter l'évolution des volumes pompés par les stations de relevage au cours d'une année. L'utilisation de GesCIRA apporte la possibilité supplémentaire de voir l'évolution journalière des volumes d'eaux claires parasites. Ici, il est possible de voir que le pic d'eaux pompées de décembre 2016 provient majoritairement des eaux claires parasites, ce qui concorde avec le pic de précipitation observé.

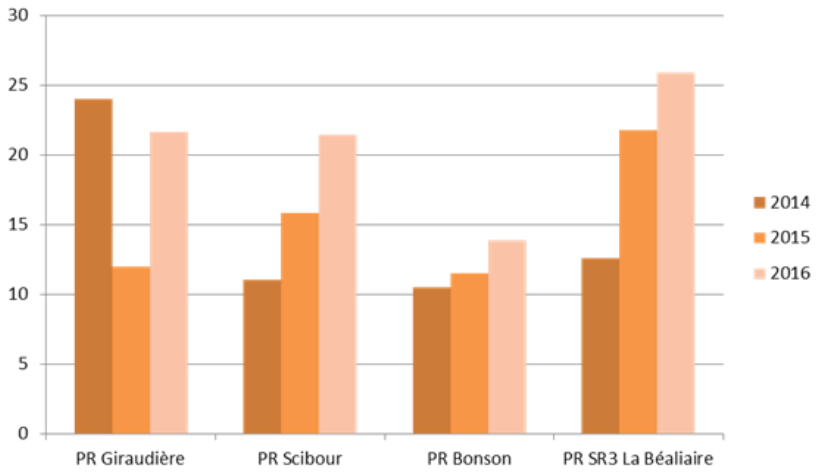
e. Contribution des déversoirs d'orage du Grand Projet aux déversements dans le milieu naturel en 2016



VOLUME TOTAL DEVERSE = 120 768 m3
Avec 61% des déversements par le DO5

La connaissance des volumes déversés dans le milieu naturel est indispensable pour connaître la conformité du système d'assainissement aux exigences réglementaire de l'arrêté du 21 Juillet 2015. GesCIRA fait le calcul des volumes selon le paramétrage qu'on lui a fixé : dans le cas d'un déversoir, une loi hydraulique débit-hauteur (Fonction polynomiale de degré 4 ou Formule de Poleni) est appliquée, l'utilisateur doit renseigner la hauteur du seuil de déversement ainsi que les coefficients de la loi hydraulique.

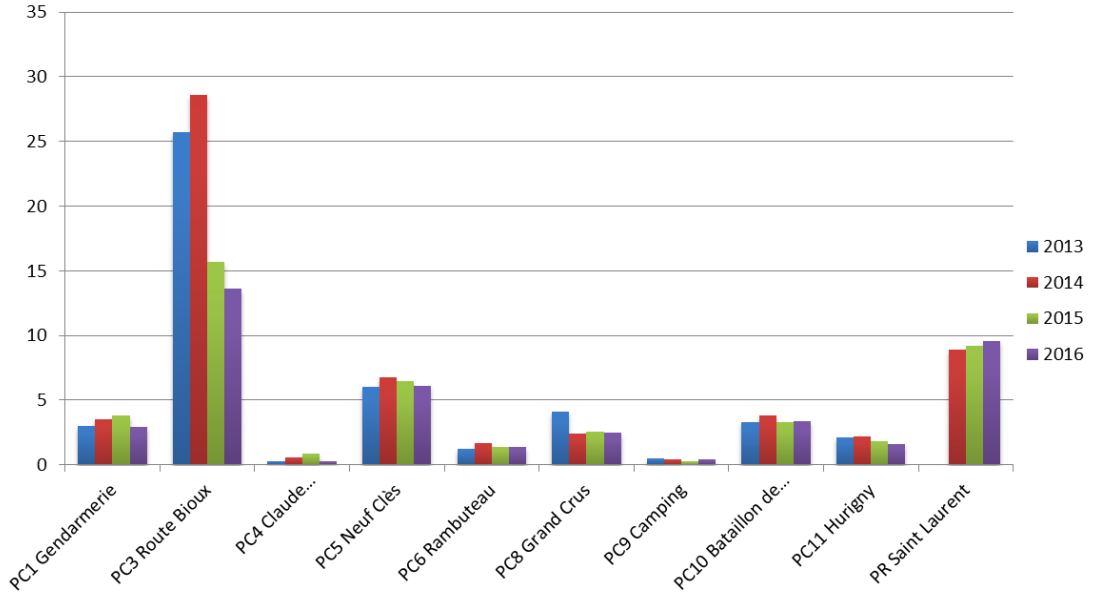
f. Évolution des surfaces actives au niveau des PR du SI des 3 Ponts et des PR de Mâcon



