



MINISTÈRE DE L'ALIMENTATION,  
DE L'AGRICULTURE ET DE LA PÊCHE

ÉCOLE NATIONALE  
DU GENIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT  
DE STRASBOURG

Rapport de TFE en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur de l'ENGEES

## Optimisation des unités de décantation primaire des stations d'épuration de la Ville de Québec.

Organisme d'accueil : Université Laval, Québec, Canada.

Maîtres de stage : Paul Lessard et Peter Vanrolleghem



UNIVERSITÉ  
**LAVAL**

Sovanna TIK

Stage effectué de janvier à juin 2010

Promotion

Somme

2007-2010



# Remerciements

---

Ce stage est issu d'une collaboration entre la Ville de Québec et l'Université Laval, deux équipes m'ont ainsi chaleureusement accueillie pour ce séjour de 6 mois au cœur de La Belle Province.

Je tiens tout d'abord à remercier mes maîtres de stage, **Paul Lessard** et **Peter Vanrolleghem**, professeurs-chercheurs au département de génie civil et de génie des eaux de l'Université Laval pour leur encadrement dynamique et leur disponibilité. Outre leurs expertises et leurs qualités pédagogiques qui m'ont permis de tirer pleinement profit de ce stage, leur passion pour la science et leur ouverture d'esprit m'ont définitivement donné goût aux activités de recherche.

Merci à toute l'équipe du service de traitement des eaux usées de la Ville de Québec dont la bonne humeur a rendu des plus agréables mon séjour parmi eux. En particulier à tous les opérateurs dont l'aide a été précieuse pour la réalisation des essais de terrain. Merci à **Denis Dufour**, technicien en assainissement de l'eau, qui par sa connaissance du terrain, a grandement contribué au bon déroulement des expériences réalisées. Merci également à **Anne Lajoie**, ingénieure de procédés, et **Marie-Josée Neault**, directrice des opérations du traitement des eaux usées.

Je remercie enfin l'ensemble du personnel et les étudiants que j'ai côtoyés à l'Université Laval. Notamment à **Pascal Poirier**, étudiant à la maîtrise, et **Maria Pujadas-Ferrer**, professionnelle de recherche, pour m'avoir initiée au fonctionnement de la station monEAU et avoir été présents tout au long de son utilisation.



# Résumé

---

## *Optimisation des unités de décantation primaire des stations d'épuration de la Ville de Québec*

La Ville de Québec dispose de deux stations d'épuration (désignées par Est et Ouest) pour le traitement des eaux usées. Mises en service en 1992, elles arrivent aujourd'hui à l'échéance de leur conception. De plus, quatorze bassins de rétention des eaux de débordement de réseaux unitaires ont été construits pour réduire le nombre de déversements au milieu naturel en temps de pluie. Ces ouvrages engendrent un débit et une charge supplémentaires à traiter aux stations.

Pour continuer à répondre aux exigences gouvernementales en termes de rejet, il a été décidé d'améliorer la décantation primaire par ajout de coagulant-floculant, ici, de l'alun et du polymère. Pour réduire les coûts de fonctionnement, une optimisation du dosage est essentielle.

Pour cela une étude du comportement des stations a été effectuée. En premier lieu, les données opérationnelles de l'année 2009 ont été analysées. Puis des essais de terrain ont été menés pour affiner les données autour des décanteurs primaires de la station d'épuration Est. Ceux-ci ont permis de valider les points d'échantillonnage en amont et en aval des décanteurs primaires.

La caractérisation des eaux, au pas de temps horaire, a montré une grande variabilité journalière sur les concentrations en MES à l'entrée des décanteurs primaires. Ces fluctuations sont plus tamponnées à la sortie des décanteurs, montrant le bon fonctionnement de ces ouvrages. Un échantillonnage a également été effectué à l'aval des dégrilleurs, les résultats semblent confirmer que les fluctuations de concentration en MES proviennent du réseau et non des recirculations internes de la station.

Concernant le contrôle en temps réel, il semble que l'utilisation d'une sonde de turbidité pour évaluer les concentrations en MES des eaux est possible. Une préparation adéquate est néanmoins nécessaire pour obtenir des données de bonne qualité.

Total : 287 mots.

**Mots-clefs :** décantation primaire, décanteur lamellaire, bilan de masse, analyse de données, calibration, contrôle en temps réel.

# Abstract

---

## *Optimization of primary settlers of Québec City's wastewater treatment plants*

The wastewater treatment plants (WWTPs) of Québec City have been designed in the 1990s. They are now struggling to meet the discharge requirements issued by the Ministry of Sustainable Development, Environment and Parks, especially during snowmelt and wet weather when the equipments efficiency is reduced. Furthermore, fourteen detention tanks for combined sewer overflows have been built to reduce discharge of wastewater directly in the river. This results in an additional flow and flux to the WWTPs.

Québec City chose to enhance primary sedimentation of its WWTP by adding alum and polymer. The goal of this study is to optimize chemicals dosage to reduce operating costs.

A mass balance analysis has been made on operational data of 2009. Then, experimentations were conducted in order to refine the data around the primary settlers and to validate the sampling points on inflow and outflow of these settlers.

In order to identify the periods when chemicals injection will be most beneficial, water characterization on an hourly step were carried out. A great variability on TSS concentration on primary settlers inflow has been noticed. These fluctuations were buffered on the outflow, which means that the settlers work properly.

For real time control, it seems that the use of an on-line turbidity sensor to measure the concentrations of TSS in water is possible. But proper preparation is necessary to ensure the quality of collected data.

**Keywords :** primary sedimentation, lamellae settler, mass balance, data analysis, turbidity, calibration, real time control.

# Table des matières

---

Remerciements .....	iii
Résumé.....	v
Abstract.....	vi
Table des matières .....	vii
Liste des figures .....	x
Liste des tableaux.....	xi
Sigles et abréviations .....	xii
Introduction .....	1
<b>Chapitre I : Contexte du stage .....</b>	<b>3</b>
1. Le Québec .....	3
2. La Ville de Québec.....	3
2.1 Caractéristiques du réseau .....	3
2.2 Caractéristiques des affluents.....	4
2.3 Description des stations d'épuration.....	5
2.3.1 Dimensionnement.....	5
2.3.2 Filières de traitement.....	5
2.3.2.1 Filière eau.....	7
2.3.2.2 Filière boue .....	8
2.3.3 Données générales.....	8
2.4 Contraintes climatiques .....	8
2.5 Contexte du projet .....	9
2.5.1 Historique.....	9
2.5.2 Résultats des études antérieures.....	10
2.5.3 Décanteurs primaires.....	11
2.5.4 Suivi en temps réel.....	12

<b>Chapitre II : Objectifs</b> .....	13
<b>Chapitre III : Comportement des stations</b> .....	14
1. Étude préliminaire sur les données de 2009 .....	14
1.1 Débits .....	14
1.1.1 Commentaires sur les données.....	14
1.1.2 Résultats.....	16
1.1.3 Bilan sur les débits de la station Est.....	18
1.2 Bilan de masse .....	19
1.2.1 Hypothèses.....	19
1.2.2 Fiabilité des données de concentration.....	21
1.2.3 Résultats.....	21
2. Vérification des débits et des charges .....	21
2.1 Objectifs .....	21
2.2 Description des phases .....	22
2.3 Préparation de l'intervention .....	22
2.3.1 Validation des débitmètres.....	22
2.3.2 Bilan de masse .....	22
2.3.2.1 Échantillonnage.....	22
2.3.2.2 Analyse .....	23
2.4 Résultats.....	23
2.4.1 Validation des débitmètres.....	23
2.4.2 Bilan de masse autour des décanteurs primaires.....	24
3. Conclusions et recommandations.....	28
<b>Chapitre IV : Caractérisation des eaux</b> .....	29
1. Objectifs .....	29
2. Méthodologie.....	29
2.1 Échantillonnage.....	29
2.2 Analyse de MES et d'alcalinité .....	29
2.3 Mesure de la turbidité en continu (station monEAU) .....	30
2.3.1 Description de la station monEAU et des capteurs utilisés .....	30



2.3.2	Choix des emplacements .....	32
2.4	Localisation des équipements.....	33
2.5	Caractéristiques des journées d'échantillonnage.....	34
3.	Analyse des résultats .....	35
3.1	Alcalinité.....	35
3.2	MES .....	35
3.2.1	Problèmes rencontrés.....	35
3.2.2	Commentaires sur les résultats journaliers .....	36
3.2.3	Résultats de l'échantillonnage en aval des dégrilleurs.....	38
3.2.4	Comparaison au composé 24h.....	39
3.3	Turbidité.....	40
3.3.1	Influence du nettoyage des sondes .....	40
3.3.2	Traitement de données.....	40
3.3.3	Calibration par journée d'échantillonnage .....	42
3.3.4	Résultats des deux sondes en parallèle .....	43
4.	Conclusions et recommandations.....	45
4.1	Stratégie de contrôle .....	45
4.2	Ajustement de l'exploitation des stations .....	46
	Conclusions et perspectives.....	47
	Bibliographie .....	48
	Table des annexes.....	50

# Liste des figures

---

Figure 1 : Évolution du nombre de stations d'épuration évaluées au Québec (source : MAMROT).....	3
Figure 2 : Évolution de la mixité des affluents des stations Est et Ouest pour l'année 2009.....	4
Figure 3 : Schéma des équipements des stations Est et Ouest.....	6
Figure 4 : Coupe transversale d'un dessableur-dégraiseur (source : Ville de Québec).....	7
Figure 5 : Coupe transversale d'un biofiltre en filtration (source : Ville de Québec).....	7
Figure 6 : Coupe transversale d'un décanteur lamellaire (source : Ville de Québec).....	11
Figure 7 : Localisation des équipements de mesure de débit à la station Est.....	14
Figure 8 : Comparaison des débits en entrée de station en temps sec.....	16
Figure 9 : Comparaison des débits en temps sec à différentes étapes du traitement.....	17
Figure 10 : Comparaison des débits en temps de pluie à différentes étapes du traitement.....	18
Figure 11 : Extrait du schéma en Annexe 5 autour des décanteurs primaires de l'Est.....	20
Figure 12 : Évolution de la concentration en MES des eaux.....	25
Figure 13 : Évolution du débit d'entrée et du rendement des décanteurs.....	25
Figure 14 : Évolution de la concentration des boues.....	25
Figure 15 : Échantillonneur automatique.....	29
Figure 16 : Panneau de contrôle d'une station monEAU.....	30
Figure 17 : Variation de la température à l'affluent des décanteurs.....	31
Figure 18 : Schéma de l'optique d'une sonde Solitax® (source : Hach®).....	31
Figure 19 : Installation des deux sondes de turbidité à l'entrée des décanteurs primaires.....	32
Figure 20 : Localisation de l'échantillonneur et de la sonde de turbidité à l'entrée des décanteurs primaires.....	33
Figure 21 : Localisation de l'échantillonneur à la sortie des décanteurs primaires.....	33
Figure 22 : Exemple de correction par interpolation linéaire (9 avril 2010).....	35
Figure 23 : Évolution des concentrations en MES et des débits – pics de concentrations.....	36
Figure 24 : Évolution des débits et des concentrations en MES en entrée et en sortie des décanteurs primaires.....	37
Figure 25 : Évolution des concentrations en MES en entrée et sortie des décanteurs et en sortie des dégrilleurs.....	38
Figure 26 : Influence du nettoyage des sondes sur le signal de turbidité.....	40
Figure 27 : Filtrage des données lors des nettoyages (9 avril 2010).....	41
Figure 28 : Signal de la sonde de turbidité avant et après filtrage (9 avril 2010).....	41
Figure 29 : Comparaison des valeurs données par la sonde de turbidité et les analyses de MES.....	42
Figure 30 : Corrélation entre les données de la sonde et des analyses de MES.....	42
Figure 31 : Illustration du « shift » sur le signal (filtré) d'une des deux sondes (17 avril 2010).....	43
Figure 32 : Évolution des concentrations en MES et des signaux de turbidité (filtrés) en entrée décanteurs.....	43
Figure 33 : Corrélation entre les données des sondes et les résultats d'analyse de MES.....	44
Figure 34 : Évolution du signal des sondes de turbidité et du débit d'entrée.....	45
<u>Annexes</u>	
Figure A-1 : Schéma du réseau et localisation des stations d'épuration (source : Ville de Québec).....	51
Figure A-2 : Schéma de l'organisation des stations d'épuration pour la phase bilan de masse.....	52
Figure A-3 : Conduites de boues primaires.....	53
Figure A-4 : Variation de la concentration en MES des boues primaires lors du soutirage sur un décanteur.....	55
Figure A-5 : Évolution de la concentration des effluents.....	57
Figure A-6 : Exemple d'un bilan de masse journalier réalisé sur les données d'opération de l'année 2009.....	58
Figure A-7 : Position des points d'échantillonnage à l'entrée de la station Est.....	59

# Liste des tableaux

---

Table 1 : Données de dimensionnement des stations d'épuration Est et Ouest [ref. 22].....	5
Table 2 : Exigences de rejet pour la station Est (source : Ville de Québec).....	9
Table 3 : Exigences de rejet pour la station Ouest (source : Ville de Québec).....	9
Table 4 : Comparaison des charges à l'entrée en 2009 avec les données de 2003 à 2007.....	10
Table 5 : Comparaison des rejets de 2009 avec les données de 2003 à 2007 et les exigences réglementaires.....	10
Table 6 : Rendement de la station Est par période pour l'année 2009.....	12
Table 7 : Valeurs du débit de référence.....	18
Table 8 : Comparaison des débits mesurés et écart par rapport au débit d'entrée de référence.....	19
Table 9 : Accumulation de charge théorique dans les épaisseurs.....	21
Table 10 : Comparaison des volumes de boues mesurés et calculés lors de l'intervention du 10 mars 2010.....	23
Table 11 : Comparaison des débits mesurés et calculés lors de l'intervention du 10 mars 2010.....	24
Table 12 : Résultats des analyses d'eau et de boues du 10 mars 2010.....	24
Table 13 : Récapitulatif des débits utilisés pour le bilan de masse.....	27
Table 14 : Calcul des charges à chaque pas de temps.....	27
Table 15 : Vérification des résultats d'analyse par un laboratoire accrédité.....	30
Table 16 : Températures mesurées à l'affluent de la station Est.....	31
Table 17 : Récapitulatif des données disponibles.....	34
Table 18 : Comparaison de l'échantillonnage 24 bouteilles au composé 24h.....	39
<u>Annexes</u>	
Table A-1 : Évolution de la concentration en MES des boues primaires.....	54
Table A-2 : Résultats des analyses effectuées sur l'affluent et l'effluent de la décantation primaire.....	56
Table A-3 : Résultats des analyses de vérification.....	56
Table A-4 : Calcul des charges journalières entrant à la station Est.....	61

# Sigles et abréviations

---

DBO<sub>5</sub> : demande biologique en oxygène sur 5 jours

MAMROT : ministère des affaires municipales, des régions et de l'occupation du territoire

MDDEP : ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs

MES : matières en suspension

MT : matière totale

MVS : matière volatile en suspension

# Introduction

---

La Ville de Québec est située sur la rive Nord du fleuve Saint-Laurent, à l'aval de la Ville de Montréal. Avec plus de 500 000 habitants, elle est la seconde métropole de la province de Québec, dont elle est aussi la capitale administrative. Un cours d'eau de moindre envergure traverse la ville : la rivière Saint-Charles. Près de 350 000 personnes habitent le long de ses 33km de berges allant du Lac Saint-Charles, où elle prend sa source, jusqu'au fleuve Saint-Laurent. Cette population est essentiellement située sur le dernier tiers de la rivière, au sein de la Ville de Québec.

C'est pour protéger ces cours d'eau que la Ville de Québec a construit deux stations d'épuration au début des années 90. Cependant, la capacité des stations et du réseau d'interception étant limitée, la plupart des pluies engendrait des déversements des réseaux unitaires très dommageables pour le milieu naturel. Il pouvait ainsi se produire jusqu'à 50 déversements par saison estivale. Afin de renaturaliser les berges de ses cours d'eau et en récupérer les usages récréatifs, un projet de contrôle des débordements de réseaux unitaires par temps de pluie a été lancé au début des années 2000, aboutissant à la construction de 14 bassins de rétention, pour une capacité de stockage totale de plus de 150 000 m<sup>3</sup>.

Des études ont été menées pour estimer l'impact de ce projet sur les stations d'épuration. Elles ont révélé que les stations, déjà proches de leur capacité maximale, risquaient de dépasser les normes de rejets auxquelles elles sont soumises. Pour continuer à assurer un traitement efficace, une modernisation des stations est donc nécessaire. Il a été décidé de renforcer le traitement primaire par ajout de produits chimiques lors des périodes critiques. Cette solution, moins onéreuse d'un point de vue génie civil que la construction de nouveaux décanteurs primaires, peut cependant engendrer un coût de fonctionnement important. C'est pourquoi il est nécessaire de cibler les périodes les plus critiques, pour que le rendement de ce traitement soit maximal.

Ce rapport présente les résultats des expérimentations effectuées à la station d'épuration Est de la Ville de Québec dans l'objectif d'une meilleure compréhension de la dynamique journalière des charges à traiter. Dans un premier temps, une étude des archives de données opérationnelles a été effectuée pour comprendre et valider les données qui seront utilisées par la suite. Puis des analyses à pas de temps réduit par rapport aux données opérationnelles ont été réalisées sur l'affluent de la station d'épuration Est. Enfin, des essais ont été menés pour évaluer la possibilité de suivre en temps réel l'évolution de la qualité de l'affluent à l'aide d'une sonde de turbidité.



# Chapitre I : Contexte du stage

## 1. Le Québec

Le Québec est la plus grande province du Canada avec une superficie de plus de 1,5 million de km<sup>2</sup> pour un peu plus de 7,7 millions d'habitants. Avec sa faible densité de population et son réseau hydrographique important (3% des réserves d'eau douce du monde), l'alimentation en eau n'est pas un problème. Cependant, la population étant en majorité dans les grandes villes le long du Saint-Laurent, la qualité des cours d'eau dans les zones les plus fortement peuplées commence à se dégrader.

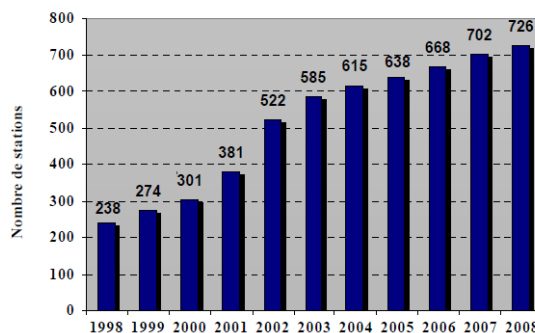


Figure 1 : Évolution du nombre de stations d'épuration évaluées au Québec (source : MAMROT)

La prise de conscience de la nécessité de traiter les eaux usées avant leur rejet dans le milieu naturel a commencé à la fin des années 70, aboutissant au lancement du programme d'assainissement de l'eau au Québec en 1978. Des programmes de subventions subséquentes ont permis la création de nombreuses stations d'épuration dont la performance est régulièrement suivie, comme le montre la Figure 1 [ref. 12].

Chaque station d'épuration est soumise à des normes de rejets édictées par le Ministère des Affaires Municipales, des Régions et de l'Occupation du Territoire (MAMROT) selon la sensibilité du milieu récepteur.

En février 2009, le Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement a publié une *Stratégie pancanadienne sur la gestion des effluents d'eaux usées municipales*, dont le but est d'harmoniser la réglementation, pour améliorer la santé humaine et la protection de l'environnement. Des normes de performance minimales et des objectifs environnementaux de rejet sont ainsi fixés au niveau national. La charge de la mise en œuvre de ces mesures revient à chaque gouvernement provincial. Le Québec devrait ratifier et mettre en exécution cette *Stratégie* sous peu.

## 2. La Ville de Québec

### 2.1 Caractéristiques du réseau

Une grande partie du réseau d'égout de la Ville de Québec est de type unitaire (30 à 35%). Ce n'est qu'à partir des années 70 que les zones de nouveau développement sont construites en réseau séparatif. On peut distinguer deux réseaux (Est et Ouest) sur le territoire de la ville, reliés respectivement à 2 diffuseurs qui rejettent les eaux dans le Saint-Laurent. Les deux stations d'épurations dont dispose la ville ont été construites à l'amont de ces diffuseurs (Annexe 1).

D'autre part, pour limiter l'impact des déversements de réseau unitaire en temps de pluie sur le milieu récepteur, des réservoirs de rétention ont été construits à partir des années 2000. À ce jour, 4 réservoirs sont en service sur le réseau Ouest pour une capacité de 43 165 m<sup>3</sup> et 10 réservoirs sur le réseau Est pour une capacité de 111 017 m<sup>3</sup>.

En 2008, deux usines de production d'eau potable équipées d'un traitement par coagulation-floculation-décantation, situées à Beauport et à Charlesbourg, ont été raccordées au réseau Est. La station d'épuration Est est ainsi soumise à une charge supplémentaire, composée de boues d'alun.

## 2.2 Caractéristiques des affluents

Les deux stations d'épuration desservent des territoires légèrement différents, le réseau Est intègre la partie unitaire du Vieux-Québec tandis que le réseau Ouest couvre une zone plus étendue et moins densément peuplée comprenant les nouveaux développements situés au Nord-Ouest. Les industries raccordées au réseau peuvent aussi influencer sur les caractéristiques de l'affluent.

Sur les données de l'année 2009, le rapport MES/DBO5, qui indique la mixité de l'affluent, est en moyenne de 1,3 pour la station Est et 1,6 pour la station Ouest. Or, pour un réseau unitaire, la valeur usuelle est comprise entre 1,15 à 1,3 [ref. 20]. On notera que ce rapport est maximal pendant la fonte, où l'infiltration est la plus notable, et en été, saison où les pluies sont importantes (Figure 2).

La pollution particulaire est donc prédominante, surtout pendant ces périodes.

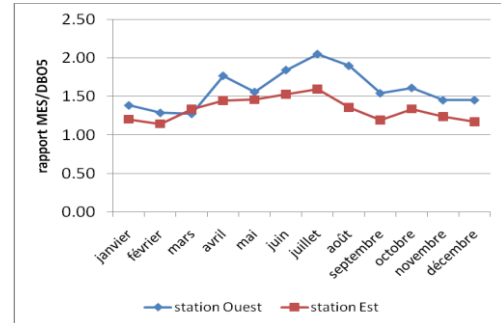


Figure 2 : Évolution de la mixité des affluents des stations Est et Ouest pour l'année 2009

Cette pollution particulaire est en grande partie organique. Le rapport MVS/MES est de 84% à la station Est et 81% à la station Ouest, tandis que les valeurs habituellement relevées pour un réseau unitaire sont comprises entre 67% et 70% [ref. 20]. La part de MES décantables est importante pour les affluents des deux stations. En moyenne sur l'année 2009, elle représentait 73% et 77% des MES totales, respectivement pour les stations Est et Ouest, ce qui est supérieur à la valeur moyenne de 67% pour les affluents à dominante domestique [ref. 20]. On peut donc attendre une bonne performance des décanteurs primaires.

L'étude réalisée par Fanny Harlé en 2006 [ref. 9] sur les données des années 2001 à 2005 a permis de distinguer *cinq périodes* distinctes dans une année civile :

- La période **Hiver I** s'étend généralement de janvier à mars. Elle représente une période de gel où l'infiltration est moins importante.
- La période de **Fonte** s'étend de mars à début mai. Elle représente une problématique importante à Québec. Elle est caractéristique de forts débits à l'entrée de la station avec des propriétés particulières pour l'eau. Ce volume important d'eau est premièrement plus chargé en sodium et en grosses particules en suspension. Deuxièmement, elle est très froide, ce qui présente plus de variation au niveau des conditions bactériennes.
- La période d'**Été temps de pluie (Été TP)** est repérée entre mai et octobre. Selon la définition du Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), cette période est composée des journées pour lesquelles les précipitations relevées sont supérieures à 4 mm.
- La période d'**Été temps sec (Été TS)** est repérée entre mai et octobre. Elle inclut aussi les journées de pluie caractérisées par des précipitations inférieures à 4 mm.
- La période **Hiver II** s'étend entre fin octobre et décembre. Elle est aussi une période de froid, mais ici le sol n'est pas encore gelé et l'infiltration est importante.

La fonte et l'été TP ont été identifiés comme les périodes les plus critiques pour le traitement.



## 2.3 Description des stations d'épuration

Les stations d'épuration de la Ville de Québec ont été conçues suite aux consultations publiques conduites à la fin des années 80. L'idée est de retourner les effluents au fleuve Saint-Laurent en lui conservant ses utilisations (baignade, sports aquatiques), une étape de désinfection est donc nécessaire. L'objectif de limiter les nuisances de voisinage a mené à la conception de stations entièrement couvertes disposant d'un système de traitement de l'air.

Une seule salle de contrôle, située à la station Est pilote l'ensemble du réseau et les deux stations. Le coût d'opération annuel est évalué à 10 millions de \$CAD.

En 2006, le coût du traitement s'élevait à **0,56 \$CAD/m<sup>3</sup>**, ce qui inclut les frais de gestion du réseau, des stations et des infrastructures, l'amortissement, l'intérêt sur la dette, la gestion du parc informatique, le personnel, etc.<sup>1</sup>

### 2.3.1 Dimensionnement

La station Est a été dimensionnée pour desservir une population plus importante que la station Ouest. La capacité des stations au prétraitement (dégrillage, dessablage-dégraissage) est supérieure à celle du reste de la filière de traitement, assurant ainsi un traitement minimal pendant les périodes critiques (Table 1).

