

# Suivi de la performance environnementale du système d'élevage en recirculation intensive de l'eau de la pisciculture Taste of BC Aquafarms

Dominic Marcotte, Joy Wade, et Amanda Bibby

Pêches et Océans Canada  
Direction des sciences de l'aquaculture, de la biotechnologie  
et santé des animaux aquatiques  
200 rue Kent  
Ottawa, Ontario  
Canada K1A 0E6

2023

**Rapport technique canadien des  
sciences halieutiques et aquatiques 3247**

## **Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques**

Les rapports techniques contiennent des renseignements scientifiques et techniques qui constituent une contribution aux connaissances actuelles, mais qui ne sont pas normalement appropriés pour la publication dans un journal scientifique. Les rapports techniques sont destinés essentiellement à un public international et ils sont distribués à cet échelon. Il n'y a aucune restriction quant au sujet; de fait, la série reflète la vaste gamme des intérêts et des politiques de Pêches et Océans Canada, c'est-à-dire les sciences halieutiques et aquatiques.

Les rapports techniques peuvent être cités comme des publications à part entière. Le titre exact figure au-dessus du résumé de chaque rapport. Les rapports techniques sont résumés dans la base de données *Résumés des sciences aquatiques et halieutiques*.

Les rapports techniques sont produits à l'échelon régional, mais numérotés à l'échelon national. Les demandes de rapports seront satisfaites par l'établissement auteur dont le nom figure sur la couverture et la page du titre.

Les numéros 1 à 456 de cette série ont été publiés à titre de Rapports techniques de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada. Les numéros 457 à 714 sont parus à titre de Rapports techniques de la Direction générale de la recherche et du développement, Service des pêches et de la mer, ministère de l'Environnement. Les numéros 715 à 924 ont été publiés à titre de Rapports techniques du Service des pêches et de la mer, ministère des Pêches et de l'Environnement. Le nom actuel de la série a été établi lors de la parution du numéro 925.

## **Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences**

Technical reports contain scientific and technical information that contributes to existing knowledge but which is not normally appropriate for primary literature. Technical reports are directed primarily toward a worldwide audience and have an international distribution. No restriction is placed on subject matter and the series reflects the broad interests and policies of Fisheries and Oceans Canada, namely, fisheries and aquatic sciences.

Technical reports may be cited as full publications. The correct citation appears above the abstract of each report. Each report is abstracted in the data base *Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts*.

Technical reports are produced regionally but are numbered nationally. Requests for individual reports will be filled by the issuing establishment listed on the front cover and title page.

Numbers 1-456 in this series were issued as Technical Reports of the Fisheries Research Board of Canada. Numbers 457-714 were issued as Department of the Environment, Fisheries and Marine Service, Research and Development Directorate Technical Reports. Numbers 715-924 were issued as Department of Fisheries and Environment, Fisheries and Marine Service Technical Reports. The current series name was changed with report number 925.

Rapport technique canadien des sciences  
halieutiques et aquatiques 3247

2023

**Suivi de la performance environnementale du système d'élevage en recirculation  
intensive de l'eau de la pisciculture Taste of BC Aquafarms**

par

Dominic Marcotte<sup>2</sup>, Joy Wade<sup>1</sup>, et Amanda Bibby<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Pêches et Océans Canada  
Direction des sciences de l'aquaculture, de la biotechnologie et  
santé des animaux aquatiques  
200 rue Kent  
Ottawa, Ontario  
Canada K1A 0E6

<sup>2</sup>Direction régionale de l'Estuaire et des eaux intérieures  
Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation  
200, chemin Sainte-Foy, 11e étage  
Québec (Québec)  
Canada G1R 4X6

<sup>3</sup>Taste of BC Aquafarms inc.  
2930, rue Jameson  
Nanaimo, Columbia-Britannique  
Canada V9R 6W8

© Sa Majesté le Roi du Chef du Canada, représenté par le ministre du ministère des  
Pêches et des Océans, 2023

N° de cat. Fs97-6/3247F-PDF      ISBN 978-0-660-24450-1      ISSN 1488-545X

On doit citer la publication comme suit :

Marcotte D., Wade, J., et Bibby, A. 2023. Suivi de la performance environnementale du système d'élevage en recirculation intensive de l'eau de la pisciculture Taste of BC Aquafarms. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 3247: v + 26 p.