	Surface active (ha)		
	2014	2015	2016
PR Giraudière	24	12	24
PR Scibour	11	16	24
PR Bonson	11	12	14
PR SR3 La Béaliaire	13	22	26

Les surfaces actives sont représentatives des mauvais raccordements d'eaux pluviales. Dans le cas des PR du SI des 3 Ponts, il n'y a pas eu d'amélioration sur ce point là car les surfaces actives ont sensiblement augmenté.

g. Évolution des surfaces actives au niveau des PR de Mâcon



De manière générale, les surfaces actives des PR de Mâcon ont diminué par rapport aux années précédentes. Cette observation atteste de l'efficacité des travaux de mise en séparatif effectués au cours de l'année. On observe notamment les efforts mis au niveau du point PC3 Route de Bioux depuis 2014 pour diminuer les mauvais raccordements.

Annexe 39: Estimations des volumes d'ECP par Artelia et par Réalité Environnement

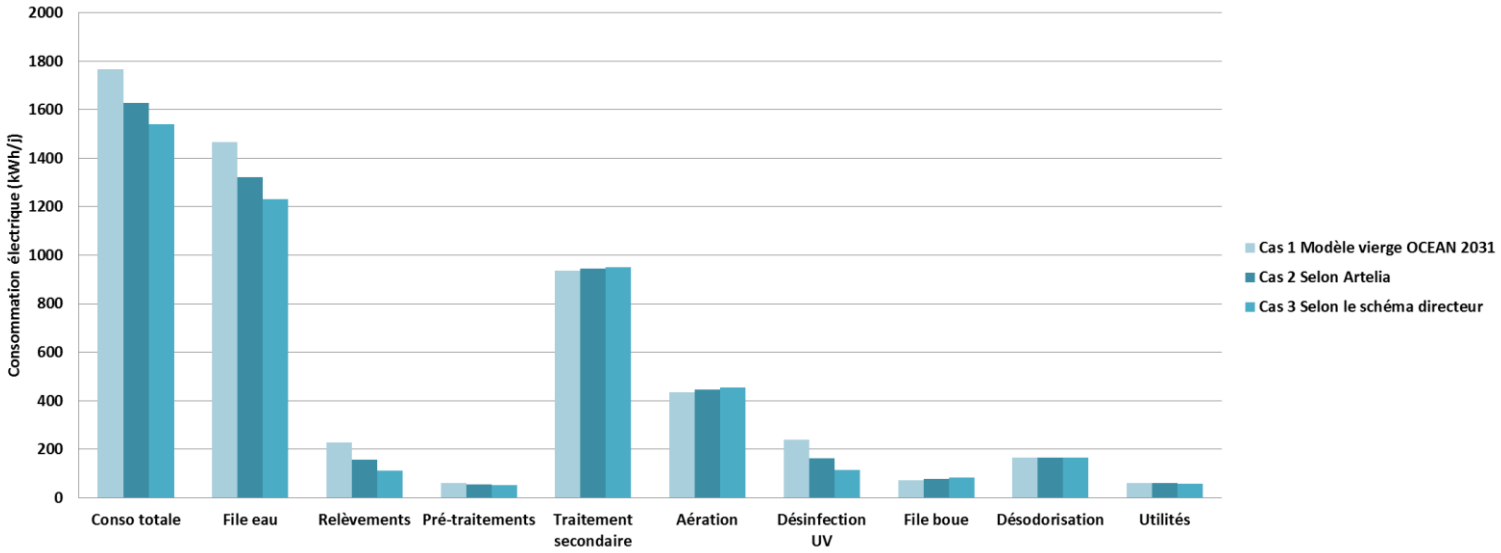
	Estimations d'Artelia	Estimations de Réalité Environnement
Contexte de l'étude	Note de dimensionnement établie en 2006 et complétée en 2013	Campagne de mesures dans le cadre de l'établissement du schéma directeur en 2015-2016
Débit d'eaux claires parasites estimé (m^3/j)	1 331	2 170