Table 1 : Données de dimensionnement des stations d'épuration Est et Ouest [ref. 22]

	Population	Capacité de traitement maximale	
		Prétraitement	Traitement primaire et secondaire
Station Est	270 000 EH	721 000 m <sup>3</sup> /j 30 000 m <sup>3</sup> /h	375 000 m <sup>3</sup> /j 15 600 m <sup>3</sup> /h
Station Ouest	237 000 EH	505 000 m <sup>3</sup> /j 21 000 m <sup>3</sup> /h	315 000 m <sup>3</sup> /j 13 000 m <sup>3</sup> /h

### 2.3.2 Filières de traitement

Les stations Est et Ouest sont équipées du même type de traitement pour la filière eau, seul le nombre d'équipements diffère. Le traitement des boues des deux stations étant effectué à la station Est, une conduite de près de 12 km y achemine les boues mixtes de la station Ouest.

La Figure 3 ci-après présente schématiquement les filières de traitement.

Les données de conception sont issues de l'article en ref. 22.

<sup>1</sup> Denis Dufour, communication personnelle.

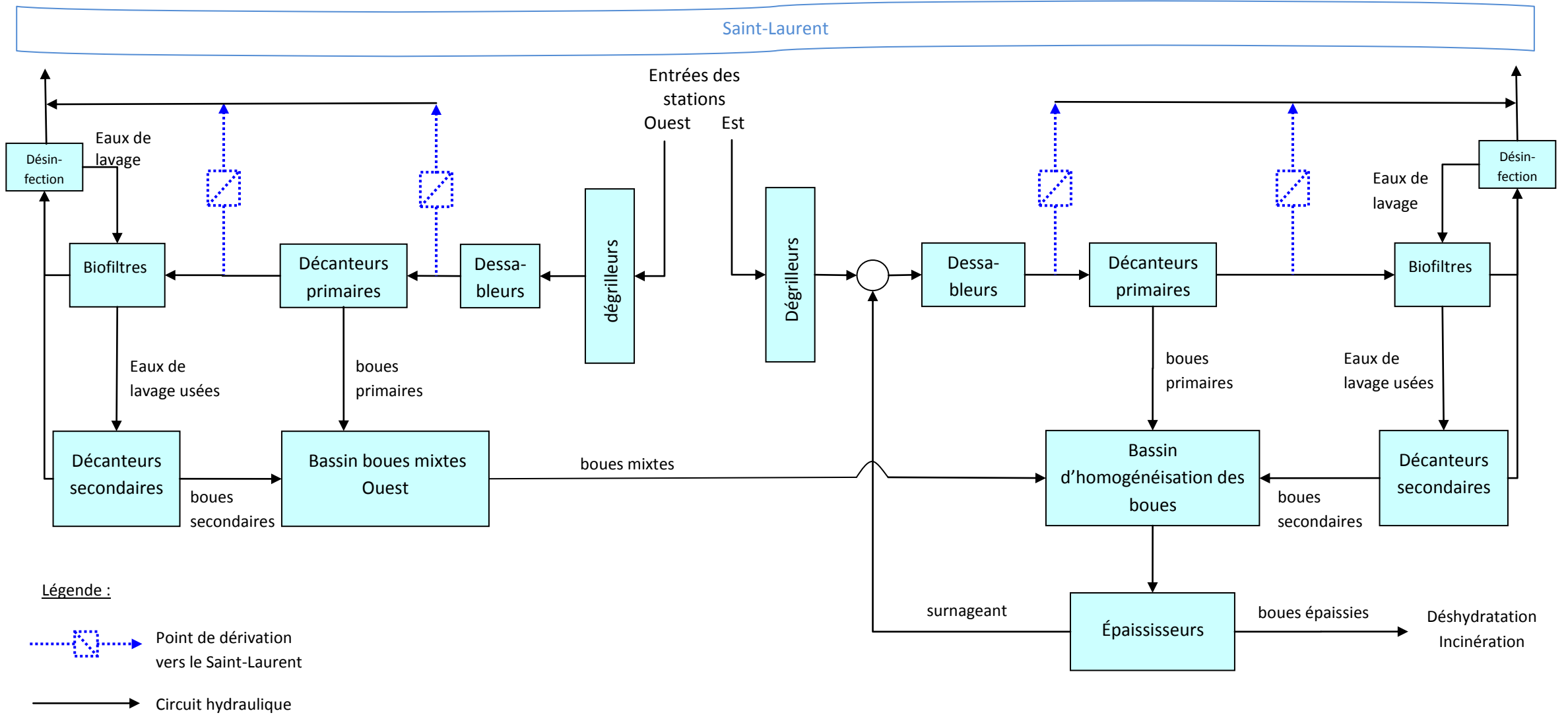


Figure 3 : Schéma des équipements des stations Est et Ouest

### 2.3.2.1 Filière eau

- Dégrillage

Chaque station est équipée de quatre dégrilleurs à nettoyage automatique. Des peignes passent toutes les 15 min. en temps sec et toutes les 5 min. en temps de pluie pour récupérer les déchets grossiers. Un asservissement à la charge est également disponible mais peu utilisé.

Annuellement, 500 tonnes de déchets humides sont évacuées et acheminées à l'incinérateur.

- Dessablage-dégraissage

Quatre dessableurs-dégraisseurs équipent la station Ouest et cinq la station Est. Les bassins sont aérés, permettant ainsi la récupération des huiles et des écumes par flottation et raclage. Ces équipements éliminent 95 % des sables de plus de 0.2 mm de diamètre.

Annuellement, 2300 tonnes de sables sont envoyées en centre d'enfouissement et 800 tonnes d'écumes concentrées sont incinérées.

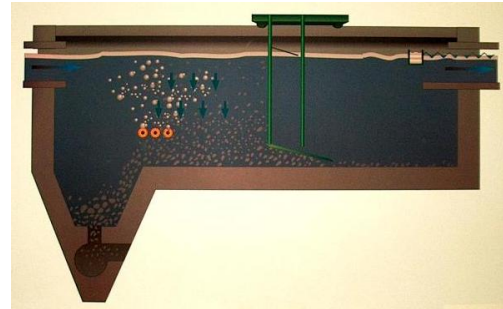


Figure 4 : Coupe transversale d'un dessableur-dégraisseur (source : Ville de Québec)

- Décantation primaire

Les caractéristiques et les enjeux de l'étape de décantation primaire sont expliqués par la suite.

- Biofiltration

L'eau est ensuite remontée vers le traitement secondaire à l'aide de vis d'Archimède. Trois vis d'une capacité unitaire de 8000 m<sup>3</sup>/h équipent chaque station, acheminant l'eau vers les trente biofiltres de la station Est ou les vingt-deux de l'Ouest. Les biofiltres sont de type lit ruisselant (procédé Biodrof). Composés d'un support en biolite (argile expansée) de 1,6 m de hauteur, l'eau et l'air y circulent à co-courant descendant, sans flaquage du filtre. Les matières organiques sont dégradées en matières inertes et en boues biologiques. Les grains de biolite étant de faible dimension (environ 2,6 mm de diamètre), les eaux sont également clarifiées par filtration.

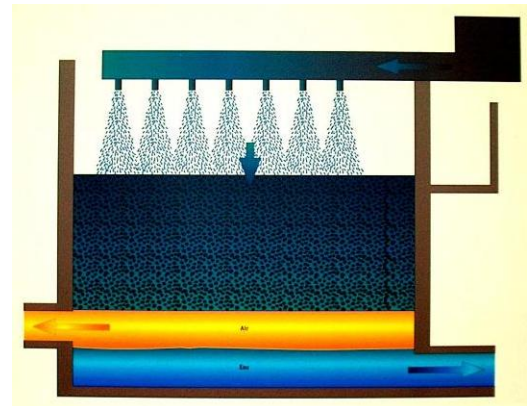


Figure 5 : Coupe transversale d'un biofiltre en filtration (source : Ville de Québec)

Des lavages sont effectués régulièrement pour éviter le colmatage de la biolite. Les eaux de lavage sont envoyées vers deux unités de décantation secondaire avec ajout de produits chimiques (alun et polymères). En hiver, lorsque les stations sont moins sollicitées, des biofiltres peuvent être mis en assèchement pendant une semaine pour éviter un développement trop important des micro-organismes indésirables (champignons, filamenteuses...).

- Désinfection

La désinfection de l'effluent n'est effectuée que de juin à septembre, périodes où la pratique de sports aquatiques prend plus importance. L'eau est traitée par exposition au rayonnement ultraviolet. 99,5% des coliformes fécaux sont éliminés par ce traitement. Cinq modules de lampes UV équipent chacune des stations, permettant ainsi de traiter le débit maximal horaire de temps sec (soit 15 600 m<sup>3</sup>/h).

Les lampes à UV sont lavées avec une solution d'acide phosphorique.

### 2.3.2.2 Filière boue

Le traitement des boues générées par les deux stations est effectué à la station Est. Les boues arrivant aux épaisseurs ont une siccité moyenne de 1%. À la sortie des épaisseurs, les boues étant trop pâteuses pour être pompées (siccité de l'ordre de 9 à 13%) [ref. 8], elles sont légèrement diluées avec l'effluent de la station (jusqu'à une siccité de 5%) avant d'être pompées vers l'incinérateur de la Ville de Québec. Les boues sont alors déshydratées à 28% par des filtres-presses, puis séchées à 95% avant d'être incinérées avec les déchets ménagers.

Annuellement, 19000 tonnes de boues séchées sont incinérées (soit environ 50 tonnes par jour), produisant 3000 tonnes de cendres envoyées en centre d'enfouissement.

### 2.3.3 Données générales

En fonctionnement normal, le traitement complet dure environ 45 min. réparties comme suit :

- dessableurs : 2 à 5 min.
- décanteurs primaires : 15 à 20 min.
- biofiltres : 10 à 20 min.

Au final, d'après les données de l'année 2009, le traitement a permis un abattement de 93% des MES et de 88% de la DBO5. Le rendement mensuel sur les MES variant de 89 à 95% et sur la DBO5 de 82 à 91%.

## 2.4 Contraintes climatiques

La Ville de Québec reçoit annuellement en moyenne 1230 mm de précipitation, dont environ 300 cm de neige. Depuis la *Politique sur l'élimination des neiges usées* publiée en novembre 1988, dont la date butoir d'application était au 1<sup>er</sup> avril 1996, le déversement en cours d'eau est interdit [ref. 6]. Des dépôts à neige ont donc été créés pour leur stockage et leur élimination progressive.

Selon Environnement Canada, dont les données remontent jusqu'en 1948, l'hiver 2010 a été le plus chaud et le plus sec jamais enregistré, avec une température moyenne de 4°C au dessus de la normale et 20% de précipitation de moins que la moyenne [ref. 7].

La fonte<sup>2</sup> de cette année a également été exceptionnelle autant par sa période d'occurrence que par les débits générés. Selon les données de la station Est, elle a commencé vers le 18 février 2010, soit avec environ 4 à 5 semaines d'avance par rapport aux 3 dernières années, et s'est terminée vers le 10 avril 2010, en raison de la couverture de neige moins importante que les autres années. Environnement Canada a enregistré 189 cm de neige entre mai 2009 et avril 2010, contre 217,5 cm par an en moyenne d'après les données de 1971 à 2000<sup>3</sup> [ref. 7]. De plus, les périodes de gel nocturne ont généré des débits moindres évitant ainsi de surcharger les stations. Les volumes dérivés pendant cette période s'en sont retrouvés radicalement amoindris (environ 71 000 m<sup>3</sup> en 2010 contre une moyenne de 1,2 million de m<sup>3</sup> les trois dernières années).

---

<sup>2</sup> Pour la station d'épuration Est, une journée de fonte est définie par une absence de pluie, une température maximale supérieure à -2°C, un débit moyen supérieur à 7000 m<sup>3</sup>/h et un débit maximal supérieur à 9000 m<sup>3</sup>/h.

<sup>3</sup> Il s'agit ici des valeurs relevées à l'aéroport Pierre-Elliott Trudeau de Montréal, celles de la Ville de Québec n'étant pas disponibles.

## 2.5 Contexte du projet

### 2.5.1 Historique

Les stations Est et Ouest ont été mises en service en 1992 et le développement urbain a aujourd'hui atteint les objectifs pour lesquels elles ont été dimensionnées. En effet, elles ont été conçues pour répondre aux besoins de 2001 [ref. 22]. De plus, les nouveaux ouvrages de rétention pour la gestion des réseaux en temps de pluie viennent ajouter une charge à traiter supplémentaire. Pour continuer à répondre aux exigences réglementaires auxquelles elles sont soumises (Table 2 et Table 3), une réhabilitation des stations est nécessaire. Différentes pistes ont été proposées à la suite du stage de Fanny Harlé en 2006 [ref. 9]. La fonte et les journées de pluies ont été identifiées comme les périodes critiques pour le traitement et le paramètre pour lequel les marges de manœuvre sont les plus réduites est la concentration en MES.

Dans le contexte actuel d'attente de la *Stratégie pancanadienne sur la gestion des effluents d'eaux usées municipales*, la solution choisie est la mise en place d'un système d'injection d'alun et de polymère à la décantation primaire. Les travaux de construction des ouvrages de stockage de produits chimiques, initialement prévus pour la fin 2009, ont finalement commencé en avril 2010.

Table 2 : Exigences de rejet pour la station Est (source : Ville de Québec)

Paramètres	Période	Moyenne	kg/j	mg/L	Rendement
DBO <sub>5</sub>	Toute l'année	Hebdomadaire	9240	40	70 %
		Période 1 an	5775	25	80 %
MES	Toute l'année	Hebdomadaire	6930	30	75 %
		Période 1 an	4620	20	85 %
Coliformes fécaux	01-06 au 30-09	Hebdomadaire	Moyenne géométrique 20000 org./100 ml.		

Table 3 : Exigences de rejet pour la station Ouest (source : Ville de Québec)

Paramètres	Période	Moyenne	kg/j	mg/L	Rendement
DBO <sub>5</sub>	Toute l'année	Hebdomadaire	7400	40	70 %
		Période 1 an	4625	25	80 %
MES	Toute l'année	Hebdomadaire	5775	30	75 %
		Période 1 an	3700	20	85 %
Coliformes fécaux	01-06 au 30-09	Hebdomadaire	Moyenne géométrique 20000 org./100 ml.		

L'analyse des données de l'année 2009, au cours de laquelle les bassins de rétention ont été progressivement mis en service, confirme l'augmentation de la charge à traiter (Table 4). Cette augmentation est surtout importante pour la station Est, pour laquelle le nombre de réservoir de rétention et leur capacité totale est conséquente. On observe également une diminution de la marge de manœuvre concernant le rejet de MES, notamment à la station Ouest, pour laquelle la concentration maximale admissible est dépassée en 2009 (Table 5). Les rendements des deux stations restent convenables, aussi bien pour les MES que pour la DBO<sub>5</sub>.

Table 4 : Comparaison des charges à l'entrée en 2009 avec les données de 2003 à 2007

		années		augmentation	
		2009	moyenne 2003 à 2007	t/j	%
station Est	charge DBO <sub>5</sub> affluent (t/j)	38.1	31.3	6.8	22%
	charge MES affluent (t/j)	51.5	40.5	11	27%
station Ouest	charge DBO <sub>5</sub> affluent (t/j)	23.2	21.9	1.3	6%
	charge MES affluent (t/j)	37.2	34.5	2.7	8%

Table 5 : Comparaison des rejets de 2009 avec les données de 2003 à 2007 et les exigences réglementaires

			années		exigences annuelles
			2009	moyenne 2003 à 2007	
station Est	DBO <sub>5</sub>	conc. (mg/L)	23.6	23.6	25
		charge (t/j)	4.6	4.63	5.78
		rend. (%)	87.3	84.8	80
	MES	conc. (mg/L)	18.2	17.8	20
		charge (t/j)	3.62	3.48	4.62
		rend. (%)	92.6	91.1	85
station Ouest	DBO <sub>5</sub>	conc. (mg/L)	20.8	20.6	25
		charge (t/j)	3.48	3.69	4.63
		rend. (%)	84.8	82	80
	MES	conc. (mg/L)	<b>20.1</b>	17.4	20
		charge (t/j)	3.53	3.15	3.7
		rend. (%)	90.4	90.5	85

### 2.5.2 Résultats des études antérieures

En 2008, des essais de traitement physico-chimique en grandeur réelle ont été réalisés à la station Est entre le 14 mars et le 20 avril [ref. 11]. De l'alun et/ou du polymère ont été injectés dans la moitié des équipements de la station, l'autre partie servant de témoin. Pour le suivi de l'opération, des analyses ont été effectuées sur l'affluent et l'effluent des décanteurs primaires et sur les boues primaires. Ces essais ont permis d'estimer la quantité de produits chimiques nécessaire pour obtenir le meilleur rendement :

- Le dosage d'**alun** optimal est estimé entre **50 et 70 ppm**
- Le dosage de **polymère** est estimé à **0,150 mg/L**, cette valeur concorde avec les résultats de l'étude de *Cassel et al.* (2009) [ref. 5] qui recommande un dosage de polymère compris entre 0,1 et 0,2 mg/L.

Les calculs prévisionnels de coût réalisés par cette étude ont estimé les frais à près de **719 000\$ par an** pour l'approvisionnement en produits chimiques, dans l'hypothèse d'une injection en continu pendant les périodes critiques (fonte des neiges et pluie).

En 2009, l'entreprise de production de produits chimiques *Kémira* a été mandatée par la Ville de Québec pour examiner les choix effectués à la suite des essais de 2008 et tester la possibilité d'utiliser d'autres produits pour la coagulation-floculation. Les tests ont été effectués sur des échantillons prélevés aux deux stations Est et Ouest. La simulation des eaux d'orage a été réalisée en diluant les échantillons à 50% avec de l'eau de source.

Le rapport issu de cette étude valide les choix d'ajout d'alun et du polymère Magnafloc 155. Il recommande l'installation de rampe de dosage pour permettre une dispersion maximale du polymère et propose la mise en place d'une boucle de contrôle basée sur des mesures de turbidité, sur l'hypothèse d'une bonne corrélation entre la turbidité et les MES.

### 2.5.3 Décanteurs primaires

Dans un objectif d'optimisation de l'espace disponible, les stations d'épuration sont équipées de décanteurs lamellaires dotés de lamelles penchées à 60° et espacées de 10 cm (Figure 6). Cinq bassins sont disponibles à l'Ouest et sept à l'Est. Un écumeur est placé sur les canaux d'alimentation des décanteurs primaires. L'eau est injectée par le fond et récupérée dans des goulottes de reprise. Les matières décantées sont ramenées dans des fosses à partir desquelles elles sont pompées vers le traitement des boues. Les éventuelles matières retenues sur les lamelles sont éliminées par décolmatage. Chaque décanteur est décolmaté environ une fois par semaine.

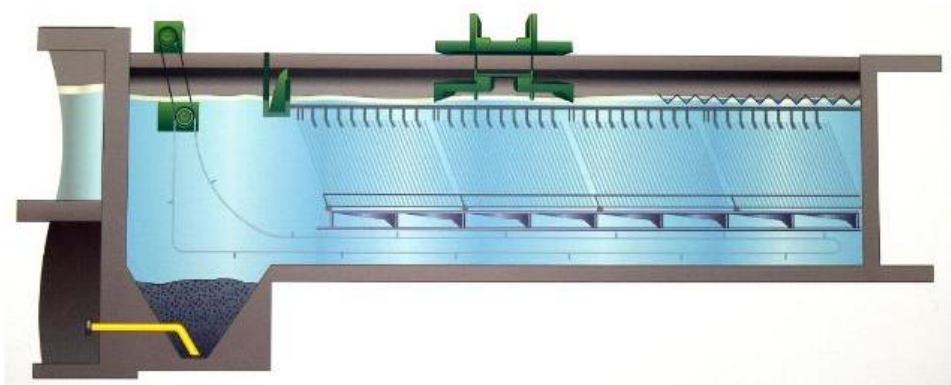


Figure 6 : Coupe transversale d'un décanteur lamellaire (source : Ville de Québec)

Lors de la fonte des neiges ou des périodes de pluie, les débits admis aux stations d'épuration augmentent rapidement. Le temps de séjour dans les ouvrages est donc réduit, induisant une baisse d'efficacité. Les décanteurs primaires sont sensibles à ces variations. À la conception, les objectifs de performance étaient de :

- 78% d'enlèvement des MES à débit moyen ( $\approx 10 \text{ m}^3/\text{h}$ )
- 63% d'enlèvement des MES à débit maximum de temps sec ( $\approx 15 \text{ m}^3/\text{h}$ )

Les données de la station Est en 2009, montrent que la période de fonte est la plus critique pour le traitement, notamment pour la décantation primaire (Table 6).

Une étude plus approfondie des variations quotidiennes permet d'identifier les pluies suivant plusieurs jours de temps sec comme les plus nuisibles pour la décantation primaire. Le rendement moyen relativement bas de la période Hiver I est dû aux premières pluies de l'année. Celles-ci ont rincé le réseau peu sollicité pendant l'hiver et acheminé de fortes charges aux stations.

Table 6 : Rendement de la station Est par période pour l'année 2009

périodes	début - fin	nombre de jours	rendement MES		rendement DBO5	
			décanteurs primaires	station	décanteurs primaires	station
Hiver I	01/01 - 23/03	82	69%	91%	55%	85%
Fonte	24/03 - 05/05	43	56%	90%	46%	83%
Été TP	06/05 - 01/11	47	77%	94%	61%	87%
Été TS	06/05 - 01/11	133	77%	94%	65%	89%
Hiver II	02/11 - 31/12	60	73%	94%	63%	91%

#### 2.5.4 Suivi en temps réel

La Ville de Québec a décidé de se doter d'un capteur de turbidité de type Solitax® (produit par la compagnie Hach®) pour le suivi de l'efficacité du traitement et, à terme, le contrôle de l'injection d'alun et de polymères. Un ajustement du dosage en fonction des événements observés permettrait de réduire les quantités de produits chimiques, et par conséquent, les coûts liés à l'approvisionnement, tout en gardant une bonne efficacité du procédé.

L'Université Laval mène actuellement un projet de suivi en temps réel de la qualité des cours d'eau. Dans ce cadre, elle s'est dotée de stations de mesure et d'enregistrement de données (appelées stations monEAU, dont le fonctionnement sera décrit par la suite) sur lesquels différents capteurs peuvent être branchés, notamment la Solitax®. Il s'agit de prototypes dont toutes les fonctionnalités ne sont pas encore opérationnelles. Elle permettrait toutefois de tester les contraintes liées à l'installation et à l'exploitation de cette sonde dans une station d'épuration.



# Chapitre II : Objectifs

---

Lors de la réalisation des stations d'épuration, les emplacements ont été choisis de sorte qu'il y ait de la place pour une future extension qui répondrait aux besoins du développement urbain [ref. 22]. Cependant, un tel projet demande un investissement conséquent et doit donc être envisagé sur du long terme. Le projet d'amélioration du traitement primaire par ajout de produits chimiques est de moindre envergure. L'idée est de continuer à répondre aux exigences gouvernementales en matière de rejets, sans entamer de changements majeurs, dans l'attente des nouvelles normes qu'imposera la *Stratégie pancanadienne sur la gestion des effluents d'eaux usées municipales*.

L'utilisation de produits chimiques pour améliorer le traitement des eaux d'orages a fait l'objet de plusieurs études [ref. 23, ref. 24, ref. 4]. Celles-ci ont montré l'augmentation du rendement sur le traitement des MES aussi bien sur les effluents de réseaux séparatifs qu'unitaires. Pour le cas de la Ville de Québec, des études préalables [ref. 9 et ref. 11] ont déjà montré l'efficacité de l'ajout d'alun et de polymères pour améliorer le processus de décantation primaire. L'objectif principal du projet, en continuité avec ces deux études, est donc d'affiner le protocole d'injection afin d'aboutir à un traitement satisfaisant au meilleur coût. Pour atteindre cet objectif, plusieurs étapes ont été définies :

## 1) Compréhension du comportement des stations

Cette étude a d'abord été effectuée sur les données opérationnelles de l'année 2009. En effet, il était nécessaire de vérifier la fiabilité des données de débits, qui sont la base des calculs de flux massique. Des essais de terrain ont ensuite été menés pour affiner les données autour des décanteurs primaires de la station d'épuration Est.

## 2) Caractérisation des eaux

Pour identifier les périodes où l'injection de produits chimiques est la plus bénéfique, une caractérisation des eaux a été réalisée pour suivre l'évolution heure par heure de la concentration en MES en entrée et en sortie des décanteurs primaires. Elle a été effectuée sur plusieurs journées.

## 3) Étude d'une stratégie de contrôle en temps réel

Cette étape s'est déroulée en parallèle avec la caractérisation des eaux. Des équipements installés à l'entrée des décanteurs primaires ont permis de suivre l'évolution de la turbidité en continu.

## 4) Optimisation des dosages

Cette étape constitue l'aboutissement du projet. Il s'agit de déterminer le mode d'injection et les quantités de produits chimiques à utiliser lors des périodes identifiées comme critiques pour arriver au traitement voulu au meilleur coût.

Malheureusement, les étapes précédentes ayant nécessité plus de temps que prévu, et les installations pour les essais d'injection à l'échelle réelle n'étant pas encore disponibles lors de ce stage, il n'a pas été possible d'effectuer cette dernière phase.

# Chapitre III : Comportement des stations

Avant tout changement du procédé, il est nécessaire de très bien comprendre le fonctionnement des stations d'épuration. La réalisation du bilan massique constitue un élément fondamental dans la vérification des données opérationnelles et permet d'identifier les dysfonctionnements [ref. 18]. En premier lieu, un bilan global prenant en compte les deux stations d'épuration a été réalisé sur les données d'opération de l'année 2009. Nous aboutissons alors au même constat que les services de la Ville de Québec : les données opérationnelles ne permettent pas de fermer un bilan de masse. Des tests ont ensuite été effectués pour affiner les résultats autour des décanteurs primaires.