## TABLE DES MATIÈRES

|   |    |
|---|----|
| LISTE DES TABLEAUX.....   | iv |
| LISTE DES FIGURES.....  | iv |
| RÉSUMÉ .....  | v  |
| ABSTRACT.....   | v  |
| INTRODUCTION.....   | 1  |
| OBJECTIF DU PROJET.....   | 2  |
| REMERCIEMENTS.....  | 2  |
| MÉTHODOLOGIE.....   | 3  |
| Caractéristiques de la pisciculture.....  | 3  |
| Points de mesure et méthode d'échantillonnage.....  | 4  |
| Débits d'eau.....   | 5  |
| Données de production.....  | 5  |
| Analyses de la moulée.....  | 6  |
| Calculs des efficacités.....  | 6  |
| RÉSULTATS et ANALYSE.....   | 8  |
| Débits.....   | 8  |
| Concentrations mesurées.....  | 9  |
| Moulée et production.....   | 11 |
| Charges calculées.....  | 12 |
| Calcul des efficacités de récupération du système d'élevage.....  | 14 |
| CONCLUSION.....   | 20 |
| BIBLIOGRAPHIE.....  | 22 |
| ANNEXE I: Diagramme du principe du système d'élevage et localisation des points<br>d'échantillonnage..... | 24 |
| ANNEXE II: Paramètres de mesure pour le calcul des bilans de masse.....                                   | 25 |
| ANNEXE III: Résultats des concentrations déterminées en laboratoire.....                                  | 26 |

## LISTE DES TABLEAUX

|   |    |
|---|----|
| Tableau 1 : Débits d'eau mesurés. ....  | 9  |
| Tableau 2 : Analyses des mouées utilisées. ....   | 11 |
| Tableau 3 : Données de production. ....   | 12 |
| Tableau 4 : Impacts théoriques sur les bilans d'efficacité de récupération du phosphore total. ....   | 16 |
| Tableau 5 : Caractéristiques de l'eau à traiter en combinant les 2 effluents. ....  | 20 |
| Tableau 6 : Concentrations de phosphore total (TP), de solides totaux (TS), de solides en suspension (SS), de phosphore dissous total (TDP) et d'orthophosphates (Ortho) tirées des échantillons d'eau (n.m = non mesuré). .... | 26 |

## LISTE DES FIGURES

|   |    |
|---|----|
| Figure 1 : Charges calculées moyennes par période d'échantillonnage pour le phosphore total (PT) – avec écart-type. ....  | 13 |
| Figure 2 : Charges calculées moyennes par période d'échantillonnage pour les solides totaux (ST) – avec écart-type. ....  | 13 |
| Figure 3.1 : Charges calculées moyennes par période d'échantillonnage pour les matières en suspension (MES) – avec écart-type. Pour les points de mesure A et E. .... | 14 |
| Figure 4 : Efficacités de récupération déterminées pour le phosphore total (PT) – avec écart-type. ....   | 17 |
| Figure 5 : Efficacités de récupération déterminées pour les solides totaux (ST) – avec écart-type. ....   | 17 |
| Figure 6 : Efficacités de récupération déterminées pour les matières en suspension (MES) – avec écart-type. ....  | 18 |
| Figure 7 : Pour le phosphore total, comparaison entre les résultats de l'efficacité de récupération n° 1 et les charges manquantes pour fermer le bilan. ....         | 18 |

## RÉSUMÉ

Marcotte D., Wade, J., et Bibby, A. 2023. Suivi de la performance environnementale du système d'élevage en recirculation intensive de l'eau de la pisciculture Taste of BC Aquafarms. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 3247: v + 26 p.

L'efficacité environnementale du système d'élevage de truite arc-en-ciel en recirculation intensive de l'eau douce de la pisciculture Taste of BC, en Colombie-Britannique, a été mesurée en 2016. Quinze périodes d'échantillonnage, d'une durée de 24 heures chacune, ont été effectuées afin de mesurer tous les intrants et les extrants au système d'élevage, et cela pour le phosphore total, les matières en suspension et les matières totales.