Annexe 40: Impact des volumes d'ECP sur l'exploitation actuelle de la station par la modélisation OCEAN

		Cas 1 Q_{EB} = 4 193 m3/j	Cas 2 Q_{EB} = 2 862 m3/j	Cas 3 Q_{EB} = 2 023 m3/j
FILE EAU	**kWh/j**	**1 831**	**1642**	**1523**
Relèvements	kWh/j	231	159	114
Prétraitements	kWh/j	61	56	52
Traitement secondaire	kWh/j	1 299	1263	1 241
dont aération	kWh/j	692	692	692
Désinfection	kWh/j	240	164	116
FILE BOUE	**kWh/j**	**198**	**199**	**200**
FILE DE TRAITEMENT ODEURS	**kWh/j**	**167**	**167**	**167**
UTILITES	**kWh/j**	**67**	**65**	**63**
Chauffage et climatisation des bureaux	kWh/j	34	34	34
Centrale de Traitement de l'air	kWh/j	6	6	6
Eclairage	kWh/j	23	21	19
Eau de service	kWh/j	4	4	4
CONSOMMATION TOTALE	**kWh/j**	**2 263**	**2 073**	**1 953**

Annexe 41: Impact de la réduction à100% des ECP sur l'exploitation en 2016 selon OCEAN

- **Impact sur les consommations électriques**



- **Comparaison des valeurs proposées par OCEAN dans l'étude de la réduction des ECP en 2016**

	Cas 1	Cas 2	Cas 3
Q_{EB} (m^3/j)	4193	2862	2023
Entrée DCO (kg/j)	1661.90	1661.90	1661.90
Entrée DBO5 (kg/j)	580.50	580.50	580.50
Entrée MES (kg/j)	900.80	900.80	900.80
Entrée NK (kg/j)	200.10	200.10	200.10
Entrée Pt (kg/j)	21.70	21.70	21.70
A_b (j)	17.53	17,53	17,53
$[MES]_{BA}$ (gMES/l)	1.23	1.27	1.3
Besoin en O_2 (kgO_2/j)	554.99	569.46	578.55
Débit d'air process refoulé (Nm^3/j)	7681.33	7895.3	8029.99
Taux de recirculation (%)	16	17%	1700%
Sortie DBO5 (mg/l)	5.9	8.73	12.43
Sortie Pt (mg/l)	1.33	1.94	2
Injection de méthanol (kg/j)	10.15	22.61	30.46
Injection de FeCl3 (kg/j)	0	0	4.43