## 1. Étude préliminaire sur les données de 2009

### 1.1 Débits

Une étude des débits est nécessaire avant le calcul des flux massiques. Elle n'est réalisée que pour la station Est. Pour la station Ouest, les données opérationnelles fournies ne sont pas remises en question. En effet, d'après l'exploitant, deux mesures de débit indépendantes sont effectuées à l'entrée de la station et donnent des résultats similaires.

#### 1.1.1 Commentaires sur les données

Pour assurer le suivi opérationnel, les stations sont munies d'équipements de mesure de débit à différentes étapes du traitement (Figure 7).

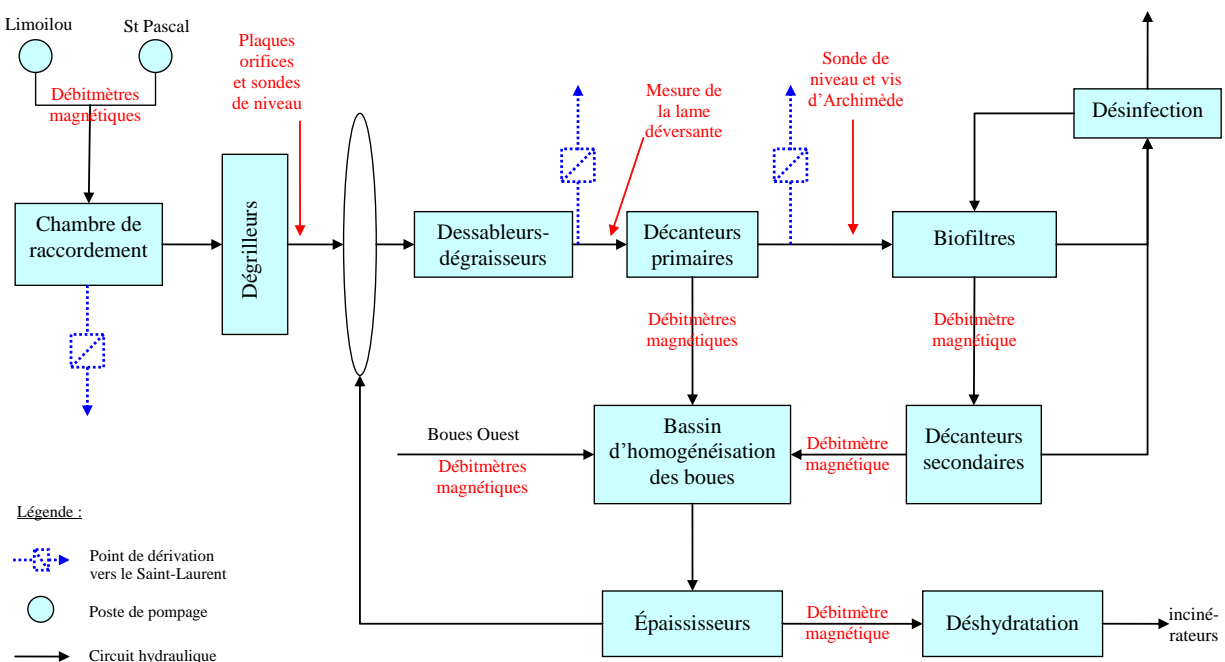


Figure 7 : Localisation des équipements de mesure de débit à la station Est

Les données collectées par ces équipements ne sont pas toutes utilisées. Une validation des débits est effectuée quotidiennement par l'exploitant. Le débit d'entrée de la station est choisi entre :

- la somme des débits des postes de pompage de St-Pascal et de Limoilou, mesuré par des débitmètres magnétiques (six à St-Pascal et un à Limoilou).
- le débit à l'aval des dégrilleurs, mesuré par des sondes de niveau en sortie de plaques orifices sur chacun des canaux de grille.

Lorsqu'aucune anomalie n'est détectée, la valeur donnée par les débitmètres magnétiques est privilégiée car les plaques orifice à l'aval des dégrilleurs ont été étalonnées, à la mise en service des stations, à l'aide des stations de pompage. L'étalonnage n'a pas été ré-effectué depuis la mise en service des stations en 1992.

En temps sec, lorsqu'aucune dérivation n'est constatée, les débits utilisés le long de la filière de traitement sont issus d'un calcul à partir du débit de référence en entrée de station. Actuellement, le débit de référence est celui donné aux dégrilleurs car le débit provenant de St-Pascal n'est pas utilisable. La bêche de pompage de St-Pascal est divisée en deux parties, chacune équipée d'une pompe électrique et de deux pompes au diesel. En temps sec, seuls les pompes électriques sont en marche, mais l'usure des clapets anti-retour des pompes au diesel entraîne une recirculation de l'eau vers la bêche de pompage. Le débit donné par les débitmètres magnétiques surestime alors le débit réellement envoyé à la station. Ce phénomène a été révélé en décembre 2009, mais on peut supposer qu'il était déjà présent auparavant.

À l'amont des décanteurs primaires, la hauteur d'eau est mesurée à l'aide de trois bulle-à-bulle et le débit est calculé à partir de cette hauteur de lame déversante. On notera que ces valeurs sont biaisées lors des décolmatages des décanteurs, qui ont lieu quotidiennement au rythme d'un décanteur par nuit ou à une fréquence plus élevée si nécessaire (par exemple, en prévision d'une pluie). En effet, lors de cette opération, d'une durée de 3h, un décanteur est isolé, ce qui a pour effet d'augmenter le niveau d'eau dans le canal d'alimentation des décanteurs. La remise en eau du décanteur décolmaté provoque ensuite une baisse du niveau avant le retour à un fonctionnement normal. Ces changements de hauteurs provoquent des biais sur les débits calculés.

Le débit à l'entrée de la biofiltration est pris aux pieds des vis d'Archimède (3 vis d'une capacité unitaire de 8000 m<sup>3</sup>/h). Il est calculé par un algorithme défini en fonction du nombre de vis en fonctionnement et de la hauteur d'eau dans la bêche.

Aucune mesure de débit n'est effectuée sur les canaux de dérivation. Les débits dérivés sont calculés à la dérivation lorsque l'ouverture des vannes est supérieure à 5 %. Le calcul peut se faire de plusieurs manières : en fonction du niveau d'eau amont et du degré d'ouverture des vannes ou en faisant la différence entre les débits aval et amont.

Les débits des boues sont implicitement intégrés dans les calculs dans un esprit de cohérence scientifique, mais ces valeurs sont négligeables par rapport aux débits d'eau traitée.

Les données de pluie proviennent du pluviomètre officiel géré par Environnement Canada, situé à l'aéroport Jean-Lesage. La Ville de Québec dispose d'un réseau de pluviomètres dispersé sur l'ensemble du territoire, utilisé dans la gestion quotidienne du réseau, mais ceux-ci ne sont mis en service que pour la saison estivale (à partir du 1<sup>er</sup> mai).

### 1.1.2 Résultats

L'étude des débits est réalisée uniquement sur les données de la station Est. Des journées caractéristiques de temps sec et de temps de pluie, pendant lesquels aucun évènement particulier n'est à signaler, ont été choisies :

- 3 journées de temps sec : les 1<sup>er</sup>, 2 et 3 février 2009
- 3 journées de temps de pluie : les 17, 18 et 19 juillet 2009, les intensités de pluie étant respectivement de 11,8mm, 19,8mm et 4,0mm.

Pour toutes ces journées, le débit d'entrée de station choisi par l'exploitant comme référence est la somme des débits donnés par les débitmètres magnétiques des postes de pompage de Limoilou et de Saint-Pascal. Or, les travaux de réfection de la station de pompage de St-Pascal n'avaient pas encore été effectués, les retours d'eau par les pompes à l'arrêt étaient sans doute déjà présents. Lors de la journée du 19 juillet 2009, il est probable qu'il y ait eu des vidanges de bassin de rétention.

#### ➤ Temps sec

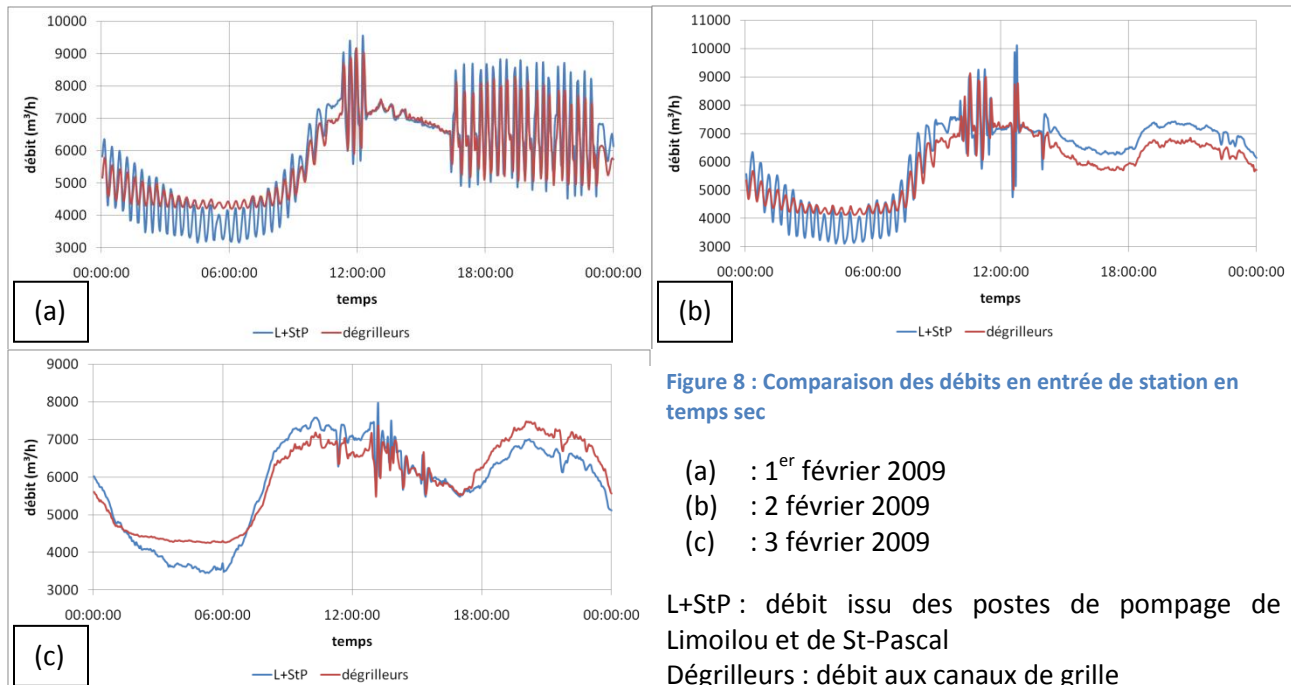
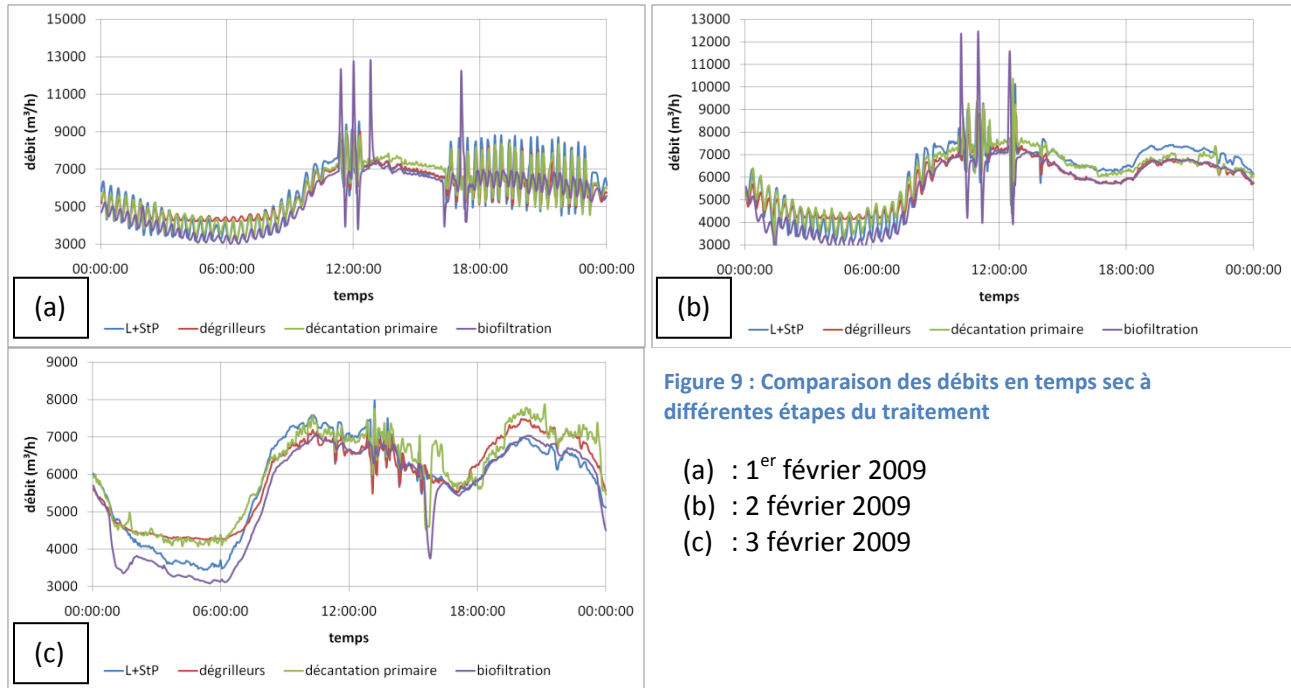


Figure 8 : Comparaison des débits en entrée de station en temps sec

Sur certaines journées, notamment le 1<sup>er</sup> février et la matinée du 2 février, des oscillations de débit de faible période sont observées (Figure 8). Elles peuvent être dues à l'arrêt/démarrage des pompes (à St-Pascal : 4 pompes à vitesse variable allant jusqu'à 4500 m<sup>3</sup>/h dont 2 en fonctionnement permanent et 2 pompes allant de 4000 à 9000 m<sup>3</sup>/h). Si de telles oscillations reviennent régulièrement, il serait judicieux d'en identifier la source car de brusques variations de débit de grande amplitude, tels que celles observées de 16h à 23h le 1<sup>er</sup> février (Figure 8 (a)), peuvent être nuisibles au traitement.

Le débit au dégrillage (en rouge sur les figures) est mesuré à partir de sondes de niveau à la sortie des quatre canaux de grilles. Il semble que l'instrumentation ne permette pas de mesurer de faibles débits (< 4000 m<sup>3</sup>/h). On observe surtout ce phénomène en temps sec dans la nuit (entre 2h et 7h du matin). Il serait intéressant de corriger cette différence (ré-établir une courbe de tarage pour une gamme de débit

faible), notamment pour les jours où le débit de référence choisi est celui des dégrilleurs. On obtiendrait alors un débit de référence à partir d'une combinaison des débits mesurés aux stations de pompage et aux dégrilleurs, ce qui donnerait une valeur plus fiable. L'utilisation des débits mesurés à l'entrée des décanteurs primaires et à l'entrée de la biofiltration peut-être aussi envisageable pour ce calcul de débit de référence, mais il faudrait tenir compte des événements opérationnels (décolmatages des décanteurs primaires, départ des vis, etc.). En dehors de ces périodes de bas débit, les variations du débit des postes de pompage et de celui aux canaux de grilles sont similaires (Figure 8).



En ce qui concerne le débit en amont de la biofiltration (en violet sur les figures), les variations brusques observées ponctuellement sont dues au départ/arrêt des vis d'Archimède (Figure 9).

Le débit mesuré à la biofiltration semble être celui qui s'écarte le plus des autres données. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que la prise de niveau aux pieds des vis d'Archimède est soumise à de nombreuses turbulences. Cependant, l'étalonnage des instruments est plus précis pour les débits élevés car d'un point de vue opérationnel, cette mesure sert uniquement à calculer le débit dérivé à l'amont de la biofiltration lorsque des biofiltres doivent être arrêtés à cause du colmatage (Figure 9 et Figure 9).

➤ Temps de pluie

En temps de pluie, les débits relevés à la station d'épuration peuvent présenter d'importantes fluctuations. On observe que ces variations sont similaires aux différentes étapes du traitement. Lorsque la capacité du traitement primaire est dépassée, un trop-plein soulage la station en amont des décanteurs primaires, comme on le voit clairement le 18 juillet (Figure 10 (b)). Les débits en amont de la décantation primaire et en amont de la biofiltration sont alors parfaitement identiques, car ils proviennent de calculs. Une différence est observée lorsqu'une dérivation a lieu à la biofiltration à cause d'une sollicitation trop grande des biofiltres.

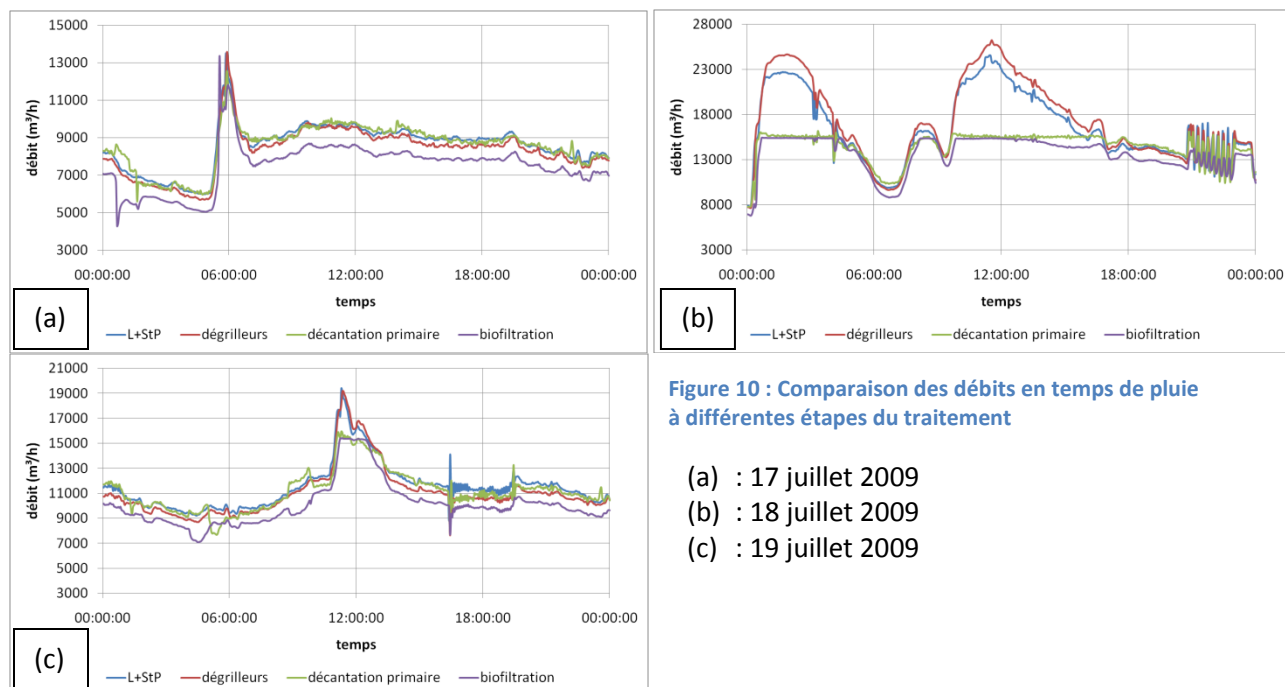


Figure 10 : Comparaison des débits en temps de pluie à différentes étapes du traitement

- (a) : 17 juillet 2009
- (b) : 18 juillet 2009
- (c) : 19 juillet 2009

### 1.1.3 Bilan sur les débits de la station Est

La Table 8 présente les différences de débit (moyenne journalière et écart-type) entre les points où se trouvent des instruments de mesure. On notera que pendant les journées de pluie, les éventuels déversements (trop-plein ou dérivation) sont pris en compte dans le calcul.

Le débit de référence ( $Q_{réf}$ ) est la somme des débits journaliers moyens mesurés aux postes de pompage de Limoilou et de St-Pascal. Pour évaluer si les différences entre les mesures de débits sont significatives, la moyenne journalière des différences est calculée en pourcentage du débit journalier de référence donné dans la Table 7.

Table 7 : Valeurs du débit de référence

	$Q_{réf}$ (m <sup>3</sup> /h)
01-févr-09	5 868
02-févr-09	6 090
03-févr-09	5 778
17-juil-09	8 565
18-juil-09	16 553
19-juil-09	11 501

D'après les résultats de la Table 8, en excluant le débit à l'amont de la biofiltration ( $Q_4$ ), les différences de débits représentent moins de 5% du débit de référence, ce qui est acceptable. Lorsque le débit  $Q_4$  entre en jeu, les différences peuvent représenter jusqu'à 13% du débit de référence.

Table 8 : Comparaison des débits mesurés et écart par rapport au débit d'entrée de référence

			Q1 – Q2	Q1 – Q3	Q1 – Q4	Q2 – Q3	Q2 – Q4	Q3 – Q4	
temps sec	01-févr-09	Moyenne	45	212	484	167	439	272	
		%Qréf	0.8%	3.6%	8.2%	2.8%	7.5%	4.6%	
		Écart-type	627	444	1110	332	905	940	
	02-févr-09	Moyenne	212	188	620	-24	408	432	
		%Qréf	3.5%	3.1%	10.2%	-0.4%	6.7%	7.1%	
	03-févr-09	Moyenne	-129	-122	382	8	512	504	
%Qréf		-2.2%	-2.1%	6.6%	0.1%	8.9%	8.7%		
		Écart-type	434	440	418	325	448	403	
temps de pluie	17-juil-09	Moyenne	242	132	1129	-110	886	996	
		%Qréf	2.8%	1.5%	13.2%	-1.3%	10.3%	11.6%	
		Écart-type	173	283	361	317	332	492	
	18-juil-09	Moyenne	-676	119	770	795	1446	651	
		%Qréf	-4.1%	0.7%	4.7%	4.8%	8.7%	3.9%	
			Écart-type	1013	621	987	982	817	862
	19-juil-09	Moyenne	444	400	1424	-44	980	1024	
		%Qréf	3.9%	3.5%	12.4%	-0.4%	8.5%	8.9%	
			Écart-type	488	581	529	547	311	669

Notations :

Q1 : somme des débits aux postes de pompage de St-Pascal et Limoilou

Q2 : débit aux canaux de grilles

Q3 : débit à l'entrée des décanteurs primaires

Q4 : débit à l'entrée de la biofiltration

NB : en temps de pluie, les débits amont sont amputés des éventuelles dérivations calculées.

On retiendra donc que :

- Le débit à l'amont de la biofiltration doit être utilisé avec précaution, notamment dans ses variations.
- La valeur du débit aux canaux de grilles pourrait être corrigée, notamment pour les débits faibles (<4000 m<sup>3</sup>/h), pour une meilleure fiabilité. D'autant plus que cette valeur est maintenant utilisée comme référence.
- Les différences de mesure entre les débitmètres sont minimales, les données de ces équipements seront donc utilisées par la suite.

## 1.2 Bilan de masse

Le bilan de masse est effectué pour les stations Est et Ouest car le traitement des boues est réalisé en commun à la station Est (Figure 3). Il est basé sur les données opérationnelles de débits et de MES de l'année 2009, fournies par l'exploitant.

### 1.2.1 Hypothèses

- a) La masse volumique des eaux à toutes les étapes de traitement et des boues (1 à 2% de siccité) est prise égale à celle de l'eau claire.

- b) La biomasse générée au niveau des biofiltres est estimée à **0.7\*DBO<sub>5</sub> en entrée**. Cette hypothèse sur le taux de transformation est à vérifier. Il serait possible de l'affiner en mesurant la concentration en MES dans les boues secondaires.
- c) D'après les résultats de la vérification des débitmètres qui seront présentés par la suite (en 2.4.1), pour les boues mixtes allant de la station Ouest à la station Est, la fiabilité du débitmètre est remise en cause, nous utiliserons donc la somme des valeurs données par les débitmètres des boues primaires et secondaires de l'Ouest en ce point.
- d) Nous ne disposons pas des débits et des concentrations en tout point. Les temps de rétention dans les différents ouvrages étant faibles, l'hypothèse de conservation des débits est utilisée et des charges. De la même manière, on considèrera que sur une journée, il n'y a pas d'accumulation de charge dans les décanteurs primaires ni dans les biofiltres.

Illustration de l'hypothèse d) pour les décanteurs primaires de l'Est :

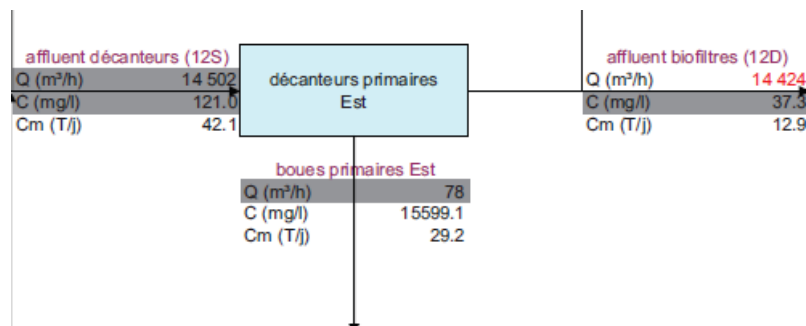


Figure 11 : Extrait du schéma en Annexe 5 autour des décanteurs primaires de l'Est

Sur la Figure 11, les valeurs grisées sont obtenues à partir d'instruments de mesure, le calcul des valeurs blanches est expliqué ci-après :

- La charge massique à l'affluent des décanteurs est calculée à partir du débit aux canaux de grilles, éventuellement amputé du débit dérivé à l'amont des décanteurs primaires et de la concentration en MES du composé 24h :

$$Cm = C \times Q \times \frac{24}{10^6}$$

- Le débit à l'effluent des décanteurs (affluent de la biofiltration) est calculé avec les débits à l'affluent et des boues, il est éventuellement amputé du débit dérivé à l'amont des biofiltres :

$$Q_{effluent} = Q_{affluent} - Q_{boues} (-Q_{dérivé})$$

- La charge massique des boues est calculée comme la différence entre la charge à l'affluent et celle à l'effluent. On fait donc l'hypothèse que sur la journée, la charge retenue dans les décanteurs est négligeable.

$$Cm_{boues} = Cm_{affluent} - Cm_{effluent}$$

- À partir du débit et de la charge massique des boues, on calcule une concentration. Cette valeur permet de vérifier la cohérence des hypothèses, la siccité des boues primaires étant évaluée entre 1 et 2% :

$$C = \frac{Cm}{Q} \times \frac{10^6}{24}$$

Un exemple de bilan de masse sur une journée de temps de pluie est présenté en Annexe 5.