Les charges de rejets larguées par les poissons additionnées à celles introduites par les eaux neuves ont été comparées à celles mesurées dans les 2 effluents du système d'élevage. L'efficacité de récupération moyenne était 83 % pour le phosphore total. Pour le phosphore total, l'efficacité globale de récupération de l'entreprise pourrait varier de 63 % à 79 % si elle utilisait les techniques en opération au Québec. Dans cette situation, l'efficacité de récupération globale serait supérieure de 40 % qui est reconnue par les intervenants gouvernementaux de différents ministères du Québec.

La pisciculture Taste of BC représente le modèle de système en recirculation intensive de l'eau douce que l'industrie piscicole québécoise désire développer. Les mesures d'efficacité environnementale permettront de définir l'impact de ces systèmes et de faciliter leur implantation.

## ABSTRACT

Marcotte D., Wade, J., et Bibby, A. 2023. Suivi de la performance environnementale du système d'élevage en recirculation intensive de l'eau de la pisciculture Taste of BC Aquafarms. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 3247: v + 26 p.

The environmental effectiveness of the intensive freshwater recirculating rearing system for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) used by the Taste of BC fish farm in Nanaimo, British Columbia, was measured in 2016. Total phosphorus, suspended solids and total solids for all inputs and outputs were measured using 15 24-hour sampling periods, at the same time as fish production.

The amounts of waste excreted by fish was added to the waste introduced by new water. This was compared to the amounts measured in the two effluents in the growing system. Average recovery efficiency was 83% for total phosphorus. For total phosphorus, the total recovery efficiency for the facility could have varied between 63-79% if it used the techniques currently being used in Quebec. Global efficiency would then be superior to the 40% currently required by Quebec ministries for current non-intensive recirculation systems.

Taste of BC fish farm accurately represents the intensive recirculating system that the Quebec fish farming industry wishes to develop. Measuring the environmental effectiveness will provide evidence to determine their environmental impact and facilitate their establishment in the province.

## INTRODUCTION

L'utilisation de la recirculation de l'eau en pisciculture est une technologie émergente qui soulève un intérêt partout sur la planète. Son utilisation de façon intensive permet de produire des poissons avec très peu d'eau neuve tout en optimisant les paramètres de production et en assurant les meilleures conditions de biosécurité. La recirculation peut être classifiée selon différents niveaux d'intensité, en lien avec l'utilisation de l'eau neuve (Heldbo et coll., 2014).

- 1) Recirculation modérée : le volume d'eau neuve utilisé permet plusieurs renouvellements du volume d'élevage durant la journée dans l'objectif de ne pas utiliser la biofiltration.
- 2) La recirculation partielle : elle est caractérisée par l'addition d'un biofiltre dans le système de traitement des eaux d'élevage. Cela permet de diminuer le débit d'eau neuve à un niveau permettant le renouvellement du volume d'élevage à environ tous les 1 à 2 jours.
- 3) Recirculation intensive : avec une utilisation minimale de l'eau neuve, représente la situation la plus intensive avec un renouvellement se réalisant tous les 3 jours et plus. Cette situation requiert l'ajout de systèmes de traitement des eaux d'élevage plus évolués, tels que l'utilisation de l'ozone pour maintenir la meilleure qualité d'eau d'élevage possible. La réduction du débit d'eau neuve entraîne une intensification de la recirculation des eaux d'élevage, ce qui implique des infrastructures plus importantes pour le traitement de celle-ci.

Selon le modèle piscicole québécois, le développement de cette industrie piscicole en eau douce est actuellement relié à l'utilisation de grand débit d'eau neuve de qualité, mais plus particulièrement à la possibilité de retourner ces eaux, et le phosphore qu'elles contiennent, dans un milieu récepteur permettant leur réception. Cela limite le potentiel de développement de plusieurs régions et sites de production. La technologie de la recirculation est peu utilisée au Québec. Moins d'une dizaine de systèmes en recirculation sont en opération pour l'élevage de salmonidé (données internes du MAPAQ). Parmi ces compagnies, 3 sont considérées utiliser la recirculation partielle en lien avec l'aménagement de biofiltres dans leurs unités d'alevinage. Certaines autres piscicultures appliquent le modèle de la réutilisation modérée en réutilisant plus d'une fois leur eau d'élevage et cela sans requérir à la biofiltration.