Annexe 42: Projection en 2031 du nombre d'habitants et des charges

- **Projection du nombre d'habitants à échéance de 2031**

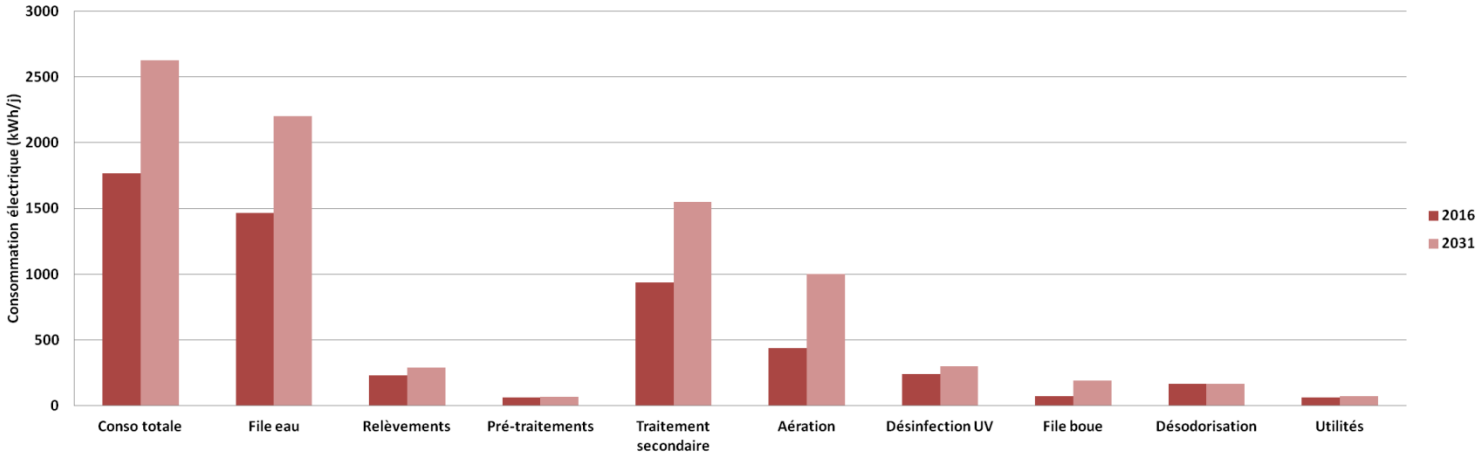
Commune	Projection en 2031 (habitants)
Saint-Bernard	1 570
Trévoux	7 714
Reyrieux	8 543
Parcieux	1 476
Massieux	2 891
TOTAL	22 194

- **Estimations des charges en entrée de station à l'horizon de 2031**

Paramètres	Valeur de référence	Charges en entrée estimées pour 2031
DBO5	1 622	1 428
DCO	3 407	3 000
MES	2 682	2 361
NK	403	355
Pt	106	93

Annexe 43: Impact de l'évolution démographie et urbaine sur l'exploitation selon OCEAN sans réduction des ECP

➢ **Impact sur les consommations électriques**

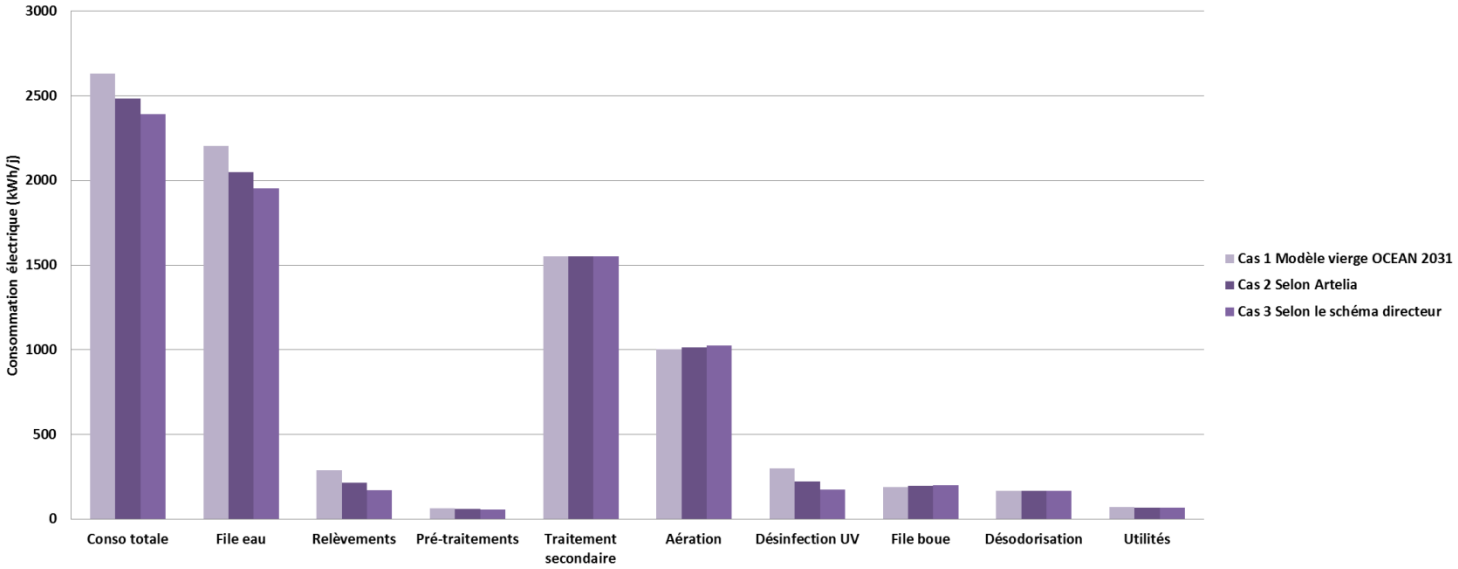


➢ **Comparaison des valeurs proposées par OCEAN dans les situations de 2016 et de 2031 sans réduction des ECP**