### 1.2.2 Fiabilité des données de concentration

Les concentrations des effluents sont issues d'échantillonnages automatiques asservis au débit le plus proche du point d'échantillonnage. Ces composés 24h sont analysés par un laboratoire accrédité.

À la conception des épaisseurs, il n'a pas été prévu d'installer des racleurs de surface, on observe maintenant la formation de croûtes qui peuvent être emportées avec le surnageant et venir biaiser l'échantillonnage de celui-ci. On observe néanmoins une bonne corrélation entre la hauteur des boues dans les épaisseurs et la qualité des surnageants [ref. 13].

### 1.2.3 Résultats

En appliquant les hypothèses précédentes, les calculs de flux théoriques prévoient une importante accumulation quotidienne de charge au niveau des épaisseurs (Table 9).

Table 9 : Accumulation de charge théorique dans les épaisseurs

<u>Temps sec :</u>	<u>Temps de pluie :</u>
1 février 2009 : 47,7 tonnes	17 juillet 2009 : 29,2 tonnes
2 février 2009 : 55,8 tonnes	18 juillet 2009 : 29,3 tonnes
3 février 2009 : 68,7 tonnes	19 juillet 2009 : 44,9 tonnes

Si on réitère cette opération sur les données de toute l'année 2009, on constate que ces accumulations ne sont pas compensées. Ces conclusions sont réfutées par les observations de terrain. Il faut donc aller chercher l'erreur dans les données utilisées.

#### **Pour équilibrer les bilans de masse, plusieurs pistes peuvent être explorées :**

- une vérification de la fiabilité des débitmètres des boues peut être envisagée en utilisant un réservoir adjacent au bassin d'homogénéisation des boues à la station Ouest et en vidangeant un épaisseur à la station Est (paragraphe suivant).
- la représentativité des points de prélèvements, notamment l'entrée des décanteurs primaires, est à vérifier.
- la qualité des boues est à tester.

## 2. Vérification des débits et des charges

Cette section présente la démarche et les résultats de l'intervention réalisée le 10 mars 2010, qui a permis d'identifier un débitmètre défectueux et de valider le bilan de masse autour des décanteurs primaires de la station Est. On notera qu'il s'agissait d'une journée de temps sec.

### 2.1 Objectifs

Les objectifs de l'intervention du 10 mars 2010 étaient de :

- valider les valeurs données par les débitmètres installés sur les conduites de boues primaires et secondaires des stations Est et Ouest et la conduite acheminant les boues mixtes de l'Ouest à la station Est.
- effectuer un bilan de masse autour des décanteurs primaires de la station Est.

Pour cela, à la station Est, chaque type de boues est pompé indépendamment vers un épaisseur préalablement vidé dans lequel le niveau est mesuré. À la station Ouest, un réservoir adjacent au bassin d'homogénéisation des boues mixtes est utilisé pour stocker les boues et mesurer le niveau.

Le bilan de masse est effectué en parallèle de la validation des débitmètres de boues primaires. Des échantillons sont prélevés à l'amont et à l'aval des décanteurs primaires ainsi que dans les boues primaires pendant 3h. Cette durée est suffisante pour observer le fonctionnement des décanteurs, leur temps de rétention étant de 15 à 20 min. L'Annexe 2 montre l'organisation des stations pour cette phase.

## 2.2 Description des phases

La journée d'intervention est divisée en trois phases :

- **Phase 1** : durée 3h, dans les deux stations, seules les boues primaires sont pompées. Des échantillonnages sont effectués autour des décanteurs primaires de la station Est.
- **Phase 2** : durée 2h, dans les deux stations, seules les boues secondaires sont pompées.
- **Phase 3** : durée 1h, les boues mixtes de la station Ouest sont pompées vers la station Est.

Les différences de niveau dans les réservoirs vers lesquels sont pompées les boues entre le début et la fin de chaque phase de pompage sont relevées par un lasermètre, l'appareil mesurant la distance entre un point fixe et le voile de boue.

## 2.3 Préparation de l'intervention

### 2.3.1 Validation des débitmètres

Pour la validation des débitmètres, il était nécessaire de connaître le volume réel de boues pompées. Pour cela, avant l'intervention, un épaisseur a été vidé jusqu'à la base de sa partie cylindrique et la communication entre le bassin d'homogénéisation des boues à la station Ouest et le réservoir adjacent a été établie. Ces réservoirs permettront de déterminer le volume de boues réellement pompé.

### 2.3.2 Bilan de masse

La partie bilan de masse de l'opération est prévue pour une durée de 3h (entre 8h30 et 11h30), elle concerne uniquement les décanteurs de la station Est. Pendant cette période, seules les boues primaires de la station Est sont pompées et envoyées dans un des épaisseurs, préalablement vidé.

#### 2.3.2.1 Échantillonnage

L'affluent et l'effluent des décanteurs primaires sont prélevés avec des échantillonneurs automatiques, situés aux mêmes emplacements que les échantillonneurs utilisés habituellement pour le composé 24h. Un prélèvement est effectué toutes les 5 min., chaque bouteille recueille 2 prélèvements.

Pour les boues primaires, des essais de prélèvement directement sur les conduites de soutirage ont été réalisés, mais n'ont pas été concluants (Annexe 4). Pour cette opération, les différentes boues n'étant pas soutirées en parallèle, il a été possible de localiser l'échantillonnage des boues primaires dans le bassin d'homogénéisation. Ce bassin ne pouvant pas être vidé avant l'opération, des boues mixtes seront présentes dans les premiers échantillons prélevés. Cependant, le bassin dispose d'un agitateur pour assurer son homogénéité. En supposant que le contenu du bassin est en tout temps homogène et en considérant que les boues sont pompées à 80 m<sup>3</sup>/h, qui est le débit de soutirage moyen, au bout d'une heure, le bassin devrait être composé de boues primaires à 97,2%. Le calcul du bilan de masse se fera donc sur les deux dernières heures d'opération, ce qui devrait être suffisant, le temps de rétention dans les décanteurs primaires étant d'environ 15 à 20 min.

L'échantillonnage des boues est effectué manuellement à la même fréquence que les eaux, i.e. composé 10 min. avec un prélèvement toutes les 5 min. Un échantillonneur automatique effectue également des prélèvements à la même fréquence mélangés dans une bouteille unique. Le démarrage de cet échantillonneur est effectué à 9h30, soit 1h après le début de l'opération. Le composé issu de cet échantillonnage devrait donc être uniquement composé de boues primaires.

### 2.3.2.2 Analyse

L'analyse des matières en suspension (MES) et des matières totales (MT) des boues est effectuée immédiatement après le prélèvement, dans le laboratoire situé à la station Est.

Pour les MES, la filtration se fait directement sans dilution (Annexe 3). On prélève 15 ml de boues à l'aide d'une pipette, après agitation pour s'assurer de l'homogénéité de l'échantillon, et on les dépose sur un filtre (maille 1.5µm, diamètre 11cm). Le rinçage s'effectue à l'eau distillée. L'ensemble est placé dans un four à 105°C.

Pour les MT, environ 20 ml de boues (le poids exact est noté) sont placés dans une coupelle allant au four, l'évaporation se fait également dans un four à 105°C.

Les analyses de MES dans l'affluent et l'effluent des décanteurs primaires sont effectuées au laboratoire de l'Université Laval. Environ 250 ml d'eau est filtrée pour chaque analyse.

## 2.4 Résultats

### 2.4.1 Validation des débitmètres

Les volumes issus des mesures de niveau diffèrent peu des volumes calculés à partir des débitmètres pour les boues primaires et secondaires des deux stations. Pour les boues mixtes, la différence est plus importante, les débitmètres semblent sous-estimer le volume pompé de plus de 35% (Table 10).

Table 10 : Comparaison des volumes de boues mesurés et calculés lors de l'intervention du 10 mars 2010

	volume calculé à partir des mesures de niveau (m <sup>3</sup> )	volume calculé à partir des débitmètres (m <sup>3</sup> )	écart	
			m <sup>3</sup>	%
boues primaires Est	235.95	236.80	-0.85	-0.4%
boues primaires Ouest	180.55	187.80	-7.25	-4.0%
boues secondaires Est	98.94	95.63	3.31	3.3%
boues secondaires Ouest	135.01	137.09	-2.08	-1.5%
boues mixtes Ouest	243.95	157.43	86.52	35.5%

En termes de débit, les résultats sont présentés dans la Table 11. On observe que pour les boues mixtes de l'Ouest, le débit calculé à partir du volume de 119 m<sup>3</sup>/h est proche de la somme des débits de boues primaires (58 m<sup>3</sup>/h) et secondaires (68 m<sup>3</sup>/h), comme on aurait pu l'attendre.

**Table 11 : Comparaison des débits mesurés et calculés lors de l'intervention du 10 mars 2010**

	débit calculé à partir du volume (m <sup>3</sup> /h)	débit mesuré par les débitmètres (m <sup>3</sup> /h)
boues primaires Est	79	80
boues primaires Ouest	58	60
boues secondaires Est	64	62
boues secondaires Ouest	68	69
boues mixtes Ouest	119	77

#### 2.4.2 Bilan de masse autour des décanteurs primaires

Les résultats des analyses effectuées sur les eaux et les boues sont regroupés dans la Table 12 et sont représentés en Figure 12 et Figure 14. Lors de la première analyse des échantillons de l'effluent, des erreurs de manipulations ont été commises. Les valeurs des cases grisées prennent en compte les corrections expliquées dans l'Annexe 4.

Le premier échantillon effectué sur l'affluent a probablement été faussé par des résidus accumulés sur la crépine pendant la nuit, cette valeur ne sera donc pas utilisée.

**Table 12 : Résultats des analyses d'eau et de boues du 10 mars 2010**

N° éch.	heure	eaux		boues	
		MES entrée (mg/L)	MES sortie (mg/L)	MES (g/L)	MT (g/L)
1	8h30-35	223	45	7.21	7.68
2	8h40-45	87	41	6.73	7.45
3	8h50-55	94	43	7.61	8.43
4	9h00-05	101	45	7.43	8.49
5	9h10-15	110	51	7.66	8.30
6	9h20-25	108	51	7.26	8.35
7	9h30-35	113	54	7.07	7.99
8	9h40-45	125	53	6.45	7.86
9	9h50-55	118	61	6.62	7.44
10	10h00-05	129	62	6.79	7.70
11	10h10-15	128	61	6.91	7.73
12	10h20-25	130	66	7.41	8.60
13	10h30-35	124	66	5.82	7.46
14	10h40-45	131	65	6.93	8.37
15	10h50-55	133	61	7.06	8.53
16	11h00-05	129	62	7.74	9.05
17	11h10-15	133	60	7.45	7.86
18	11h20-25	140	60	7.42	8.62

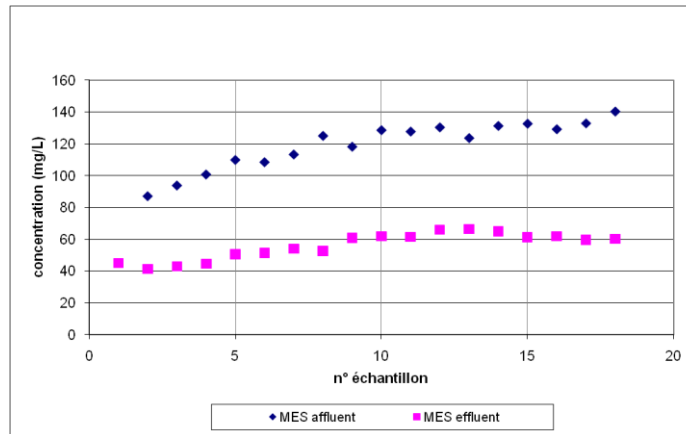


Figure 12 : Évolution de la concentration en MES des eaux

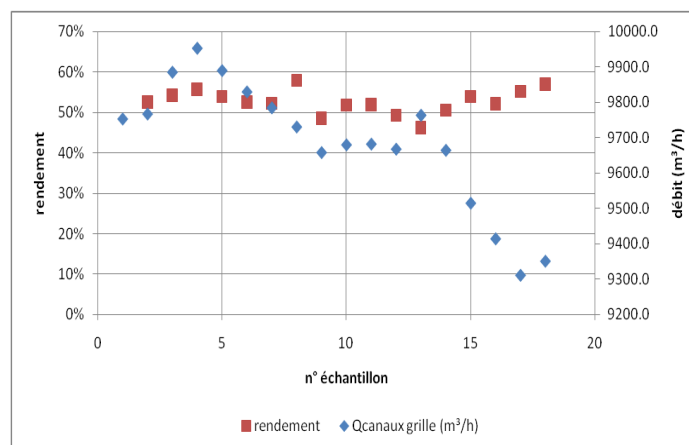


Figure 13 : Évolution du débit d'entrée et du rendement des décanteurs

On observe sur la Figure 12 que la concentration en MES des eaux augmente au cours de la matinée, tandis que sur la Figure 13, on note que le débit diminue légèrement ce qui peut entraîner une diminution de la dilution. Le rendement des décanteurs reste relativement constant, entre 46 et 58%, avec une moyenne de 53% sur les 3h d'opération, la valeur de la première bouteille étant exclue (Figure 13). Ces rendements sont relativement faibles par rapport aux valeurs habituellement observées en exploitation.

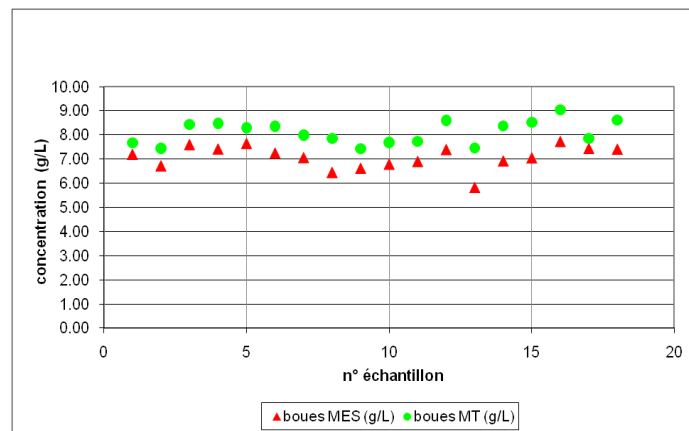


Figure 14 : Évolution de la concentration des boues

Pour les boues (Figure 14), les variations de concentration observées pour les matières en suspension (MES) et les matières totales (MT) sont semblables, les manipulations ne seront donc pas remises en cause.

On n'observe pas de différence flagrante entre les concentrations des premiers échantillons qui contiennent encore des boues mixtes et des derniers, majoritairement composés de boues primaires. Cependant, on observe visuellement à partir de l'échantillon 8 (i.e. environ 1h10-1h15 après le début de l'opération) que l'aspect de la boue ressemble plus à celle d'une boue primaire, avec la présence de résidus fibreux.

#### Comparaison des échantillons manuels et de l'échantillonneur automatique :

La moyenne des concentrations des échantillons manuels des 2 dernières heures de l'opération est de :

- 6.97 g/L de MES
- 8.10 g/L de MT

Les analyses effectuées sur le composé issu de l'échantillonneur automatique sont effectuées en triplicatas. On obtient en moyenne :

- 7.85 g/L de MES
- 8.53 g/L de MT

Ceci correspond à une différence de 12 % sur les MES et de 5% sur les MT. Cette différence est acceptable au vu des erreurs possibles au niveau de l'échantillonnage et de l'analyse.

L'échantillonneur des boues mixtes (point 16E) semble donc représentatif.

#### Choix du débit de référence :

Les fuites au niveau du poste de pompage de St-Pascal étant toujours présentes, le débit de référence utilisé sera celui donné par les sondes de niveau situées après les dégrilleurs. Nous avons vu que cet équipement ne donnait pas des valeurs très cohérentes pour des débits faibles (inférieurs à 4000 m<sup>3</sup>/h), mais au moment du test, les débits étaient suffisamment importants (plus de 9000 m<sup>3</sup>/h) pour pouvoir considérer la valeur comme fiable.

Le débit des boues est donné par un débitmètre magnétique.

Les données de débits sont disponibles aux 15 secondes. Une moyenne sur les 10 minutes précédant la prise du 2ème échantillon du composé est calculée et regroupée dans la Table 13 et les charges calculées sont données dans la Table 14.

Table 13 : Récapitulatif des débits utilisés pour le bilan de masse

N°éch.	heure	Qboues (m <sup>3</sup> /h)	Qcanaux grille (m <sup>3</sup> /h)
1	8h30-35	82.7	9752.4
2	8h40-45	80.4	9766.4
3	8h50-55	81.0	9884.5
4	9h00-05	78.5	9952.3
5	9h10-15	78.9	9889.2
6	9h20-25	77.4	9828.9
7	9h30-35	82.7	9784.0
8	9h40-45	77.7	9729.9
9	9h50-55	80.7	9657.6
10	10h00-05	78.8	9679.4
11	10h10-15	80.9	9681.5
12	10h20-25	79.2	9667.2
13	10h30-35	79.8	9763.0
14	10h40-45	80.3	9664.0
15	10h50-55	79.1	9514.5
16	11h00-05	79.8	9413.8
17	11h10-15	78.8	9310.8
18	11h20-25	80.2	9350.6

Table 14 : Calcul des charges à chaque pas de temps

		eaux		boues	
		entrée (kg)	sortie (kg)	MES (kg)	MT (kg)
7	9h30-35	185	87	97	110
8	9h40-45	203	85	83	102
9	9h50-55	190	97	89	100
10	10h00-05	207	99	89	101
11	10h10-15	206	98	93	104
12	10h20-25	210	106	98	114
13	10h30-35	201	107	77	99
14	10h40-45	211	104	93	112
15	10h50-55	210	96	93	112
16	11h00-05	203	96	103	120
17	11h10-15	206	92	98	103
18	11h20-25	219	93	99	115
	<b>total</b>	<b>2451</b>	<b>1160</b>	<b>1113</b>	<b>1293</b>

### 3. Conclusions et recommandations

Les débitmètres des boues primaires et secondaires de la station Est semblent fonctionner correctement, tandis qu'**un recalibrage des débitmètres situés sur la conduite amenant les boues mixtes de l'Ouest vers la station Est est nécessaire**. Dans l'attente de ce changement, il est possible d'utiliser la somme des débits des boues primaires et secondaires pour estimer le débit des boues mixtes. En effet, le bassin d'homogénéisation des boues à la station Ouest est suffisamment petit (environ 50 m<sup>3</sup>) pour considérer qu'aucune accumulation significative ne peut se produire sur une base journalière.

Selon les résultats d'analyse obtenus (Table 14), on en conclut qu'en 2h, 2451 kg de MES sont entrés dans les décanteurs primaires, 1160 kg de MES en sont sortis par l'effluent et 1113 kg de MES ont été retrouvés dans les boues. Le bilan laisse donc une différence de 178 kg, ce qui représente 7.3 % de la charge d'entrée. On notera qu'une petite accumulation de charge a lieu dans les décanteurs, d'où la nécessité d'effectuer des décolmatages hebdomadaires.

**On en déduit que le bilan de masse autour des décanteurs primaires est équilibré à 7.3% près**, ce qui est très bon compte tenu des diverses sources d'erreur et d'incertitudes.



# Chapitre IV : Caractérisation des eaux

---

## 1. Objectifs

En temps normal, l'efficacité du traitement est suivie par l'analyse d'un composé 24h asservi au débit en entrée de station. L'objectif est ici de comprendre le fonctionnement des décanteurs primaires, en suivant l'évolution des eaux sur un pas de temps réduit. L'idée est d'identifier un paramètre facilement mesurable en continu permettant d'estimer la qualité des eaux afin de déterminer les périodes où il est nécessaire renforcer le traitement primaire par ajout de coagulant-floculant.

Pour cela, des échantillonnages pour suivre l'évolution heure par heure de la concentration en MES de l'affluent et de l'effluent des décanteurs primaires de la station Est sont effectués, couplés à une mesure en continu de la turbidité.

## 2. Méthodologie

### 2.1 Échantillonnage

Des échantillonneurs automatiques, de type Sigma 900, produits par la compagnie Hach®, disposant de 24 bouteilles (Figure 15) ont été utilisés pour les prélèvements à l'amont et à l'aval des décanteurs primaires. Ils ont été disposés au même emplacement que les échantillonneurs habituels pour le suivi routinier de la station (cf. section 2.4 Localisation des équipements p. 33). Les échantillons sont réfrigérés à 4°C entre le prélèvement et l'analyse.

Pour obtenir une évolution heure par heure de la qualité des effluents sans manquer d'éventuels phénomènes transitoires, il a été décidé d'effectuer des composés sur 1h avec des prélèvements d'environ 60 ml toutes les 6 min. Ces caractérisations sont effectuées pendant les périodes critiques (fonte et pluie) mais également en temps sec.



Figure 15 : Échantillonneur automatique

### 2.2 Analyse de MES et d'alcalinité

Une analyse de MES est effectuée sur chaque bouteille. Après agitation, un volume d'environ 50 mL d'échantillon est prélevé pour l'affluent, et environ 100 mL pour l'effluent, à l'aide d'une éprouvette graduée. La filtration est effectuée sur des filtres de 47 mm de diamètre (maille : 1,5µm).

Pour vérifier la fiabilité du protocole d'analyse et pouvoir comparer les résultats obtenus avec ceux du composé 24h, le laboratoire accrédité, qui analyse habituellement les échantillons récupérés par l'équipe d'opération, a analysé cinq échantillons prélevés par la méthode ci-dessus. L'écart entre les valeurs obtenues pour un même échantillon est inférieur à 7%, nous considérerons donc que les deux méthodes d'analyses sont comparables (Table 15).

Table 15 : Vérification des résultats d'analyse par un laboratoire accrédité

date	échantillon	MES (mg/L)	MES laboratoire accrédité (mg/L)	écart	
				mg/l	%
08-mai	E04	179	190	11	6%
08-mai	E07	200	196	-4	-2%
08-mai	E16	232	249	17	7%
08-mai	E18	323	340	17	5%
08-mai	E22	205	208	3	1%

Une mesure de l'alcalinité a été effectuée par un dosage colorimétrique (indicateur coloré : rouge de méthyl) à l'acide sulfurique 0,1N, sur un échantillon de 50 mL. Cette analyse n'a été effectuée que sur une partie des échantillons d'entrée de certaines journées d'échantillonnage.

## 2.3 Mesure de la turbidité en continu (station monEAU)

### 2.3.1 Description de la station monEAU et des capteurs utilisés

La création de la station monEAU vient du constat de manque de standardisation dans la collecte de donnée en continu et l'utilisation de celles-ci en temps réel. En effet, les stations de mesure sont souvent créées pour un projet particulier et ne peuvent s'adapter à d'autres conditions, l'attention étant surtout portée sur les capteurs et non la station elle-même. La station monEAU se veut flexible et évolutive, elle a été conçue pour s'adapter à différentes conditions de mesures et à toutes sortes de capteurs et de contrôleurs [ref. 19].

Elle est composée d'un contrôleur pour la configuration des capteurs, d'une unité centrale, enregistrant les données et d'un routeur sans fil pour accéder à distance au logiciel d'enregistrement et de téléchargement de données (Figure 16).



Figure 16 : Panneau de contrôle d'une station monEAU

Dans notre cas, la station monEAU est installée dans un environnement particulièrement difficile puisqu'elle est soumise à l'atmosphère d'une station d'épuration et les capteurs sont plongés dans des effluents corrosifs. Quatre capteurs ont été installés :

- Un pHmètre, muni d'un thermomètre intégré
- Un conductimètre, muni d'un thermomètre intégré
- Deux turbidimètres

Table 16 : Températures mesurées à l'affluent de la station Est

	Température (°C)		
	min	moy	max
18-avr-10	10.1	11.1	12.0
19-avr-10	10.2	11.6	12.4
20-avr-10	10.7	11.9	12.6
21-avr-10	10.7	12.0	12.8
22-avr-10	11.0	12.1	13.0
23-avr-10	11.2	12.4	13.1
24-avr-10	11.3	12.4	13.3
25-avr-10	11.0	12.2	13.2
26-avr-10	11.0	12.5	13.2

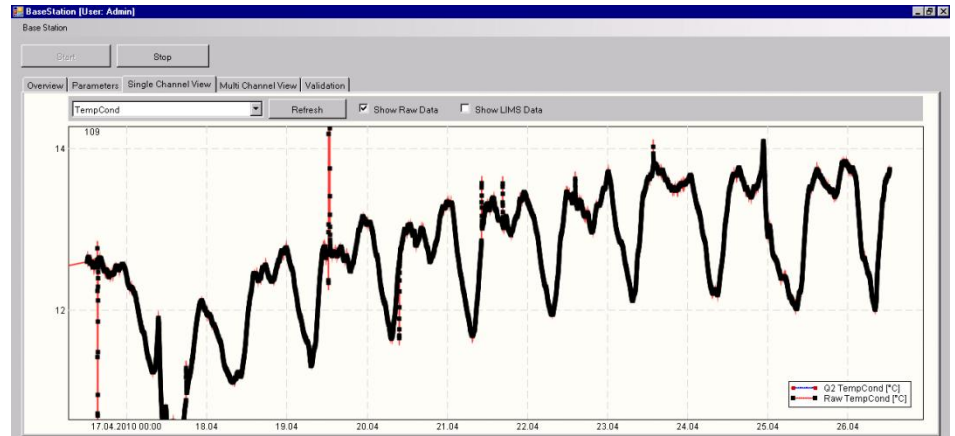


Figure 17 : Variation de la température à l'affluent des décanteurs

La Figure 17 présente les températures relevées par le thermomètre associé au conductimètre. Les données du 17 avril 2010 ont été faussées par des opérations de maintenance, mais on observe à partir du 18 avril 2010 que les valeurs relevées présentent un cycle journalier cohérent (réchauffement en journée et refroidissement la nuit) et sont conformes aux relevés d'exploitation (Table 16), les aberrations ponctuelles étant dues à des nettoyages.