En raison de l'absence de piscicultures au Québec utilisant la recirculation intensive de l'eau sur l'ensemble de leur cycle de production, il est actuellement difficile d'y faire une démonstration de l'efficacité environnementale de ces systèmes. Il s'avère donc ardu de fournir aux intervenants provinciaux les informations requises confirmant les avantages environnementaux de ces systèmes de production. Le manque de données réelles sur l'efficacité de ces systèmes à générer des effluents contenant une faible charge de phosphore freine son utilisation au Québec. En comparaison avec des études qui ont mesuré la qualité de l'eau d'élevage à l'intérieur des systèmes d'élevage (ex. : Davidson et coll., 2011 et 2016), peu de données sont disponibles sur un bilan complet du phosphore total rejeté aux effluents d'un système réel de production en recirculation pour de la truite arc-en-ciel (ou autres salmonidés) élevée en eau douce. En général, Martins et coll. (2010) explique que les systèmes en recirculation intensive de l'eau sont en mesure d'atteindre des efficacités de récupération du phosphore de l'ordre de 65 à 96 % pour le système d'élevage uniquement. En d'autres mots, cela permet d'acheminer de 65 à 96 % de tout le phosphore largué par les poissons, dans l'eau d'élevage de la pisciculture, vers le système de traitement ou d'accumulation des fumiers

de l'entreprise. Pour établir l'efficacité globale de récupération d'un site aquacole, il est requis de considérer l'efficacité du système de traitement utilisé pour gérer et accumuler ces fumiers.

Ce système de traitement des fumiers peut varier d'un site à l'autre selon les contraintes environnementales. Selon Timmons et Ebeling (2010), ce traitement peut être réalisé via les principes de la sédimentation ou de la filtration avec ou sans ajout d'aides coagulants. Une valorisation directe comme le compostage est aussi possible. Au Québec, les entreprises en recirculation modérée de l'eau utilisent majoritairement un système de traitement des fumiers composé de 3 équipements : un concentrateur permettant la réduction du volume des fumiers, un bassin d'accumulation de ces fumiers concentrés et un traitement à la chaux hydratée. Malgré l'utilisation d'une étape de réduction du volume des fumiers, il y a toujours présence d'un surnageant (trop-plein) dans ces bassins d'accumulation. La chaux est alors utilisée pour réduire la charge en phosphore présente dans ce trop-plein (Gagnon, 2014). Il est considéré que l'efficacité de récupération du phosphore total de ce système de traitement est de 76 % (MAPAQ, 2009). En combinant les valeurs précédentes de Martins et coll. (2010) sur l'efficacité de récupération du système d'élevage avec cette dernière valeur de 76 % pour le traitement des fumiers, l'efficacité globale d'un site aquacole en recirculation intensive de l'eau pourrait être de l'ordre de 49 à 73 %.

Ces valeurs d'efficacité sont supérieures à l'efficacité globale (système d'élevage et traitement des effluents) de 40 % actuellement reconnue au Québec pour les systèmes sans recirculation intensive présentement utilisés (MDDELCC, 2017). En fonction de ces informations, il a été proposé de mesurer l'efficacité environnementale de la Pisciculture Taste of BC, située à Nanaimo en Colombie-Britannique, durant leur production réelle de poisson. Avec une production de 100 tonnes par année de truite arc-en-ciel, cette pisciculture représente bien le modèle que l'industrie piscicole québécoise désire développer.

## **OBJECTIF DU PROJET**

Documenter l'efficacité environnementale du système d'élevage en recirculation intensive de l'eau de la pisciculture Taste of BC, dans l'objectif de transposer ces résultats aux demandes d'autorisation environnementale de telles entreprises au Québec.

## **REMERCIEMENTS**

Les auteurs veulent remercier toute l'équipe de la Pisciculture Taste of BC Aquafarms pour leur support durant la réalisation du projet. Pour les commentaires formulés tout au long du projet, il est aussi important de souligner la collaboration apportée par les professionnels du secteur aquacole de la Direction de l'agroenvironnement et du milieu hydrique du ministère québécois du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). Cette étude a été financée par Pêches et Océans Canada dans le cadre du Programme de recherche sur la réglementation de l'aquaculture (projet PRRA-2015-QC-12).