	2016	2031
Q_{EB} (m^3/j)	4193	5204
Entrée DCO (kg/j)	1665	3003
Entrée DBO5 (kg/j)	581	1428
Entrée MES (kg/j)	901	2364
Entrée NK (kg/j)	200	355
Entrée Pt (kg/j)	21,70	93
A_b (j)	17,53	17,53
$[MES]_{BA}$ (gMES/l)	1,23	2.99
Besoin en O_2 (kgO_2/j)	555	1178
Débit d'air process refoulé (Nm^3/j)	7681	17 685
Taux de recirculation (%)	16%	51%
Sortie DBO5 (mg/l)	5,9	11,65
Sortie Pt (mg/l)	1,33	2,00
Injection de méthanol (kg/j)	10,15	9,38
Injection de FeCl3 (kg/j)	0	136,30

Annexe 44: Impact de la réduction à100% des ECP sur l'exploitation en 2031 selon OCEAN

➢ Impact sur les consommations électriques



➢ Comparaison des valeurs proposées par OCEAN dans l'étude de la réduction des ECP en 2031

	Cas 1	Cas 2	Cas 3
Q_{EB} (m^3/j)	5204	3873	3034
Entrée DCO (kg/j)	3003.21	3003.21	3003.21
Entrée DBO_5 (kg/j)	1428.00	1428.00	1428.00
Entrée MES (kg/j)	2364.13	2364.13	2364.13
Entrée NK (kg/j)	355.24	355.24	355.24
Entrée P_t (kg/j)	93.44	93.44	93.44
A_b (j)	17,53	17,53	17,53
$[MES]_{BA}$ (gMES/l)	2.99	3.03	3.05
Besoin en O_2 (kgO_2/j)	1178.06	1192.42	1201.39
Débit d'air process refoulé (Nm^3/j)	17684.7	17933.7	18090
Taux de recirculation (%)	51	5200%	53%
Sortie DBO_5 (mg/l)	11.65	15.71	20.11
Sortie P_t (mg/l)	2	2	2
Injection de méthanol (kg/j)	9.38	21.84	29.69
Injection de $FeCl_3$ (kg/j)	136.29	140.93	143.1

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Diplôme

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de l'ENGEES
Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg

Spécialité

Hydraulique urbaine

Auteur	**Année**
LAM Camille	2017

Titre

Diagnostics hydraulique et énergétique de systèmes de collecte et de traitement des eaux usées urbaines

Nombre de pages 60p texte 40p annexes

Nombre de références bibliographiques 28 (dont 8 internes à Veolia)

Structure d'accueil : Service Aide à l'Exploitation de Veolia / Villefranche-sur-Saône / France

Maître de stage : LAURENT Ludovic

Référent école : BECK Christian

Résumé

Dans le cadre de la certification ISO 50001 sur la performance énergétique, le Service d'Aide à l'Exploitation du Centre Rhône-Loire-Auvergne de Veolia établit à l'échelle du centre des études énergétiques débouchant sur des plans d'actions.

Un diagnostic du fonctionnement et des consommations énergétiques de la Station d'épuration des Bords de Saône à Massieux est proposé dans ce mémoire.

Cette analyse ouvre la voie à des recommandations visant un meilleur fonctionnement de la station et des besoins énergétiques optimisés. Ces recommandations portent surtout le traitement biologique mais concernent aussi une meilleure gestion des eaux claires parasites au niveau du réseau.

Mots-clés

Diagnostic, Optimisation, Energie, Traitement des Eaux Résiduaires Urbaines, Assainissement, Eaux Claires Parasites