Les données de pH et de conductivité présentent des variations similaires. Elles n'ont pas été analysées plus précisément, mais elles permettent de supposer qu'aucun événement important n'est venu perturber le fonctionnement des sondes.

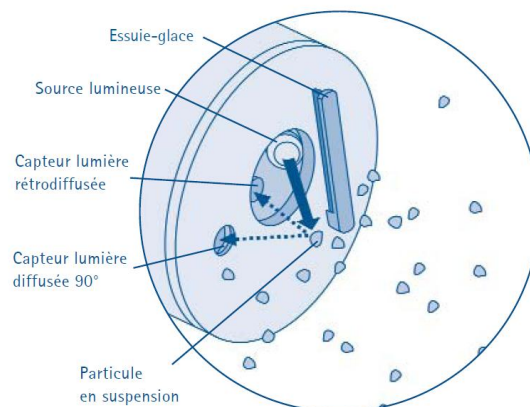


Figure 18 : Schéma de l'optique d'une sonde Solitax® (source : Hach®)

La sonde de turbidité Solitax® (Figure 18) permet une lecture de la turbidité sur une plage allant de 0,001 à 4000 FNU, et des matières en suspension sur une plage allant de 0,001 à 50 g/L. Pour ces dernières, une calibration est nécessaire pour prendre en compte les caractéristiques des particules.

Pour les matières en suspension, la méthode de mesure utilise une lumière diffusée à deux rayons, ce qui devrait permettre de s'affranchir de la couleur.<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Ces informations sont issues du document technico-commercial de la compagnie Hach® présentant la sonde de turbidité Solitax®.

### 2.3.2 Choix des emplacements

À l'installation de la station de mesure monEAU, le 16 mars 2010, il a été décidé de placer 3 capteurs (sonde de turbidité, de pH, de conductivité et de température) à l'entrée des décanteurs primaires en face du décanteur #5 (Figure 20). Étant limitée par la longueur des câbles, la seconde sonde de turbidité a été installée à la sortie de ce même décanteur, à l'intérieur d'une goulotte de reprise. Même si ce point n'était pas représentatif de l'effluent de l'ensemble des décanteurs, nous pensions qu'il aurait pu donner une idée de l'évolution de la qualité des effluents. Cependant, il n'a pas été possible d'exploiter les résultats obtenus en ce point. En effet, quelques heures après un nettoyage, l'encrassement de la sonde, malgré l'essuie-glace automatique, ne lui permettait plus de donner des valeurs fiables. Il est probable que le manque de courant à cet emplacement soit à l'origine de ce problème.



Figure 19 : Installation des deux sondes de turbidité à l'entrée des décanteurs primaires

La seconde sonde a finalement été déplacée le 16 avril 2010, pour être installée à l'entrée des décanteurs primaires, en parallèle avec la première sonde.

NB : toutes les données présentées par la suite sont issues des enregistrements effectués en entrée des décanteurs. Elles sont indexées TSS1 pour la sonde qui a toujours été installée à l'entrée et TSS2 pour celle qui était dans un premier temps à la sortie et qui a été ramenée à l'entrée ensuite.

## 2.4 Localisation des équipements

À l'entrée des décanteurs primaires, l'échantillonneur automatique et les sondes de turbidité Solitax® sont situés à environ 10 m d'écart (Figure 20). À l'installation de la station monEAU, un prélèvement manuel a été réalisé au niveau des sondes en parallèle avec l'échantillonneur automatique, l'analyse des échantillons n'a pas révélé de différence importante dans les concentrations en MES. D'autre part, des essais ont été réalisés en 2002 pour relocaliser le point d'échantillonnage en amont des décanteurs #3 et #4. Des analyses de MES ont été effectuées pendant une semaine, la différence moyenne constatée entre les deux points était de 3%. L'affluent dans le canal d'alimentation des décanteurs primaires est donc relativement bien homogène.

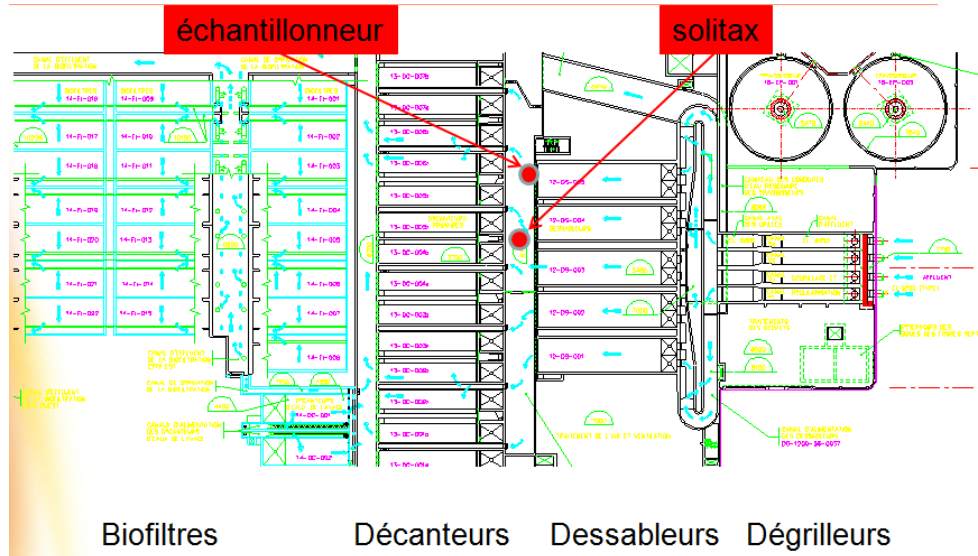


Figure 20 : Localisation de l'échantillonneur et de la sonde de turbidité à l'entrée des décanteurs primaires

L'effluent des décanteurs primaires est échantillonné juste avant la biofiltration, en haut des vis d'Archimède (Figure 21). Le brassage créé par le relèvement de l'effluent devrait permettre d'obtenir un mélange homogène en ce point.

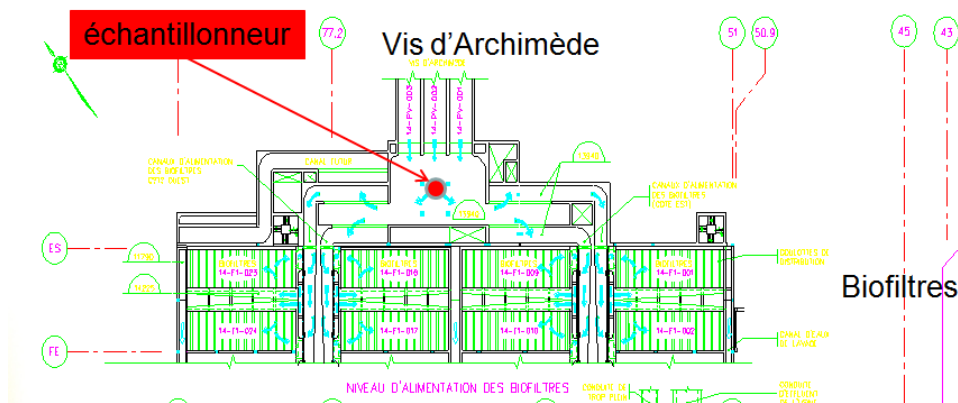


Figure 21 : Localisation de l'échantillonneur à la sortie des décanteurs primaires

## 2.5 Caractéristiques des journées d'échantillonnage

Plusieurs journées d'échantillonnage ont été réalisées, mais tous les équipements n'étaient pas toujours disponibles lors de ces campagnes. Les données qui ont pu être collectées et les caractéristiques de chaque journée sont rassemblées dans la Table 17.

La détermination de la période de fonte est un peu arbitraire. En effet, les critères utilisés pour la rédaction du rapport remis au MAMROT (température maximale supérieure à -2°C, débit moyen journalier supérieur à 7000 m<sup>3</sup>/h et débit maximal journalier supérieur à 9000 m<sup>3</sup>/h) ne permettent pas de prendre en compte les particularités de chaque fonte. Cette année, la fonte a débuté tôt avec les températures élevées en journée et a été plus progressive que d'habitude avec les épisodes de gel la nuit. Nous situons la fin de la période de fonte de cette année vers le 10 avril 2010. En effet, on observe à cette période une baisse durable du débit moyen journalier d'environ 2000 m<sup>3</sup>/h, même s'il reste supérieur à 7000 m<sup>3</sup>/h.

Les intensités de pluie présentées dans la Table 17 sont données à titre indicatif. Elles proviennent des pluviomètres de l'aéroport international Jean-Lesage et ne sont donc pas représentatives de l'ensemble du territoire desservi par la station d'épuration.

Suite aux résultats des premières journées d'échantillonnage à l'entrée et à la sortie des décanteurs primaires, un troisième échantillonneur automatique a été installé à la sortie des dégrilleurs, trois journées de données sont disponibles (Table 17).

Table 17 : Récapitulatif des données disponibles

	analyses			sondes		type de journée
	entrée	sortie	dégrilleurs	TSS1	TSS2	
24-mars	x	x*				fonte, temps sec
31-mars	x	x				fonte, temps sec après une pluie
01-avr	x	x*				fonte, temps sec
05-avr	x	x		x		fonte, petite pluie (2,6 mm)
07-avr	x	x				fonte, temps sec
09-avr	x	x*		x		fonte, temps sec
14-avr	x*	x				temps sec
17-avr	x	x	x	x	x	temps de pluie (9,8 mm)
21-avr	x	x	x	x	x	petite pluie (0,2 mm)
27-avr	x	x	x	x	x	temps de pluie (2,0 mm)
08-mai	x	x				temps de pluie (3,2 mm)

\* débordement de bouteilles (cf. section 3.2.1 Problèmes rencontrés lors de l'échantillonnage)

### 3. Analyse des résultats

#### 3.1 Alcalinité

L'ajout d'alun a une influence sur l'alcalinité de l'eau. On considère que 1mg d'alun fait baisser l'alcalinité de 0,45 mg/l de CaCO<sub>3</sub> [ref. 15]. Le dosage d'alun prévu étant compris entre 50 et 70 mg/l, une alcalinité minimale d'environ 35 mg/l de CaCO<sub>3</sub> est nécessaire pour être sûr de ne pas influencer le pH de l'effluent et ainsi, ne pas perturber le fonctionnement du traitement biologique subséquent.

Le dosage de l'alcalinité en entrée des décanteurs a été réalisé sur quelques échantillons, en considérant que l'alcalinité ne fluctue pas brusquement d'une heure à l'autre, au cours de journées d'échantillonnage caractéristiques. Les analyses du 1<sup>er</sup> avril ont été réalisées par un laboratoire accrédité, celles du 14 et du 27 avril ont été réalisées dans le laboratoire de la station Est. Les résultats sont présentés ci-dessous :

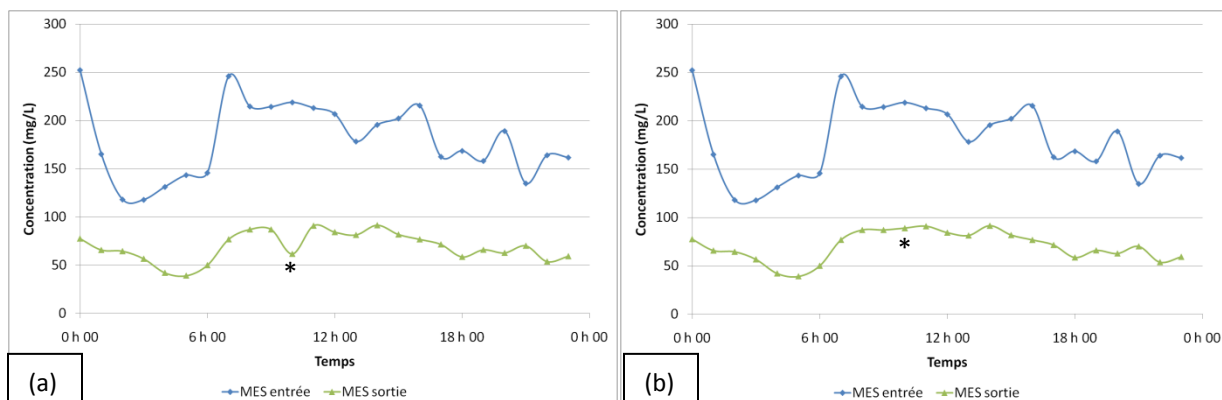
- En fonte, temps sec (1er avril) :
  - Entre 173 et 204 mg/L de CaCO<sub>3</sub> (sur 4 échantillons)
- En temps sec (14 avril 2010) :
  - Entre 160 et 200 mg/L de CaCO<sub>3</sub> (sur 12 échantillons)
- En temps de pluie (27 avril 2010) :
  - Entre 130 et 170 mg/L de CaCO<sub>3</sub> (sur 12 échantillons)

Les variations d'alcalinité au cours de la journée sont faibles et les valeurs obtenues sont suffisantes. **L'ajout d'alun ne devrait pas influencer le pH des eaux arrivant à la biofiltration.**

#### 3.2 MES

##### 3.2.1 Problèmes rencontrés

Lors de l'échantillonnage, certaines bouteilles ont débordé. Ce phénomène n'a pas pu être mis en relation avec un quelconque évènement (augmentation de débit ou de niveau d'eau, etc.) lorsque la concentration de ces bouteilles sortait de la tendance observée pour la journée, elle a été remplacée par la valeur obtenue par une interpolation linéaire, les valeurs corrigées sont indexées par une étoile sur les graphiques (Figure 22).



(a) : résultats bruts

(b) : résultats corrigés

\* débordement de bouteille

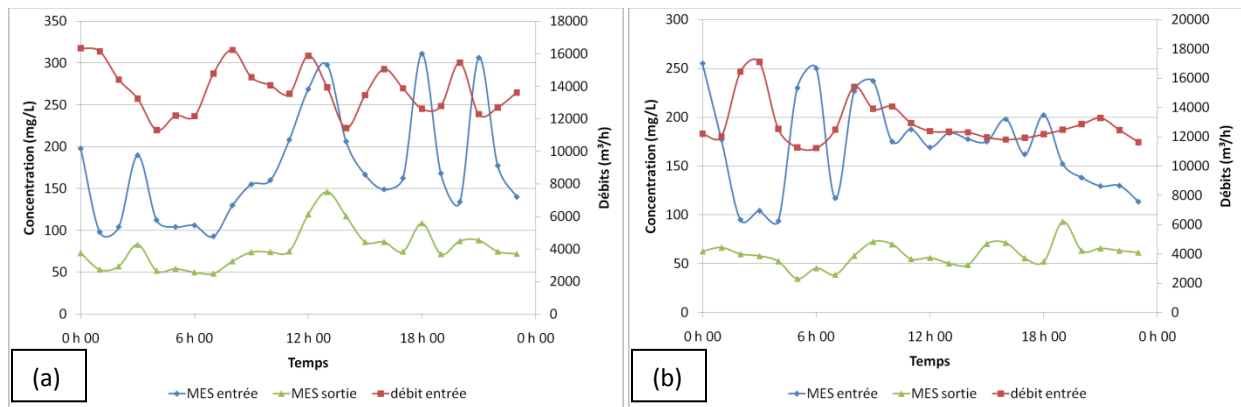
Figure 22 : Exemple de correction par interpolation linéaire (9 avril 2010)

Sur les premières journées d'échantillonnage, il semblait que la première bouteille prélevée présentait toujours une concentration plus élevée que les suivantes. Pour s'assurer qu'il ne s'agit pas d'un phénomène dû à l'échantillonnage, tel que l'accumulation d'un dépôt sur la crépine (celle-ci étant nettoyée la veille et restant plusieurs heures dans l'effluent) qui serait prélevée lors de la première prise, les échantillonneurs ont par la suite été démarrés la veille à 23h. Cependant, ces bouteilles ont également été analysées et ne présentent pas toujours le même phénomène de surcharge. Aucune correction ne sera donc apportée aux résultats.

### 3.2.2 Commentaires sur les résultats journaliers

Sur l'ensemble des journées d'échantillonnage, on observe des fluctuations importantes au niveau de l'entrée des décanteurs qui sont très affaiblies à la sortie. Le rendement horaire des décanteurs varie beaucoup selon les jours et les périodes de la journée (de 20 à 80%), mais le rendement journalier moyen reste plutôt stable autour de 60%. Le fonctionnement des décanteurs est donc de bonne qualité. On notera que six des onze journées d'échantillonnage sont situées en période de fonte et que de la pluie a été relevée sur quatre autres journées. Or, il s'agit des conditions critiques pour le traitement, ce qui peut expliquer que le rendement moyen obtenu sur ces journées soit plus faible que le rendement habituellement constaté, d'où la nécessité d'ajouter de l'alun et du polymère.

La Figure 23 présente les résultats de deux journées d'échantillonnage au cours desquelles on observe des variations brusques de la concentration en entrée des décanteurs. Le 31 mars et le 1<sup>er</sup> avril sont des journées de temps sec. Cependant, le 29 mars 2010, 10.4 mm de pluie ont été relevés. On observe que les pics de concentration sont généralement décalés de 1 à 2h par rapport aux pointes de débit.



(a) : 31 mars 2010

(b) : 1<sup>er</sup> avril 2010

Figure 23 : Évolution des concentrations en MES et des débits – pics de concentrations

Certaines fluctuations de concentration en entrée des décanteurs primaires pourraient être expliquées par des opérations normales d'exploitation, telles que :

- **Le pompage des boues de fosses septiques.** Les livraisons de boues de fosses septiques sont acheminées vers un dispositif de stockage composé de deux bassins reliés par un trop-plein. L'un des réservoirs sert plus spécifiquement au stockage des boues de fosses septiques tandis que l'autre reçoit également les eaux de vidanges des laveurs d'écumes. La charge de ce dernier peut donc être beaucoup moins importante. Une prise de niveau unique pour les deux bassins



permet de repérer un pompage, mais n'indique pas dans quel bassin celui-ci est effectué. Cependant, même si le pompage a lieu dans le réservoir de boues, l'impact ne devrait être que peu important. En effet, en considérant des boues à 2% de siccité et un débit de pompage moyen de 5 m<sup>3</sup>/h, même avec le débit en entrée de station minimum de 5000 m<sup>3</sup>/h, l'augmentation de la concentration de l'affluent ne serait que de 20 mg/L. Ce phénomène ne peut donc expliquer à lui seul les pics de concentration constatés.

- **Le décolmatage des décanteurs primaires.** Toutes les nuits, au moins une opération de décolmatage de décanteur est réalisée sur une durée de 4h. En période critique, des décolmatages peuvent également avoir lieu au cours de la journée. Pendant l'opération la vanne d'alimentation du décanteur est fermée ce qui peut provoquer une montée du niveau d'eau dans le canal d'alimentation des décanteurs et éventuellement emporter des résidus fixés sur les parois.
- **La vidange de bassin de rétention.** Plusieurs bassins de rétention sont connectés au réseau. Leur vidange peut provoquer une hausse de débit liée à une baisse de la concentration.

On observe sur la Figure 24 que l'augmentation du débit en entrée de station concorde souvent avec une augmentation de la charge en entrée des décanteurs primaires. Celle-ci se répercute sur la sortie des décanteurs en étant fortement atténuée. La dynamique des débits et des charges est similaire sur toutes les journées d'échantillonnage. Les débits et les charges les plus faibles sont relevés durant la nuit, ils augmentent progressivement jusque vers 12h, puis diminuent dans l'après-midi. L'augmentation de débit peut être due à plusieurs facteurs. D'une part, l'activité humaine qui participe à une dynamique que l'on retrouve sur toutes les journées. D'autre part, pour les premières journées d'échantillonnage, l'augmentation de la température entraîne une fonte des neiges qui explique cette hausse de débit.

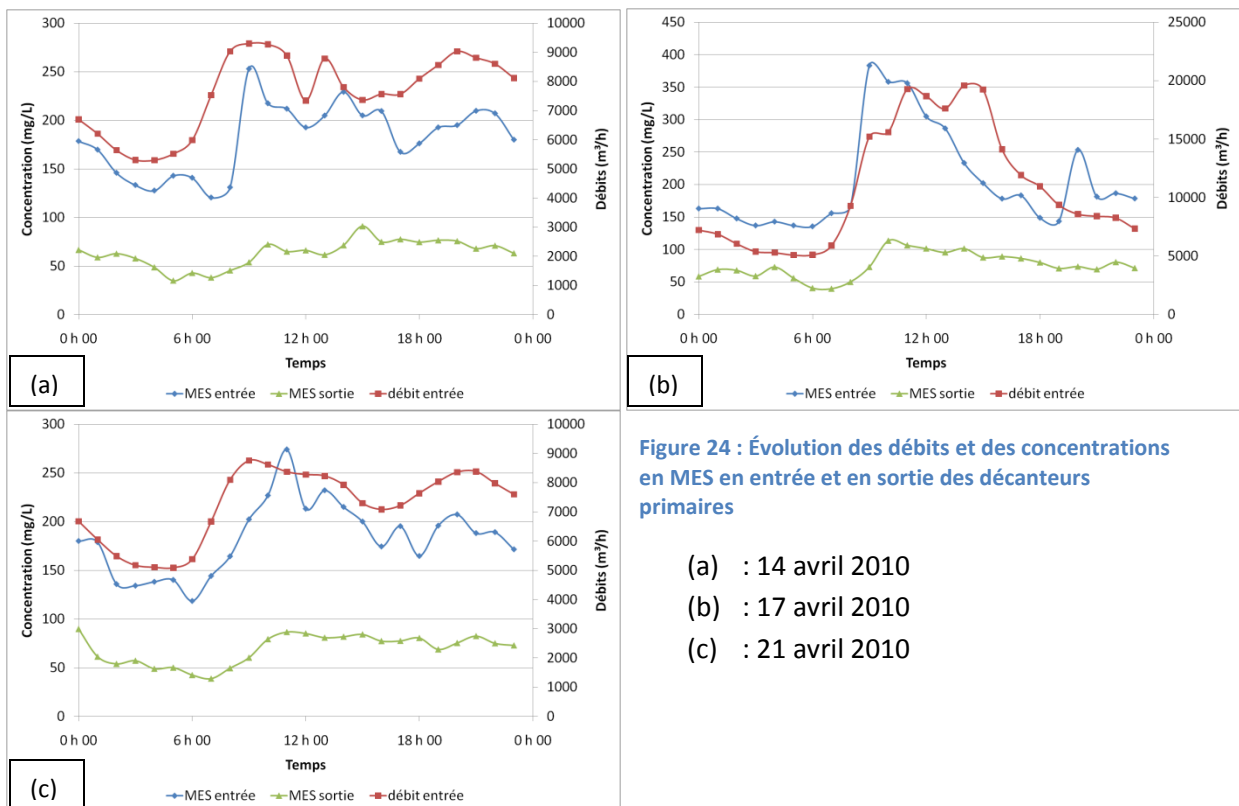


Figure 24 : Évolution des débits et des concentrations en MES en entrée et en sortie des décanteurs primaires

- (a) : 14 avril 2010
- (b) : 17 avril 2010
- (c) : 21 avril 2010

### 3.2.3 Résultats de l'échantillonnage en aval des dégrilleurs

Un échantillonnage a été effectué directement à l'aval des dégrilleur pour tenter de déterminer si les pics de concentrations tels que ceux observés sur la Figure 23, proviennent réellement du réseau ou sont dus à ces retours d'exploitation. À cet emplacement, seul l'affluent provenant du réseau est prélevé, les retours de surnageant des épaisseurs, d'eaux des laveurs de sable et d'écumes ne sont pas pris en compte. En effet, ces derniers peuvent avoir un effet non négligeable sur la qualité de l'affluent des décanteurs primaires [ref. 13].

Ce point d'échantillonnage avait déjà été exploité à la mise en service des stations d'épuration, mais aucune donnée n'est aujourd'hui disponible.