## MÉTHODOLOGIE

### Caractéristiques de la pisciculture

Les installations de la Pisciculture Taste of BC ont été conçues dans l'objectif de soutenir une production de 100 tonnes par année de truite arc-en-ciel avec une récolte hebdomadaire d'environ 1900 kg de truite de taille commerciale (environ 1 kg) destinée au marché de la table. La ferme a commencé ses opérations en 2012 et est sur le point d'atteindre son plein potentiel de production. La quantité totale de moulée distribuée en 2016 (entre le 1<sup>er</sup> janvier et le 20 octobre) a été de 92 144 kg, soit très près des données de conception (110 000 kg de moulée par année). Pour contenir les poissons, la pisciculture utilise 16 bassins circulaires à double drains de type Cornell. Soit 1 bassin de 8 m<sup>3</sup>, 4 de 25 m<sup>3</sup>, 4 de 40 m<sup>3</sup> et 4 de 96 m<sup>3</sup> pour un volume d'élevage de 652 m<sup>3</sup>. A cela, s'ajoute 2 unités de 25m<sup>3</sup> chacune pour l'étape de la purification des poissons avant leur vente. Trois pompes (de la compagnie Fairbanks Morse Mixed Flow Propeller, modèle 10'' – 8211, 20 HP par unité) assurent la recirculation des eaux et une pompe permet l'alimentation de l'eau neuve (de la compagnie Pentair Aquatic Eco-Systems, modèle Sparus™ de 3 hp) Un biofiltre (média composé de 34 m<sup>3</sup> de sable de silice tamisé) à lit fluidisé, un système de dégazage du gaz carbonique (plateau avec orifices, aménagé au-dessus d'un système de ventilation à air forcé), un système d'oxygénation pure à faible pression (Low head oxygenator = LHO) et un filtre à tambour équipé d'une membrane de 80 microns (modèle PR Aqua RFF60096 ) assure le traitement de l'eau d'élevage. L'oxygène pur est généré sur le site et des bouteilles d'oxygène liquide et gazeux sont disponibles en cas d'urgence. L'oxygène est distribué à chacun des bassins via un réseau de diffuseurs et via l'injection d'ozone au niveau du LHO. Environ 100 grammes/heure d'ozone sont injectés dans un objectif de maintenir le potentiel d'oxydation-réduction autour de 150 mV, mesuré dans le LHO via 2 sondes indépendantes. Les bassins d'élevage sont alimentés à gravité depuis le LHO. Un système de chauffage par échangeur à plaques est disponible pour contrôler (chauffer) la température de l'eau d'élevage. Cependant, celui-ci est rarement utilisé en raison du maintien constant de température au-delà de la valeur de conception de 15°C. Il n'y a pas d'alevinage sur le site, car les poissons y sont introduits, à raison de 3 à 4 fois par année, à une taille unitaire moyenne de 10 grammes. L'annexe 1 illustre le principe de conception de ce système d'élevage.

Le débit d'eau neuve prévu pour alimenter la pisciculture est d'environ 135 litres/minute. Ce débit est traité par l'ajout d'ozone et est initialement dirigé dans les 2 bassins de dépuración des poissons. Chacun de ces bassins est équipé de sa propre colonne de dégazage du CO<sub>2</sub> et d'oxygénation de l'eau. Selon ce débit, le volume total d'eau d'élevage est renouvelé tous les 3,4 jours. En lien avec la moulée distribuée, cela représente une intensité moyenne de recirculation de 540 litres d'eau neuve par kilogramme de moulée utilisée. Selon les définitions présentées dans l'introduction, les ratios pour respectivement la recirculation modérée, partielle et intensive sont d'environ 15 000, 5000 et 500 litres d'eau neuve/kg de moulée. Cette pisciculture utilise donc un système de recirculation intensive de l'eau pour l'élevage du poisson. L'eau neuve provient d'un étang alimenté par des sources d'eaux souterraines et l'effluent (trop-plein) est dirigé vers un marais artificiel aménagé sur le site. Le système d'élevage a été conçu par la firme PR Aqua de Nanaimo, une firme spécialisée dans la conception de système en recirculation. Le système d'élevage a été aménagé sous un dôme couvrant une superficie de 62 par 22 mètres. En lien avec l'utilisation d'unités d'élevage autonettoyantes et d'une conception du système empêchant l'accumulation de fumiers dans les unités de traitement, le filtre à tambour est le seul équipement utilisé pour récupérer les fumiers largués par les poissons. Des accumulations mineures de fumiers peuvent apparaître au niveau du