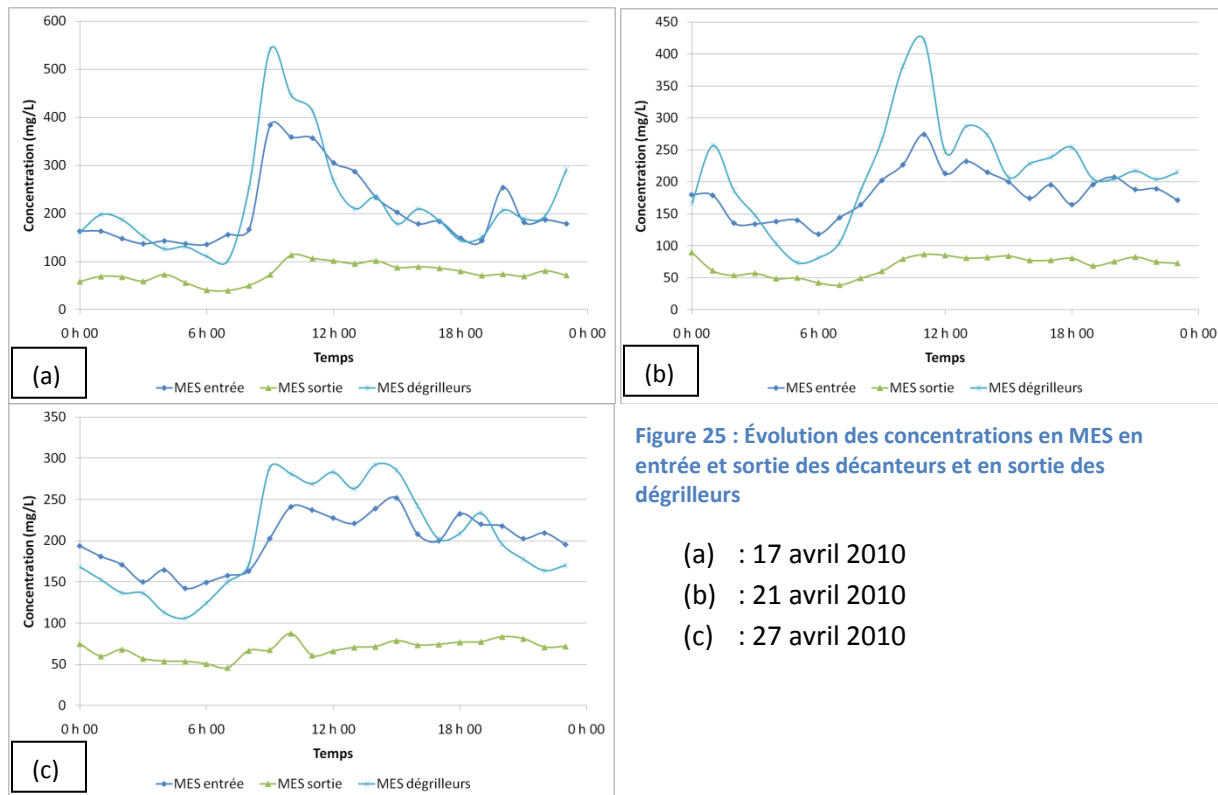


Figure 25 : Évolution des concentrations en MES en entrée et sortie des décanteurs et en sortie des dégrilleurs

- (a) : 17 avril 2010
- (b) : 21 avril 2010
- (c) : 27 avril 2010

On observe que durant la nuit, les concentrations en MES aux dégrilleurs sont souvent plus faibles qu'à l'entrée des décanteurs primaires. Ceci pourrait s'expliquer par le fait qu'à débit d'entrée faible, le surnageant des épaisseurs retourné à débit constant d'environ 200 m<sup>3</sup>/h et de concentration élevée (environ 1000 mg/L), prend une plus grande importance (Figure 25).

L'échantillonnage en ce point a posé des difficultés. En effet, la présence de sables et de déchets provoque des problèmes d'homogénéité des échantillons et le blocage des crépines. C'est pour ces raisons que ce point d'échantillonnage avait été abandonné pour l'exploitation de la station. Les valeurs obtenues ne sont pas utilisables en soi (Annexe 6). Cependant, on note que les variations de concentration à l'entrée des décanteurs sont également visibles au niveau des dégrilleurs. Les pics de concentration semblent donc provenir du réseau.

### 3.2.4 Comparaison au composé 24h

Pour comparer les valeurs de l'échantillonnage 24 bouteilles avec celle du composé 24h, asservi au débit, une moyenne des concentrations des 24 bouteilles pondérée par les débits mesurés au point le plus proche de l'échantillonnage est effectué (somme du débit aux canaux de grilles et du retour du surnageant des épaisseurs pour l'entrée des décanteurs et débit en amont de la biofiltration pour la sortie des décanteurs).

Table 18 : Comparaison de l'échantillonnage 24 bouteilles au composé 24h

date	MES entrée (mg/L)		MES sortie (mg/L)		écart	
	24 bouteilles	composé 24h	24 bouteilles	composé 24h	entrée	sortie
24-mars	225	307	85	100	-31%	-16%
31-mars	221	46	102	64	131%	45%
01-avr	201	191	76	56	5%	30%
05-avr	179	206	82	71	-14%	14%
07-avr	202	207	88	71	-2%	22%
09-avr	194	218	79	64	-11%	22%
14-avr	130	278	48	66	-72%	-31%
17-avr	233	212	83	48	9%	53%
21-avr	126	350	49	74	-94%	-41%
27-avr	164	268	57	70	-48%	-20%
08-mai	195	241	61	69	-21%	-12%

Pour le 31 mars, la valeur du composé 24h de 46 mg/L semble aberrante et ne sera donc pas utilisée par la suite.

Les écarts constatés entre les valeurs du composé 24h et celles obtenues à partir de l'échantillonnage 24 bouteilles sont importantes (jusqu'à 94% d'écart le 21 avril). De plus, la valeur des 24 bouteilles semble souvent être inférieure à celle du composé 24h (Table 18).

Lors de l'échantillonnage 24 bouteilles, l'échantillonneur était programmé sur un asservissement au temps. Or, on a observé que les bouteilles correspondant à un débit élevé étaient plus remplies que les autres. Il est possible que le même phénomène soit présent pour l'échantillonneur du composé 24h. Or, on constate, notamment lors des pluies, qu'une augmentation du débit correspond habituellement à une augmentation de la concentration en MES. Si le volume prélevé à chaque prise est plus important lors des forts débits, l'importance accordée aux pointes de MES serait doublé pour le composé 24h. Il serait judicieux de vérifier les volumes de prélèvement du composé 24h.

## 3.3 Turbidité

### 3.3.1 Influence du nettoyage des sondes

Lorsque la sonde n'est pas nettoyée pendant des périodes trop longues, son signal peut être perturbé par un encrassement qui pas toujours visible. Après un nettoyage, il arrive alors qu'on observe une dérivation du signal plus ou moins importante (Figure 26).

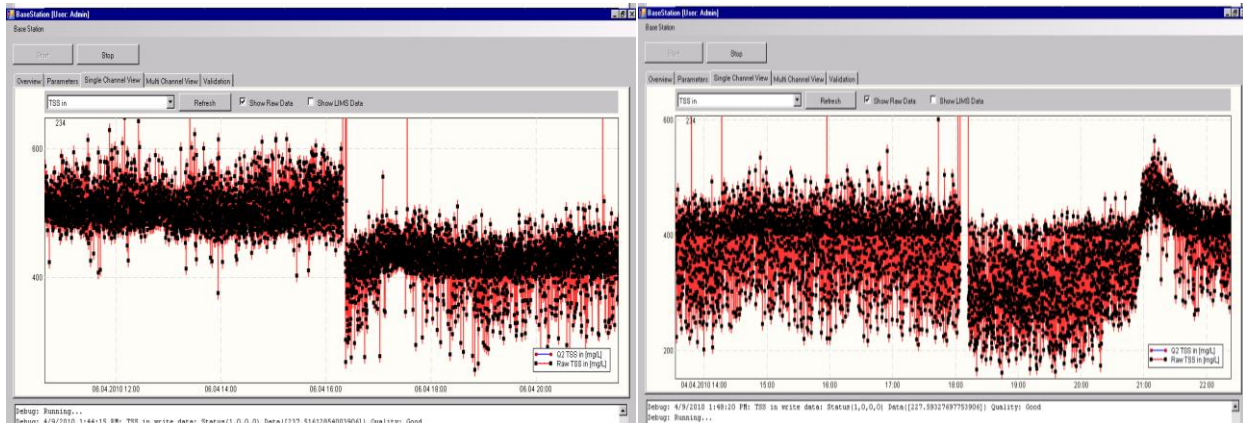


Figure 26 : Influence du nettoyage des sondes sur le signal de turbidité

En programmant le passage de l'essuie-glace toutes les minutes au lieu de toutes les 5 minutes, on note que le délai entre deux nettoyages peut être rallongé sans perte de qualité du signal. Ainsi, un nettoyage tous les 2 à 3 jours s'est montré acceptable.

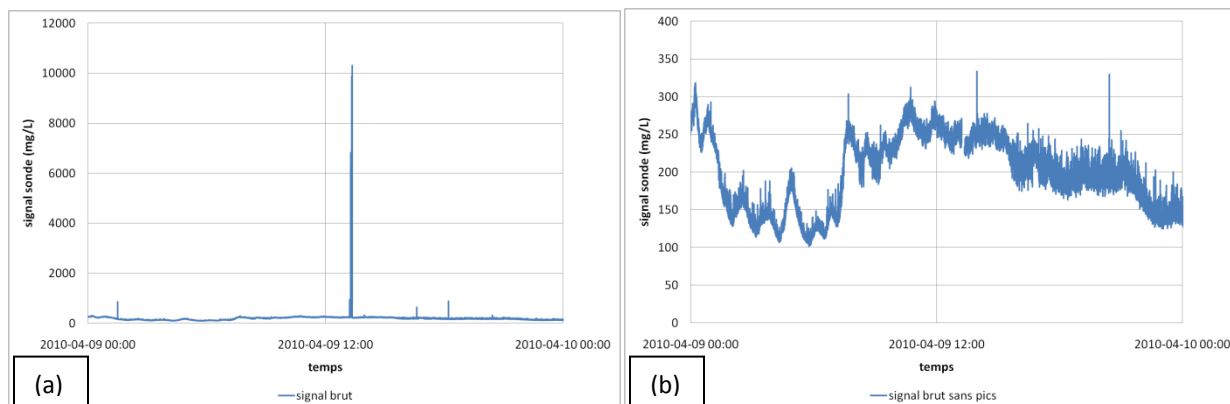
Cependant, on note que les caractéristiques de l'effluent jouent un rôle important dans la détermination de la fréquence d'entretien des équipements. Ainsi, lors du déversement d'un effluent industriel, les signaux des sondes commencent à présenter une perturbation seulement quelques heures après un nettoyage, un entretien plus fréquent est alors nécessaire pendant ces événements.

### 3.3.2 Traitement de données

À terme, la station monEAU devrait disposer d'un système de traitement de données intégré. À ce stade, il est encore nécessaire d'effectuer cette tâche manuellement. Chaque sonde possède sa propre calibration interne. Pour obtenir une valeur représentative en mg/L de MES, il est nécessaire de rajouter une calibration, celle-ci change en fonction du type d'eau utilisé (taille et forme des particules...). Or les caractéristiques de l'eau en entrée de la station d'épuration varient fortement selon les événements (fonte des neiges, début ou fin d'un épisode pluvieux...). Il a donc été décidé de récupérer le signal brut enregistré par la sonde et d'effectuer une calibration a posteriori.

Pour s'assurer de la bonne qualité des données, un entretien régulier des sondes est réalisé. En effet, l'essuie-glace présent sur l'optique de la sonde ne permet pas à lui seul de maintenir un état de propreté suffisant pour ne pas influencer le signal. Le nettoyage manuel de la sonde est effectué à l'aide d'un jet d'eau, puis un chiffon est passé avec soin sur l'optique. Occasionnellement, à la suite d'un nettoyage, on observe un décalage flagrant du signal signifiant que les données antérieures au nettoyage présentent un « shift » et doivent être utilisées avec précaution. Souvent, les variations du signal restent bonnes, mais les valeurs ne sont pas utilisables, comme on pourra le voir par la suite sur les résultats des deux sondes en parallèle (Figure 31).

Pour faciliter le traitement de données, l'enregistrement du signal de la sonde n'est pas arrêté pour le nettoyage, les lectures prises pendant le nettoyage sont filtrées par la suite (Figure 27).



(a) : signal de turbidité brut

(b) : signal de turbidité après suppression des pics dus au nettoyage

Figure 27 : Filtrage des données lors des nettoyages (9 avril 2010)

La station monEAU enregistre une lecture toutes les 5 secondes. Certains enregistrements présentent des aberrations isolées dues au passage de l'essuie-glace, de bulles d'air, etc. D'autres sources d'interférences peuvent aussi exister et restent encore à identifier. Pour filtrer ces valeurs des données brutes, un traitement de données est nécessaire : pour des raisons de continuité, si la valeur enregistrée diffère de plus de 200mg/L par rapport à la médiane des 7 valeurs avoisinantes, on la retire. Puis, pour éliminer le bruit sur le signal des sondes, on le remplace par la médiane sur les 25 valeurs avoisinantes, ce qui représente à peu près 2 minutes d'enregistrement. Cette méthode de filtrage repose sur le fait que la turbidité ne devrait pas présenter de variations importantes sur un laps de temps aussi court. Un exemple est présenté sur la Figure 28.

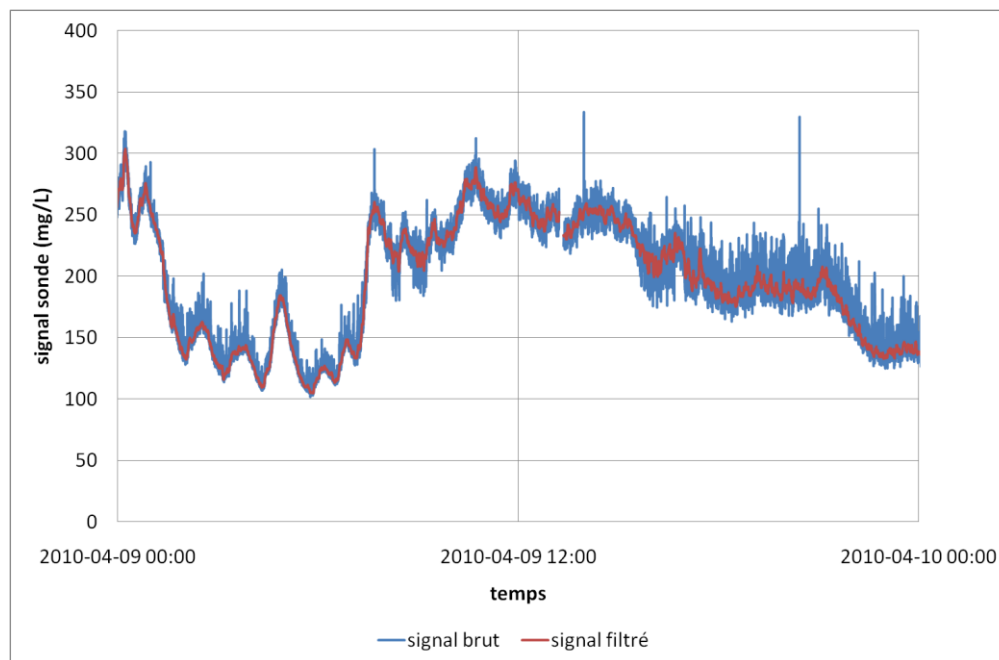
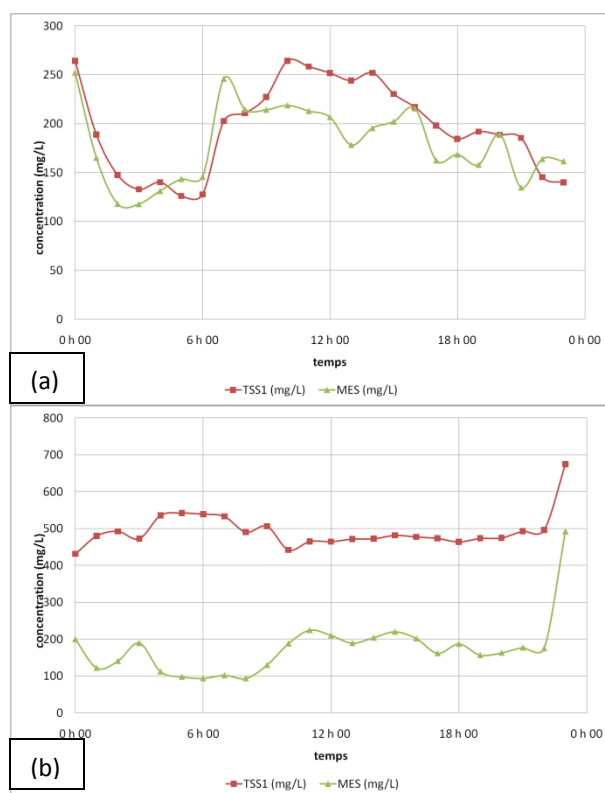


Figure 28 : Signal de la sonde de turbidité avant et après filtrage (9 avril 2010)

### 3.3.3 Calibration par journée d'échantillonnage

L'objectif de la calibration des sondes est de pouvoir obtenir des valeurs de concentration en MES à partir du signal des sondes. Pour cela, une calibration de la sonde est nécessaire.

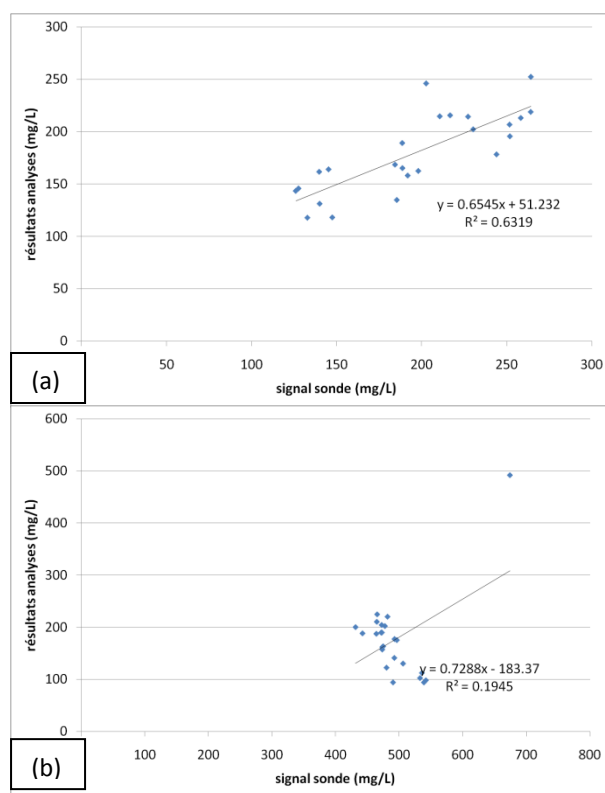
Pour comparer les valeurs obtenues par la sonde aux résultats des analyses de MES, une moyenne sur 1h de données obtenues après le filtrage expliqué précédemment est calculée. Ces valeurs sont alors mises en relation pour chaque journée (Figure 29). La corrélation obtenue est plus ou moins bonne selon les journées (Figure 30). Pour le 5 avril 2010, le signal de la sonde ne redonne pas les variations obtenues par les analyses de MES au cours de la journée. Cependant, la hausse de concentration en MES due à l'arrivée d'une pluie est également enregistrée par la sonde (Figure 29 (b)).



(a) : 9 avril 2010

(b) : 5 avril 2010

Figure 29 : Comparaison des valeurs données par la sonde et des analyses de MES



(a) : 9 avril 2010

(b) : 5 avril 2010

Figure 30 : Corrélation entre les données de la sonde et des analyses de MES

Il serait intéressant de refaire ces essais avec une quantité de données plus importante pour voir s'il est possible de valider une calibration par une autre série de données, notamment sur deux journées présentant les mêmes caractéristiques.

### 3.3.4 Résultats des deux sondes en parallèle

La mise en place des deux sondes en parallèle permet de vérifier la qualité des données par comparaison. On observe, par exemple, sur la Figure 31 qu'après nettoyage, la sonde TSS1 a présenté un décalage significatif. Cependant, l'allure générale des deux courbes reste semblable, ce qui laisse supposer que le biais est probablement dû à la présence d'un biofilm qui n'empêche pas la lecture de la sonde, mais en fausse la valeur.

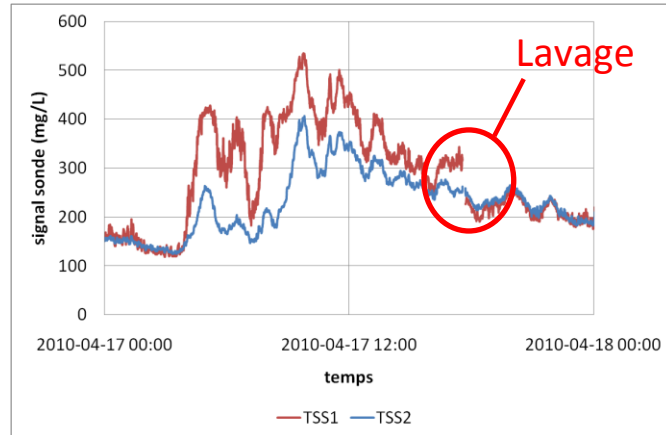


Figure 31 : Illustration du « shift » sur le signal (filtré) d'une des deux sondes (17 avril 2010)

La Figure 32 présente la comparaison entre les résultats des analyses de MES et les valeurs issues des deux sondes de turbidité sur trois journées. On note que pour le 21 et le 27 avril (Figure 32 (b) et (c)), le signal de la sonde TSS2 a été fortement perturbé dans la matinée, ces valeurs ont donc été supprimées.

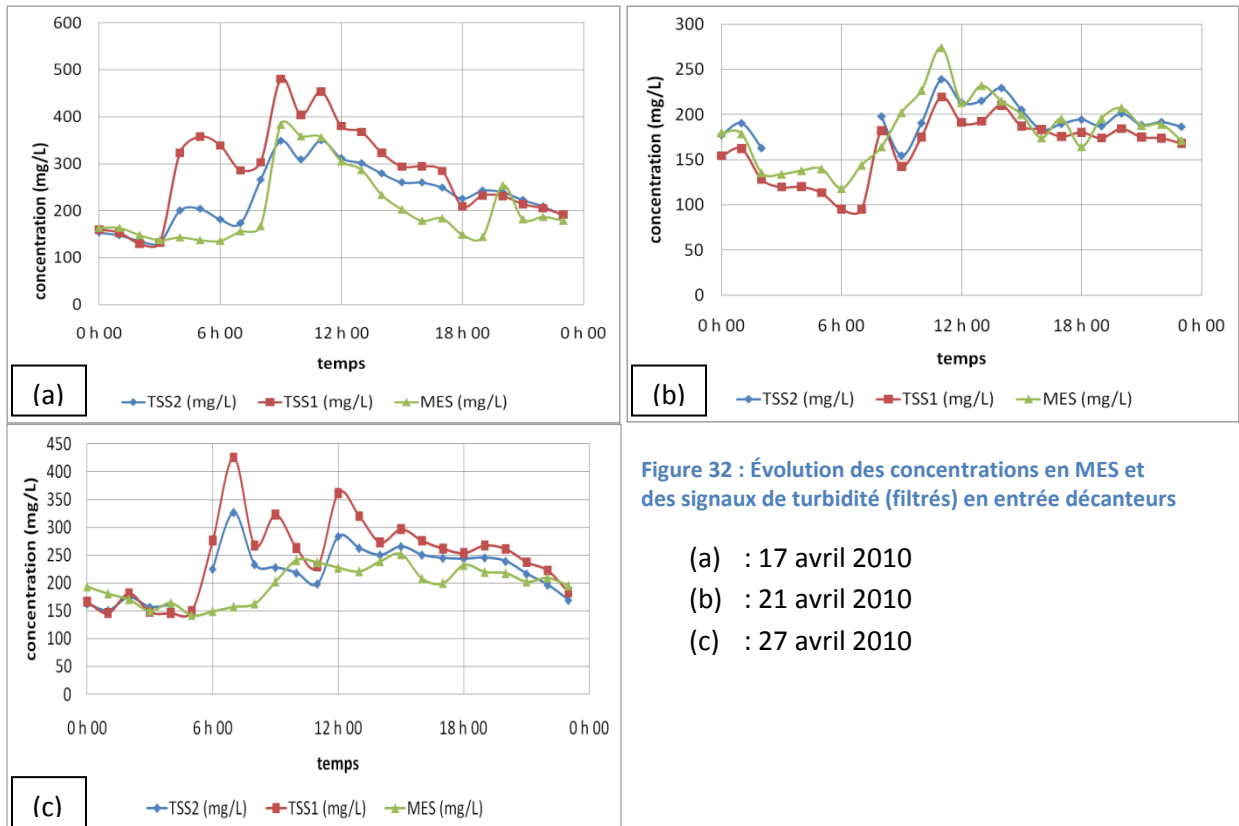


Figure 32 : Évolution des concentrations en MES et des signaux de turbidité (filtrés) en entrée décanteurs

- (a) : 17 avril 2010
- (b) : 21 avril 2010
- (c) : 27 avril 2010

Pour le 17 avril 2010, nous avons vu précédemment que les valeurs données par la sonde TSS1 ne peuvent pas être utilisées à cause d'un biais sur le signal. Les valeurs issues de la sonde TSS2 diffèrent en moyenne de 18% avec les résultats des analyses de MES, cette différence monte ponctuellement jusqu'à 69%. Une pluie assez importante a été enregistrée pendant cette journée (9,8mm). La corrélation avec la sonde TSS2 est bonne ( $r^2=0,70$ ) (Figure 33 (a)).

Le 21 avril 2010, on observe que le signal des sondes diffère peu de résultats des analyses de MES : en moyenne 8% de différence avec la sonde TSS1 et 13% avec la sonde TSS2. On notera que le 21 avril peut être considéré comme une journée de temps sec, avec une intensité de pluie de seulement 0,2mm. La corrélation obtenue avec la sonde TSS1 est plutôt bonne ( $r^2=0,71$ ), avec la sonde TSS2, les résultats sont moins bons ( $r^2=0,47$ ) mais restent convenables (Figure 33 (b)).

Le 27 avril 2010, les deux sondes ont enregistré des pics de turbidité vers 7h et 12h qui n'ont pas été notés sur l'analyse de MES (Figure 32 (c)), d'où une corrélation assez mauvaise (Figure 33 (c)). Pour cette journée, 2,0mm de pluie ont été enregistrés à l'aéroport Jean-Lesage. On observe sur la Figure 34 que les pics de concentration en MES ont été enregistrés au cours de phases d'augmentation du débit d'entrée.

On notera qu'en tentant d'effectuer une corrélation entre les valeurs de MES données par la sonde et celle des analyses sur une journée, on fait l'hypothèse que les caractéristiques des eaux sont similaires sur cette période, ce qui n'est pas forcément le cas, surtout lors des périodes de pluie. D'autre part, il pourrait être intéressant de considérer une calibration non linéaire [ref. 10].

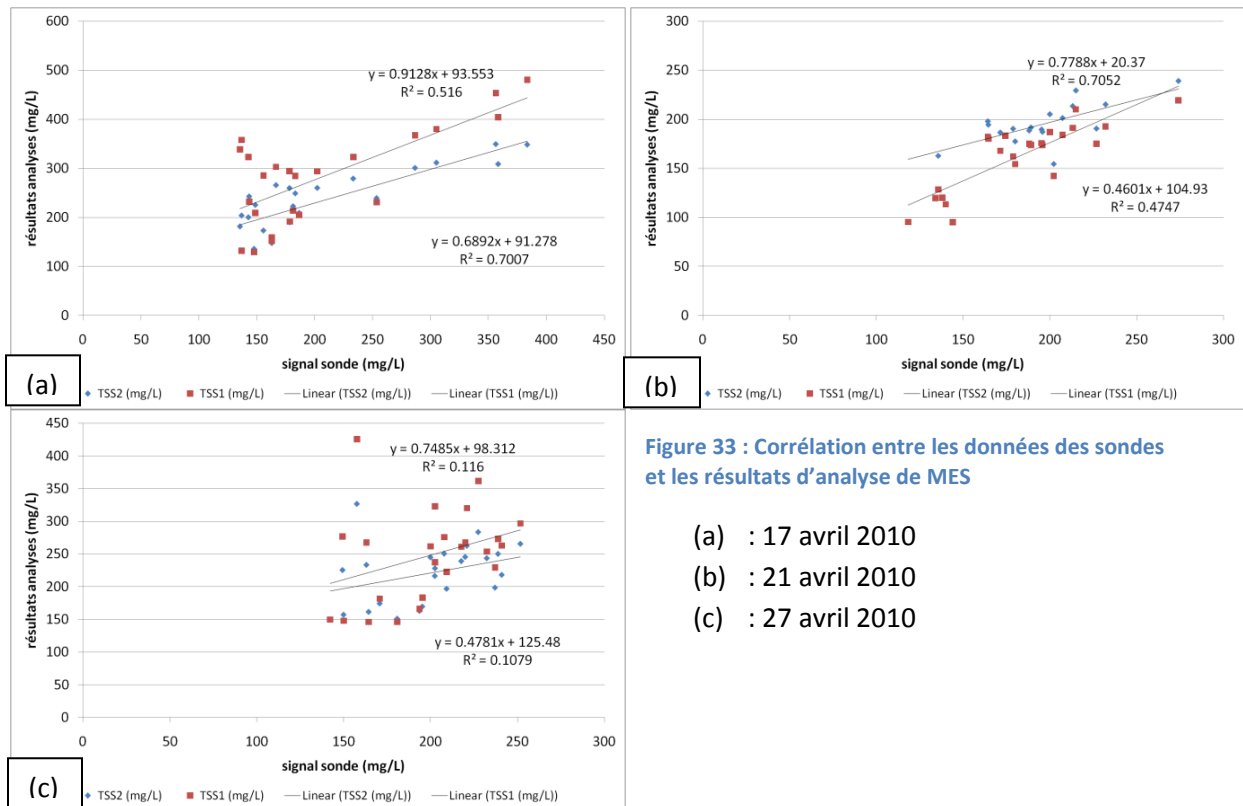


Figure 33 : Corrélation entre les données des sondes et les résultats d'analyse de MES

- (a) : 17 avril 2010
- (b) : 21 avril 2010
- (c) : 27 avril 2010



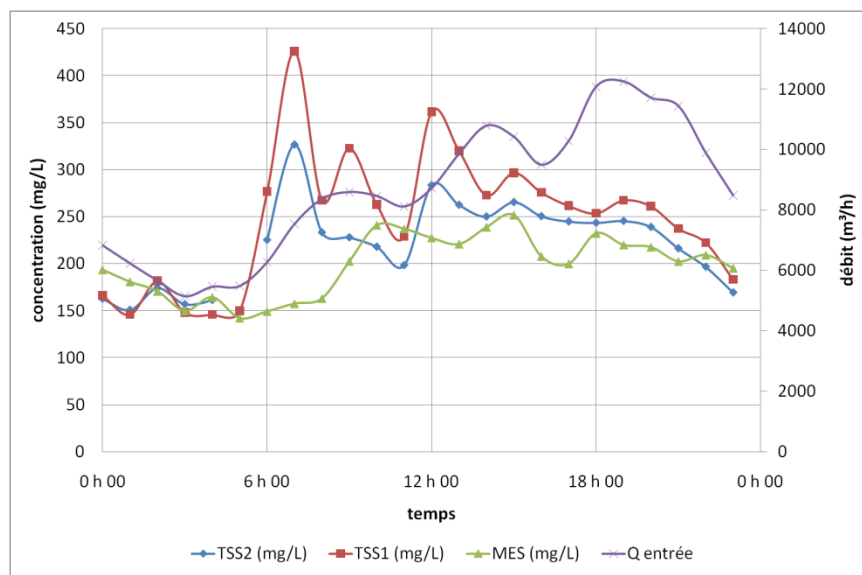


Figure 34 : Évolution du signal des sondes de turbidité et du débit d'entrée

## 4. Conclusions et recommandations

### 4.1 Stratégie de contrôle

On retiendra que l'utilisation d'une sonde de turbidité peut être envisagée pour le contrôle de l'injection de produits chimiques à la décantation primaire. Cette solution permettrait un dosage précis grâce à un suivi en continu. Cependant, pour éviter des désagréments, plusieurs précautions doivent être prises.

L'emplacement de la sonde doit être choisi avec soin. Pour que la mesure soit représentative, la sonde doit être placée dans une zone où le brassage est suffisant pour assurer l'homogénéité de l'effluent. Cependant, notons qu'une turbulence trop importante peut perturber le signal. Une solution pourrait être d'effectuer la lecture en dehors des ouvrages de traitement, mais il serait alors nécessaire d'installer un système de dérivation pour amener l'effluent dans un récipient adéquat pour une bonne lecture de la sonde, comme cela est fait sur des unités pilotes.

Pour évaluer l'évolution de la concentration en MES des eaux, d'autres essais de calibration doivent être réalisés. Il semble que la calibration de la sonde doit être effectuée pour chaque période caractéristique (temps sec, début/fin de pluie, fonte...).

D'autre part, la méthode de contrôle par la turbidité devrait être couplée avec d'autres moyens de contrôle. En effet, il a été mis en évidence que le signal de la sonde de turbidité peut être perturbé par des événements tels que les rejets industriels, notamment les rejets de la manufacture de papier Glassine®. Il est donc nécessaire d'écarter ces événements par comparaison à d'autres données (ex : turbidité en sortie), un autre paramètre de contrôle, comme le débit d'entrée, serait alors utilisé.

## 4.2 Ajustement de l'exploitation des stations

L'extrapolation des résultats de tests de laboratoire, tels que les jar-tests, à l'échelle réelle n'est pas toujours légitime [ref. 5], d'autant plus que dans le cas des stations d'épuration de la Ville de Québec, la coagulation et la floculation n'auront pas lieu dans des compartiments prévus à cet effet. Il est difficile d'estimer les contraintes auxquelles les floccs seront soumis. Des essais de terrain seront donc nécessaires.

D'autre part, l'injection d'alun et de polymère modifiera la quantité et la qualité des boues primaires [ref. 14]. Il faudra donc vérifier si les paramètres de soutirage des boues restent adéquats. Le mode et la fréquence d'entretien des décanteurs sont également à revalider.

Une fois le système fonctionnel, d'autres améliorations sont alors envisageables. La recirculation de boues chimiques semble permettre d'obtenir de bons résultats en diminuant la quantité de produits chimiques nécessaire [ref. 4 et ref. 16]. Cependant, la mise en place d'un tel système demanderait un aménagement important et engendrerait, par conséquent, des coûts supplémentaires. Il pourrait être intéressant d'évaluer la rentabilité de cette option.

# Conclusions et perspectives

---

La première partie de cette étude a permis d'établir un bilan de masse équilibré autour des décanteurs primaires de la station d'épuration Est. Les points d'échantillonnage amont et aval des décanteurs semblent donc représentatifs respectivement de l'affluent et de l'effluent de ces ouvrages. Cependant, des différences importantes ont été constatées entre les concentrations en MES obtenues par l'échantillonnage spécifique pour la caractérisation des eaux et l'échantillonnage habituel réalisé pour les besoins d'opérations. Une vérification du mode d'échantillonnage et éventuellement du fonctionnement de l'échantillonneur pourrait donc se révéler utile.

La caractérisation des eaux effectuée à la station d'épuration Est a montré la dynamique journalière des charges et des débits. Les données de turbidité enregistrées en parallèle laissent supposer qu'une corrélation est possible entre la concentration en MES et la turbidité en entrée des décanteurs. Celle-ci doit cependant être adaptée selon la nature des particules. Il serait également intéressant d'effectuer ces essais de calibration en sortie des décanteurs primaires. Les résultats pourraient être plus concluants, car les particules sont plus homogènes à l'effluent.

La mise en place d'une stratégie de contrôle en temps réel nécessite encore de nombreuses expériences. Néanmoins, dans un premier temps, un asservissement du dosage couplé entre les données de turbidité et le débit entrant pourrait être une solution convenable.

Concernant les données issues de la sonde de turbidité, la méthode de filtrage par la médiane présentée dans cette étude permet d'obtenir des résultats satisfaisants. Cependant, elle nécessite d'exploiter les données a posteriori. Pour mettre en place un contrôle en temps réel, une autre méthode de filtrage utilisant l'Exponentially Weighted Moving Average [ref. 17] a été envisagée. Cette méthode est uniquement basée sur les données antérieures dont l'importance doit être déterminée. L'intégration de ce filtrage dans le logiciel d'enregistrement de données devrait permettre à l'exploitant de suivre l'évolution instantanée du paramètre.

Avec un protocole permettant d'assurer que les données enregistrées ne présentent plus de déviations évitables, la méthode décrite par Bertrand-Krajekski (2004) [ref. 2] pourrait être appliquée pour tenter d'obtenir une concentration en MES à partir de mesures de turbidité. Cependant, cette méthode n'a pas été testée en temps de pluie, des ajustements seront donc certainement nécessaires.

# Bibliographie

---

ref. 1 : AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**, édition 1992. ISBN 0-87553-207-1

ref. 2 : BERTRAND-KRAJEWSKI J.-L. **TSS concentration in sewers estimated from turbidity measurements by means of linear regression accounting for uncertainties in both variables**, Water Science & Technology, ©IWA Publishing 2004, Vol. 50, n°11, p. 81-88

ref. 3 : BERTRAND-KRAJEWSKI J.-L., HANNOUCH A., RUBAN G., JOANNIS C., CHEBBO G., RUBAN G., METADIER, LACOUR C. **Comment utiliser la turbidité pour estimer en continu les concentrations en MES et/ou DCO. Une approche méthodologique pour les réseaux d'assainissement**, Techniques Sciences Méthodes, 2010, n°1/2, p.36-46

ref. 4 : BRIDOUX G.A., VILLEROUX A., RIOTTE M., HUAN M.C. **Optimised Lamellae Settling process for runoff water treatment**, Water Science & Technology, 1998, Vol. 38, n°10, p.107-114

ref. 5 : CASSEL A., PERIS M., NEUPANE D., RIFFAT R., MURTHY S., BAILEY W. **Good for a rainy day (Changes in primary clarifier design and chemical dosing strategy optimize performance)**, Water Environment & Technology, décembre 2009, Vol. 21, n°12, p. 44-49

ref. 6 : DIRECTION DES POLITIQUES DU SECTEUR MUNICIPAL. **Politique sur l'élimination des neiges usées** [en ligne], Rapport du service de la gestion des résidus solides, 1996. 13p. [Consulté le 19/04/2010]  
<<http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/archives/eau/docdeposes/lesdocumdeposes/surf59.pdf>>

ref. 7 : ENVIRONNEMENT CANADA, section météo. **Archives des normales climatiques 1971-2000**. [en ligne]  
<[http://www.climat.meteo.gc.ca/climate\\_normals/](http://www.climat.meteo.gc.ca/climate_normals/)> [Consulté le 20/05/2010]

ref. 8 : FRAYSSE D. **Étude sur la réduction des charges retournées en tête de la station Est et sur la diminution de la dégradation des boues**, Rapport de stage, ISEME-Les Érablières, 2002. 18p.

ref. 9 : HARLE F. **Évaluation de l'impact de réservoirs de rétention sur les stations d'épuration de la ville de Québec et optimisation du traitement**, Rapport de TFE, ENGEES, 2006. 81p.

ref. 10 : JOANNIS C., RUBAN G., GROMAIRE M.-C., BERTRAND-KRAJEWSKI J.-L., CHEBBO G. **Reproducibility and uncertainty of wastewater turbidity measurements**, ©IWA Publishing 2008, Water Science & Technology, Vol. 57, n°10, p1667-1673

ref. 11 : LAJOIE A., COLLIN L. **Ajout d'alun et/ou de polymères à la décantation primaire de la station Est**, Rapport de la Ville de Québec, 26 août 2008. 54p.

ref. 12 : LAURIN M., MOREIRA J. **Évaluation des performances des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux pour l'année 2008 (ouvrage de surverse et stations d'épuration)** [en ligne], Rapport du MAMROT, mai 2009, 195p. [Consulté le 19/04/2010]  
<[http://www.mamrot.gouv.qc.ca/publications/infrastructures/eval\\_perform\\_rapport\\_2008.pdf](http://www.mamrot.gouv.qc.ca/publications/infrastructures/eval_perform_rapport_2008.pdf)>

ref. 13 : LECOMTE A. **La qualité du surnageant des épaisseurs de boues de la station Est et ses conséquences sur le fonctionnement de la station**, Rapport de TFE, ENGEES, 2000. 42p.

ref. 14 : MACHET P. **Station de traitement des eaux usées de Chamonix les Houches, Optimisation du traitement physico-chimique. Étude des décanteurs lamellaires**, Rapport de stage, ENGEES, 2005.

ref. 15 : MEDCALF&EDDY, INC. **Wastewater engineering, Treatment and reuse**, 4th edition, revised by TCHOBANOGLOUS G., BURTON F. L., STENSEL H. D., 2003, chapter 6-3 Chemical Precipitation for Improved Plant Performance, p.493-500. ISBN 0-07-112250-8

ref. 16 : MONETTE F., BRIERE F. G., LETOURNEAU M., DUCHESNE M., HAUSLER R. **Traitement des eaux usées par coagulation-floculation avec recirculation des boues chimiques : Influence des réactifs**, Canadian Journal of Civil Engineering, 2000, Vol. 27, p.719-734

ref. 17 : MONTGOMERY D.C., **Introduction to statistical quality control**, 4th edition, Library of congress, 2001, chapter 8-2 The Exponentially Weighted Moving Average control chart, ISBN 0-471-31648-2

ref. 18 : PUIG S., VAN LOOSDRECHT M.C.M., COLPRIM J., MEIJER S.C.F. **Data evaluation of full-scale wastewater treatment plants by mass balance**, Water Research, 2008, Vol. 42, p.4645-4655

ref. 19 : RIEGER L., VANROLLEGHEM P.A. **MonEAU: a platform for water quality monitoring networks**, Water Science & Technology, ©IWA Publishing 2008, Vol. 57, n°7, p. 1079-1086

ref. 20 : SADOWSKI A.G. **Cours traitement des eaux usées**, Tome 1, FI2A, École Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg, 2008. 109p.

ref. 21 : THOMANN M., RIEGER L., FROMMHOLD S., SIEGRIST H., GUJER W. **An efficient monitoring concept with control charts for on-line sensors**, Water Science & Technology, ©IWA Publishing 2002, Vol. 46, n° 4-5, p.107-116

ref. 22 : TROTTIER R. **Description des stations de traitement des eaux usées de la communauté urbaine de Québec**, Sciences et Techniques de l'Eau, revue publiée par l'Association québécoise des techniques de l'eau, mai 1988, Vol. 21, n°2, p. 177-184

ref. 23 : WOOD J., DHANVANTARI S., YANG M., ROCHFORT Q., CHESSE P., MARSALEK J., KOK S., SETO P. **Feasibility of stormwater treatment by conventional and lamellar settling with and without polymeric flocculant addition**, Water Quality Research Journal of Canada, 2004, Vol. 39, n° 4, p. 406-416

ref. 24 : WOOD J., HE C., ROCHFORT Q., MARSALEK J., SETO P., YANG M., CHESSE P. AND KOK S. **High-rate stormwater clarification with polymeric flocculant**, Water Science & Technology, © Environnement Canada 2005, Vol. 51, n°2, p.79-88

# Table des annexes

---

Annexe 1 : Réseaux et localisation des ouvrages .....	51
Annexe 2 : Plan d'intervention pour le bilan de masse .....	52
Annexe 3 : Essai d'échantillonnage des boues primaires .....	53
Annexe 4 : Correction des analyses incohérentes.....	56
Annexe 5 : Exemple de bilan de masse sur une journée .....	58
Annexe 6 : Calcul des charges journalières en entrée de station.....	59

# Annexe 1 : Réseaux et localisation des ouvrages

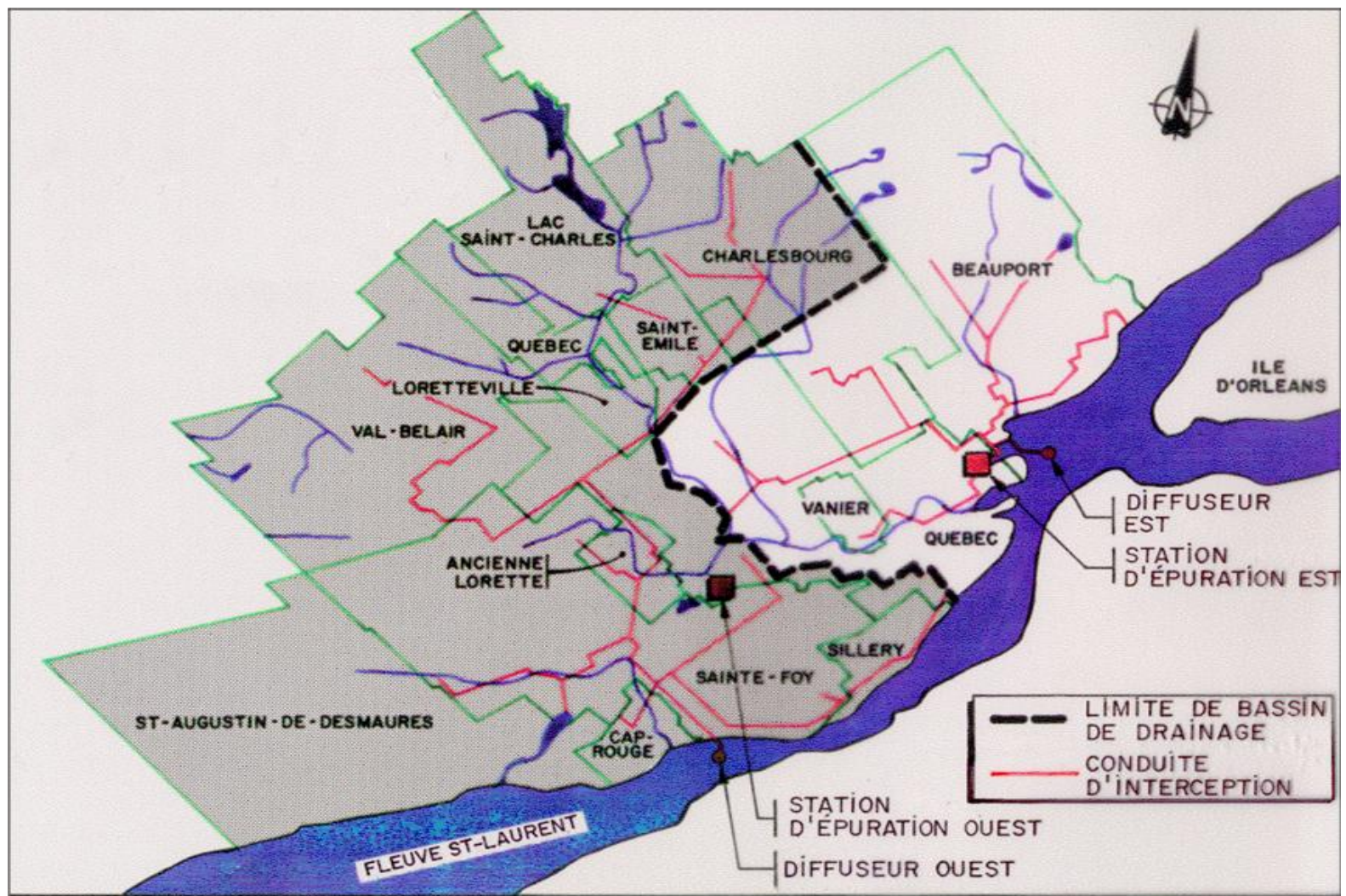
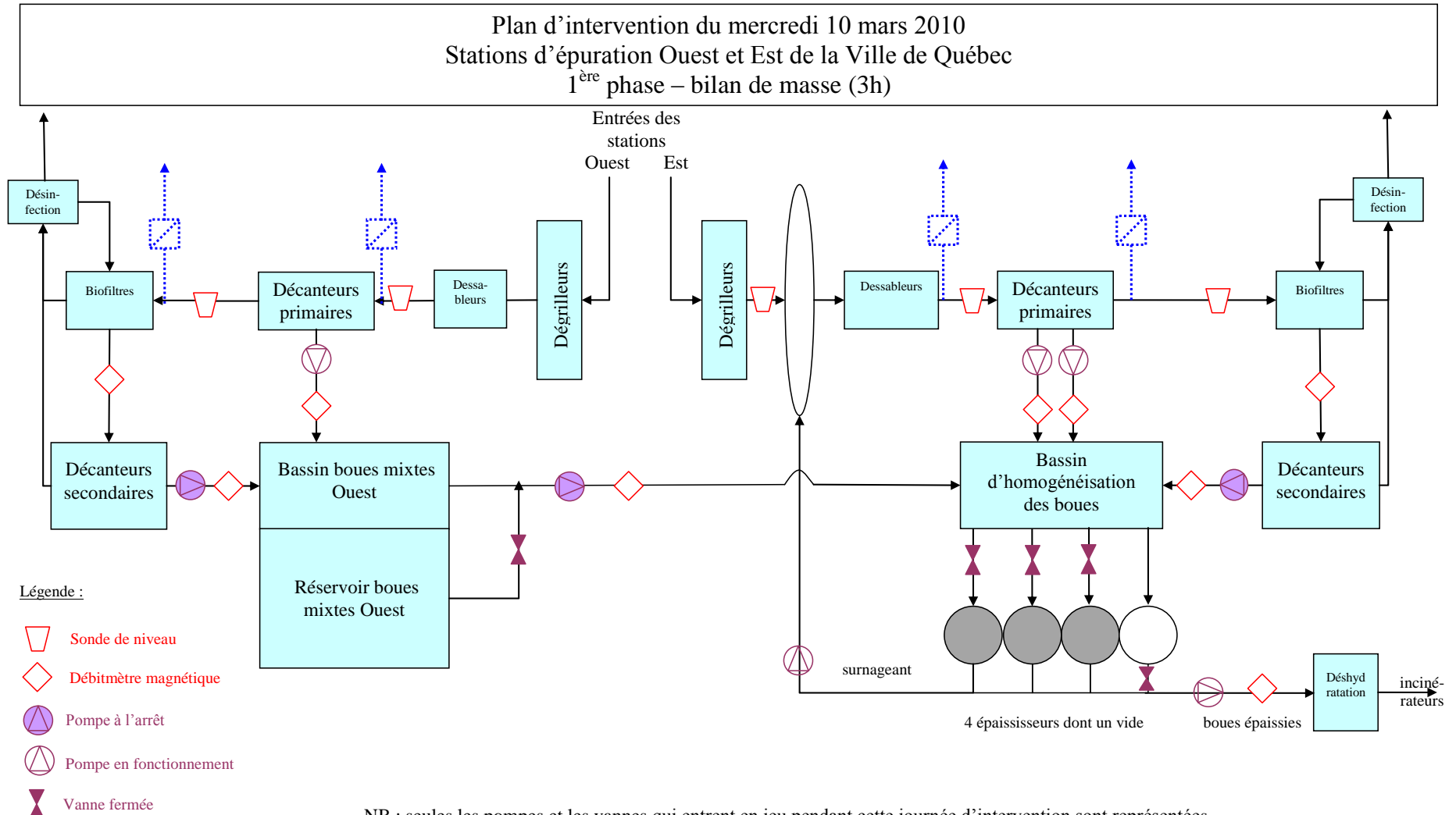


Figure A-1 : Schéma du réseau et localisation des stations d'épuration (source : Ville de Québec)

# Annexe 2 : Plan d'intervention pour le bilan de masse



**NB :** seules les pompes et les vannes qui entrent en jeu pendant cette journée d'intervention sont représentées

Figure A-2 : Schéma de l'organisation des stations d'épuration pour la phase bilan de masse



# Annexe 3 : Essai d'échantillonnage des boues primaires

Essai 1 réalisé le 27/02/2010 vers 14h30 (temps sec)

Essai 2 réalisé le 01/03/2010 vers 11h30 (début de la fonte des neiges)

L'échantillonnage des boues primaires est possible à la sortie des décanteurs, directement sur les conduites allant au bassin d'homogénéisation des boues (Figure A-3). Deux réseaux de conduites reliés respectivement aux décanteurs n°1, 2, 3 et n°4, 5, 6, 7 sont munis de vannes et de boyaux permettant le prélèvement.

Chaque décanteur est composé de deux fosses à boues. Les boues sont soutirées de chaque décanteur à tour de rôle pendant un cycle de 6 min. (3 min. par fosse). Les deux réseaux fonctionnent en alternance.

Dans l'optique de réaliser un bilan de masse autour des décanteurs primaires, nous avons tenté de déterminer une méthode pour obtenir en ce point un échantillon de boues représentatif de l'ensemble des décanteurs.

Au final, ce point d'échantillonnage n'a pas été utilisé pour le bilan de masse, mais il devra être à nouveau envisagé lorsque des tests seront effectués en période de fonctionnement normal de la station d'épuration.

## *Prélèvement :*

Pour évaluer l'évolution de la qualité des boues au cours du pompage, des prélèvements ont été effectués toutes les 30 sec pendant le cycle de soutirage d'un décanteur. À chaque prélèvement, une vidange du boyau est nécessaire. La fréquence de prélèvement étant ici élevée, la vanne est restée ouverte en continu pendant le cycle, ce qui n'est évidemment pas envisageable pour une période d'échantillonnage plus longue.

## *Analyse :*

Des analyses de MES et de MT ont été effectuées sur chaque échantillon.

Les boues primaires présentent des particules de taille importante. Pour essayer d'obtenir un échantillon homogène et ne pas boucher la pipette, nous avons dilué les prises. La dilution a été réalisée avec de l'eau potable pour minimiser la différence de pression osmotique (NB : il aurait été préférable d'utiliser l'effluent de sortie, préalablement filtrée pour ne pas modifier la charge en MES des boues).



Figure A-3 : Conduites de boues primaires

Modes de dilution :

- En volume : Environ 20 mL de boues sont prélevés après agitation dans une éprouvette graduée. Celle-ci est alors complétée avec de l'eau potable pour obtenir une dilution à 1/10. 20 mL de la solution diluée sont alors prélevés à l'aide d'une pipette et déposés sur le filtre.
- En masse : Environ 10 g de boues sont prélevés après agitation dans un flacon. On y introduit ensuite de l'eau potable pour obtenir une dilution d'environ 1/10, le facteur de dilution réel est calculé à partir des masses relevées à chaque étape. 20 mL de la solution diluée sont alors prélevés à l'aide d'une pipette et déposés sur le filtre. (NB : pour le calcul, on considère que la masse volumique des boues est égale à celle de l'eau).

Les dilutions impliquent de nombreuses manipulations supplémentaires qui augmentent le risque d'erreur. On observe dans la Table A-1 que les valeurs obtenues par les deux modes de dilution présentent des différences importantes, jusqu'à 17%.

Au final, pour les analyses des boues échantillonnées lors de l'intervention du 10 mars, il a été décidé de ne pas utiliser de dilution.

Table A-1 : Évolution de la concentration en MES des boues primaires

point d'échantillonnage	temps	MES essai 1 dilution volume (g/L)	MES essai 2 dilution volume (g/L)	MES essai 2 dilution masse (g/L)	différence entre les modes de dilutions	
boues primaires 30"	00:30	16.06	12.95	12.04	-0.91	-7%
boues primaires 1'00"	01:00	19.12	15.40	16.12	0.72	5%
boues primaires 1'30"	01:30	19.24	17.30	17.34	0.04	0%
boues primaires 2'00"	02:00	20.80	14.35	14.13	-0.22	-2%
boues primaires 2'30"	02:30	20.07	13.30	11.24	-2.06	-17%
boues primaires 3'00"	03:00	18.34	12.95	12.01	-0.94	-8%
boues primaires 3'30"	03:30	14.18	5.90	6.05	0.15	3%
boues primaires 4'00"	04:00	16.02	6.85	6.35	-0.50	-8%
boues primaires 4'30"	04:30	24.27	15.95	13.78	-2.17	-15%
boues primaires 5'00"	05:00	22.47	15.35	13.13	-2.22	-16%
boues primaires 5'30"	05:30	24.27	12.00	10.98	-1.02	-9%
boues primaires 6'00"	06:00	16.14	11.55	13.03	1.48	12%
<b>moyenne</b>		<b>19.25</b>	<b>12.82</b>	<b>12.18</b>		

À chaque essai, un composé proportionnel au temps a été réalisé avec les 12 échantillons :

- Pour l'essai 1, on obtient 17.98 g/L sur l'échantillon brut et 16.20 g/L sur l'échantillon dilué i.e. une différence de 7%. Ce qui fait une moyenne de **17.09 g/L** à comparer avec les 19.25 g/L obtenus par la moyenne des valeurs du tableau ci-dessus.  
En MT, on obtient une valeur de **18.43 g/L**.
- Pour l'essai 2, on obtient 11.45 g/L pour la dilution en volume (différence de 7% entre les 3 réplicats) et 12.20 g/L pour la dilution en masse (différence de 6% entre les 3 réplicats). Ce qui donne une moyenne de **11.83 g/L** à comparer à 12.50 g/L (moyenne de 12.82 g/L et 12.18 g/L).  
En MT, on obtient une valeur de **13.37 g/L**.

Les valeurs plus faibles du second essai sont probablement dues au début la fonte des neiges.

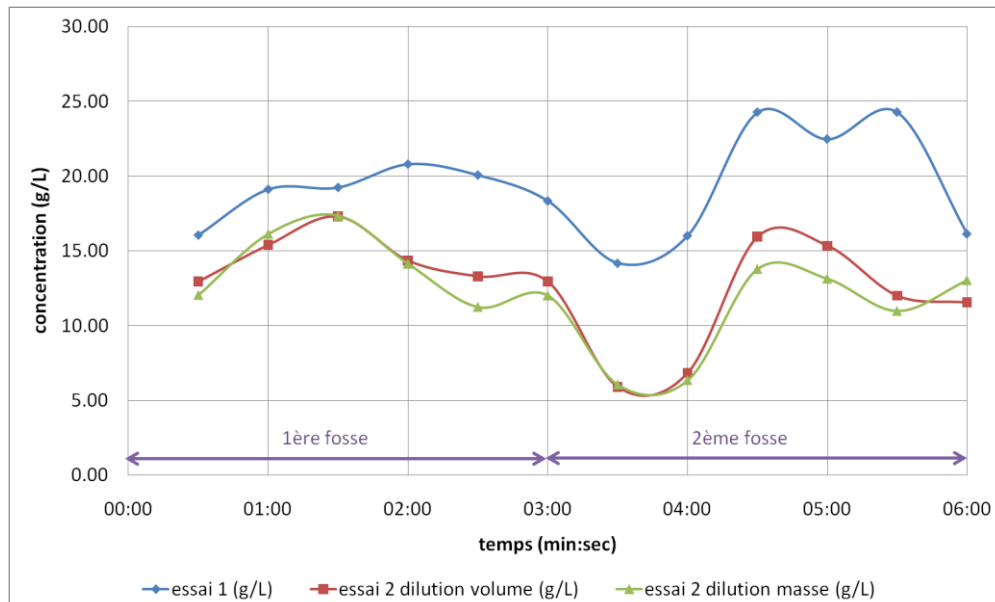


Figure A-4 : Variation de la concentration en MES des boues primaires lors du soutirage sur un décanteur

La Figure A-4 représente les données de la Table A-1, on observe qu'au cours d'un cycle de soutirage, la concentration en MES augmente au début du pompage et diminue à la fin, ceci, à chaque changement de fosse. Ces variations sont à prendre en compte pour obtenir un échantillonnage représentatif à ce point de la station.

### Conclusions

Pour les analyses, il semble qu'au final, la dilution ne soit pas bénéfique. En effet, même si les boues non diluées sont moins faciles à manipuler (la présence de grosses particules peut boucher la pipette, obligeant à recommencer l'opération), le gain de temps espéré par la dilution n'est pas certain et les manipulations supplémentaires augmentent le risque d'erreur.

Concernant l'échantillonnage, il semble difficile d'obtenir un échantillon représentatif des boues primaires de tous les décanteurs. Plusieurs paramètres (mode d'ouverture des vannes, nombre d'échantillonnage nécessaire par cycle...) sont encore à déterminer. Pour un échantillonnage ponctuel de durée raisonnable, l'utilisation d'un bac de mélange avec un temps de rétention suffisant peut être envisagée, mais cette solution ne peut pas être mise en œuvre sur du long terme.

Au début de l'année 2010, des densimètres micro-ondes ont été installés à la sortie des épaisseurs. Les résultats obtenus montrent une bonne corrélation entre le signal récupéré et la siccité réelle des boues. L'installation d'un équipement de ce genre permettrait de s'affranchir des risques d'erreur liée à l'échantillonnage. De plus, le suivi de la qualité des boues pourrait se faire en continu et permettrait ainsi d'établir un bilan de masse plus précis.

# Annexe 4 : Correction des analyses incohérentes

Les résultats de MES obtenus par l'analyse du mercredi 10 mars 2010 montrent une augmentation graduelle des concentrations à l'entrée. La valeur élevée pour la première bouteille prise à l'entrée est probablement due à l'encrassement de la crépine de l'échantillonneur dont le dernier nettoyage date de la veille. Elle ne sera pas utilisée. À la sortie, on observe également une augmentation graduelle, sauf pour six bouteilles qui ont donné des valeurs plus faibles (Table A-2 et Figure A-5 (a)).

**Table A-2 : Résultats des analyses effectuées sur l'affluent et l'effluent de la décantation primaire**

		Valeurs brutes		Valeurs corrigées	
		Entrée (mg/L)	Sortie (mg/L)	Entrée (mg/L)	Sortie (mg/L)
1	8h30-35	223	45	N/A	45
2	8h40-45	87	41	87	41
3	8h50-55	94	43	94	43
4	9h00-05	101	45	101	45
5	9h10-15	110	51	110	51
6	9h20-25	108	51	108	51
7	9h30-35	113	54	113	54
8	9h40-45	125	53	125	53
9	9h50-55	118	26	118	61
10	10h00-05	129	27	129	62
11	10h10-15	128	29	128	61
12	10h20-25	130	32	130	66
13	10h30-35	124	34	124	66
14	10h40-45	131	31	131	65
15	10h50-55	133	61	133	61
16	11h00-05	129	62	129	62
17	11h10-15	133	60	133	60
18	11h20-25	140	60	140	60

Pour vérifier les six valeurs de concentration qui semblaient anormalement faibles, de nouvelles filtrations ont été effectuées vendredi 12 mars (soit 2 jours après la prise d'échantillons). Les valeurs étant différentes des premières, une dernière analyse a été faite lundi 15 mars (5 jours après l'échantillonnage). Le volume d'échantillon restant a également été noté. Le protocole d'analyse de MES précise que les échantillons peuvent être conservés 7 jours. On obtient les résultats suivants :

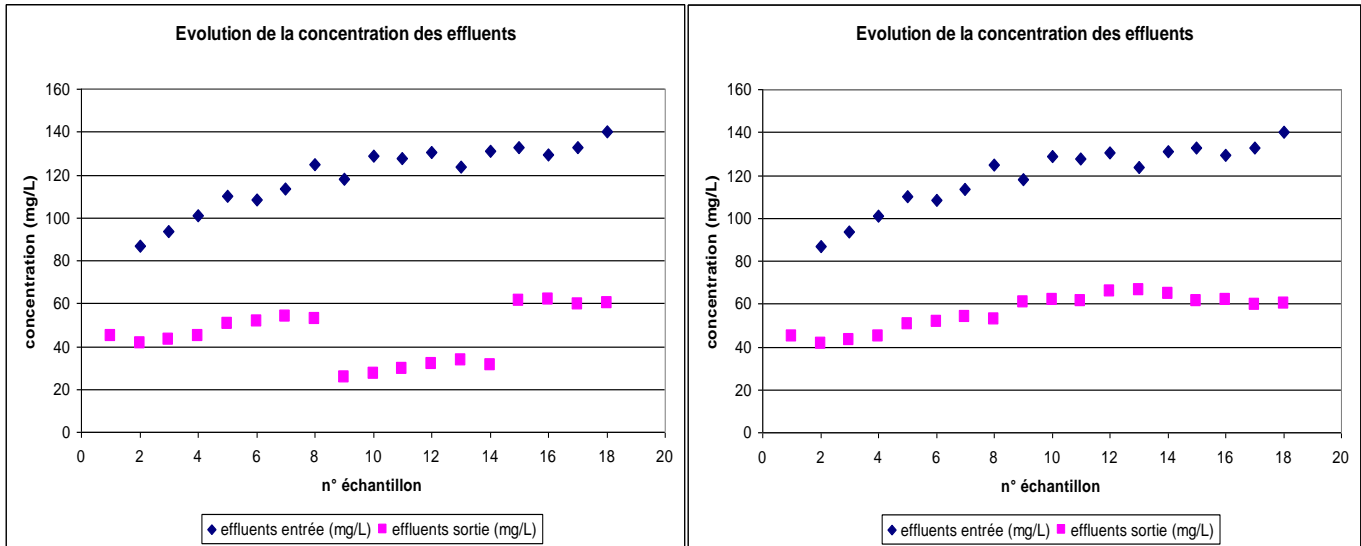
**Table A-3 : Résultats des analyses de vérification**

N° échantillon	heure	vendredi 12 mars MES (mg/L)	lundi 15 mars MES (mg/L)
S09	9h50-55	72	74
S10	10h00-05	73	75
S11	10h10-15	72	74
S12	10h20-25	80	81
S13	10h30-35	78	80
S14	10h40-45	79	81

Les analyses effectuées le vendredi 12 et le lundi 15 mars donnent des valeurs similaires entre elles et très différentes des valeurs obtenues par les analyses du mercredi 10 mars. Il semble donc que lors des premières analyses, les échantillons n'étaient pas bien homogènes, ce qui peut s'expliquer par le changement de manipulateur. Nous étions en effet deux à effectuer les analyses.

Pour assurer la fiabilité des analyses de vérification, le lundi 15 mars, les échantillons n°7, 8 et 15, 16 ont également été analysés. Les résultats ont montré une différence aléatoire avec un écart moyen de 6% avec les valeurs obtenues le mercredi 10 mars. Cette différence est acceptable considérant la déviation standard constatée par la méthode standard [ref. 1] de 2.8 mg/L, ce qui représente environ 4% de différence, les eaux analysées en sortie étant en moyenne à 65 mg/L.

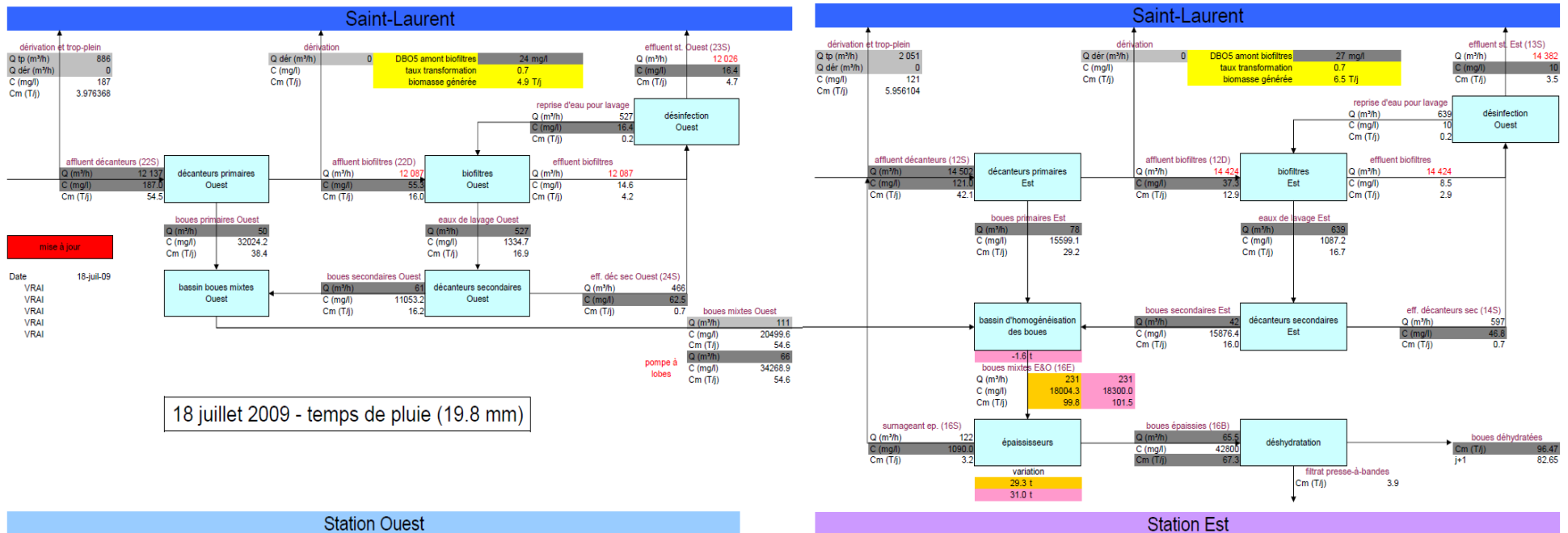
La correction utilisée est une moyenne des trois analyses pondérée par le volume estimé d'échantillons utilisés par chaque analyse. Les nouveaux résultats, donnés dans la Table A-2, s'insèrent dans l'évolution constatée auparavant (Figure A-5 (b)) et semblent donc cohérents.



(a) : résultats bruts  
 (b) : résultats corrigés

Figure A-5 : Évolution de la concentration des effluents

# Annexe 5 : Exemple de bilan de masse sur une journée



Les valeurs grisées sont des données issues de mesures, les valeurs blanches sont calculées.

D'après les débits et les concentrations, il devrait théoriquement se produire une accumulation de charge de 31 tonnes dans les épaisseurs pour la journée du 18 juillet 2009. Or, cette accumulation n'est pas observée dans la pratique.

# Annexe 6 : Calcul des charges journalières en entrée de station

Sur les journées d'échantillonnage du 17, 21 et 27 avril, nous disposons de résultats à plusieurs points de l'entrée de la station d'épuration Est (Figure A-7).

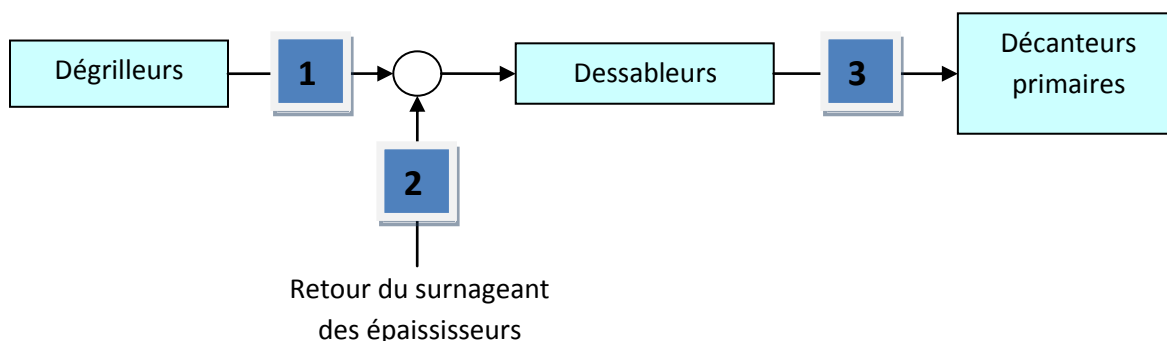


Figure A-7 : Position des points d'échantillonnage à l'entrée de la station Est

Point d'éch.	Observations
<b>1</b>	<p>L'échantillonnage à l'aval des dégrilleurs est réalisé par un échantillonneur automatique, asservi au temps, un prélèvement toutes les 6 min. est effectué pour un composé 1h. Une analyse de MES est réalisée sur chacune des 24 bouteilles.</p> <p>On utilise ici le débit mesuré à l'aval des canaux de grilles pour le calcul des charges horaires entrant aux dégrilleurs.</p>
<b>2</b>	<p>Le retour des surnageants des épaisseurs est prélevé par un échantillonneur automatique asservi au débit, réalisant un composé 24h. L'analyse de MES est effectuée par un laboratoire accrédité, on obtient une concentration journalière en MES.</p> <p>Le débit des surnageants, calculé à partir des débits de boues entrant et sortant des épaisseurs, est utilisé pour calculer la charge apportée par ces retours.</p>
<b>3</b>	<p>L'échantillonnage à l'amont des décanteurs est réalisé par un échantillonneur automatique, asservi au temps, un prélèvement toutes les 6min est effectué pour un composé 1h. Une analyse de MES est réalisée sur chacune des 24 bouteilles.</p> <p>Le débit considéré ici est la somme des débits des dégrilleurs et des surnageants des épaisseurs. On obtient la charge à l'amont des décanteurs, prenant en compte la charge éventuellement dérivée vers l'effluent de la station en temps de pluie.</p>

Les résultats des calculs de charge, au pas de temps horaire, sont présentés dans la Table A-4. On notera que les charges apportées par les retours des laveurs de sables et d'écumes sont négligées. En faisant un bilan de masse sur ce système, on devrait obtenir l'accumulation théorique de charges au niveau des dessableurs :

$$Charge_{dessableurs} = Charge_{dégrilleurs} + Charge_{surnageant} - Charge_{décanteurs}$$

Par ce calcul, il ressort que les dessableurs auraient dû retenir :

- 7,9 tonnes le 17 avril 2010
- 11 tonnes le 21 avril 2010
- 6,3 tonnes le 27 avril 2010

Ces valeurs sont très élevées, comparées aux poids de sables évacués, qui sont évalués à partir des bons de commande des transporteurs. Ainsi, entre le 16 et le 19 avril 2010, 8.05 tonnes de sables ont été acheminées aux sites d'enfouissements et entre le 19 et le 27 avril 2010, il s'agissait de 7.55 tonnes. Ceci représente en moyenne 1.4 tonne de sables évacuées par jour. De plus, pour l'évacuation, la pesée se fait sur des sables humides, tandis que le calcul de charge théorique donne des charges en matière sèche ce qui creuse encore l'écart observé.

On en conclut que les données utilisées ne permettent pas d'équilibrer un bilan de masse sur l'entrée de la station Est. Il est probable que l'échantillonnage à l'aval des dégrilleurs soit en cause. Il est en effet difficile d'obtenir un échantillon représentatif et homogène à ce niveau.



Table A-4 : Calcul des charges journalières entrant à la station Est

Charge (kg/h) heure	17-avr-10			21-avr-10			27-avr-10		
	aval dégrilleurs	surnageant épaisseurs	amont décanteurs	aval dégrilleurs	surnageant épaisseurs	amont décanteurs	aval dégrilleurs	surnageant épaisseurs	amont décanteurs
0 h 00	1129	201	1176	1077	178	1171	1115	228	1284
1 h 00	1317	217	1119	1510	177	1051	921	231	1091
2 h 00	1100	182	893	992	175	722	746	231	932
3 h 00	789	205	736	740	178	671	673	231	742
4 h 00	642	210	754	510	179	681	594	220	866
5 h 00	646	156	695	364	173	689	560	230	751
6 h 00	543	213	691	423	189	615	756	231	907
7 h 00	579	235	917	682	203	933	1100	232	1156
8 h 00	2306	229	1547	1476	204	1298	1393	231	1331
9 h 00	8110	235	5835	2270	225	1727	2421	231	1700
10 h 00	6837	233	5587	3199	232	1904	2321	228	1991
11 h 00	7874	214	6868	3437	233	2233	2129	225	1877
12 h 00	4943	201	5697	1992	232	1717	2411	225	1938
13 h 00	3663	186	5051	2299	232	1858	2540	224	2133
14 h 00	4545	184	4570	2107	215	1659	3091	222	2529
15 h 00	3407	182	3891	1472	205	1420	2917	223	2573
16 h 00	2924	186	2520	1574	204	1201	2249	224	1933
17 h 00	2169	187	2185	1678	194	1373	2037	224	2016
18 h 00	1554	187	1631	1893	196	1226	2478	223	2760
19 h 00	1388	188	1343	1604	208	1533	2811	223	2651
20 h 00	1737	187	2175	1677	172	1699	2252	223	2506
21 h 00	1555	186	1524	1783	177	1544	1995	224	2276
22 h 00	1580	187	1541	1600	155	1480	1586	224	2028
23 h 00	2083	187	1310	1595	185	1272	1413	194	1623
<b>charge totale (t/j)</b>	<b>63.4</b>	<b>4.8</b>	<b>60.3</b>	<b>38.0</b>	<b>4.7</b>	<b>31.7</b>	<b>42.5</b>	<b>5.4</b>	<b>41.6</b>

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

**Diplôme(s)** : Ingénieur ENGEES

**Spécialité** : Gestion Durable des Eaux en Milieu Urbain

**Auteur** : Sovanna TIK

**Année** : 2010

**Titre :**

Optimisation des unités de décantation primaire des stations d'épuration  
de la Ville de Québec

**Nombre de pages** texte : 47                      annexes : 11

**Nombre de références bibliographiques** : 24

**Structure d'accueil** : Université Laval, Québec, Canada  
et Service de traitement des eaux usées de la Ville de Québec

**Maîtres de stage** : Paul Lessard et Peter Vanrolleghem

### Résumé

Les stations d'épuration de la Ville de Québec, datant de 1992, peinent à rencontrer les exigences gouvernementales en termes de rejet. Il a donc été décidé d'améliorer la décantation primaire par ajout d'alun et de polymère.

Cette étude vise la mise en place d'un système de dosage. Après avoir validé les données opérationnelles de débits et de charges, une caractérisation des eaux a été effectuée pour identifier les périodes où l'injection sera la plus bénéfique. Des essais ont enfin été réalisés pour évaluer la possibilité d'une stratégie de contrôle en temps réel basée sur des mesures de turbidité.

### Mots-clés

Décantation primaire, décanteur lamellaire, bilan de masse, traitement de données, turbidité, calibration, contrôle en temps réel.