LHO. Elles sont cependant poussées de façon quotidienne vers le filtre à tambour. Ces fumiers sont par la suite dirigés à l'extérieur du dôme, via les eaux de lavage du filtre, vers un système de décantation. Il s'agit en fait d'un réservoir vertical dans lequel les solides s'accumulent dans la section du bas sous l'effet de la gravité. Ces fumiers y séjournent durant plusieurs semaines avant d'être récupérés et valorisés. Cependant, durant le projet, l'efficacité de récupération de ce séparateur n'a pas été mesurée, considérant une faible capacité à retenir le phosphore via sa solubilisation et sa perte dans le trop-plein du réservoir. En lien avec l'objectif du projet, le bilan journalier des rejets a été réalisé uniquement pour le système d'élevage de la pisciculture, tel qu'illustré à l'annexe I.

### **Points de mesure et méthode d'échantillonnage**

L'efficacité environnementale de la pisciculture a été établie selon des mesures journalières, soit la détermination du bilan des rejets sur des périodes consécutives de 24 heures (voir l'annexe 2). Dans cette optique, des échantillons d'eau ont été prélevés, en triplicata, à 4 endroits (points d'échantillonnage A, D, E/G et F). Les moyennes de chacun des triplicatas ont été utilisées pour les calculs de chacun des bilans journaliers. Des échantillonneurs automatiques ont été utilisés (échantillonneur portatif modèle SD900 de la compagnie Sigma) afin de réaliser des prélèvements sur les périodes de 24 heures. Les points d'échantillonnage A, D et E/G correspondent respectivement à l'eau neuve entrant dans le système, les eaux de lavage du filtre à tambour et le trop-plein d'eau du système d'élevage. Ces points représentent donc toutes les eaux entrant et sortant du système d'élevage. Le point F a permis d'échantillonner l'eau à la sortie des unités d'élevage. Pour les points A, E/G et F, les échantillonneurs prélevaient les eaux respectivement dans un petit récipient (en débordement) à la sortie du tuyau d'eau neuve, à la tête du LHO et à l'entrée du filtre à tambour. Pour le point D, le point de succion de l'échantillonneur a été installé au centre du puits de relevage. Mais dans le but de réduire le risque de sédimentation des particules de fumier dans le fond de ce puits de relevage, une pompe de mélange (Pompe submersible Gould d'une capacité de 80 gal/min US) a été utilisée afin d'homogénéiser les eaux séjournant dans le puits de relevage. Elle prélevait les eaux au fond du puits en les retournant à la surface et du côté opposé au point de succion. Suite à des essais de décantation qui ont démontré un temps de sédimentation des plus grosses particules de fumier de plus de 15 minutes, la pompe permettait de mélanger la totalité du volume d'eau du puits de relevage en un temps d'environ 10 minutes.

Les échantillonneurs prélevaient environ 125 ml d'eau toutes les 20 minutes durant la période de 24 heures. Les eaux étaient accumulées dans un contenant de 10 litres (approximativement 9 litres prélevés par journée). À la fin de la période de 24 heures, les contenants de 10 litres étaient délicatement brassés afin de remettre en suspension les particules qui avaient sédimenté. Une fois homogénéisés, des échantillons d'environ 250 ml étaient prélevés dans des bouteilles préalablement identifiées selon les instructions du laboratoire d'analyse Maxxam Analytics situé à Burnaby en Colombie-Britannique. Tous les échantillons d'eau ont par la suite été analysés par le laboratoire Maxxam Analytics (certification ISO 17025) pour les paramètres suivants : phosphore total (PT), phosphore total dissous (PTD), solides totaux (ST), matières en suspension (MES) et les orthophosphates (ortho).

Tous les échantillons ont été conservés dans un réfrigérateur (4 °C) entre le moment de leur prélèvement et leur envoi au laboratoire. Durant leur transport, ils ont été maintenus sur de la glace dans des glacières, toujours selon les directives du laboratoire. À la suite de leur prélèvement, les

échantillons ont été livrés par avion et réceptionnés au laboratoire en moins de 24 heures. Tous les échantillons ont été reçus en bonne condition. Les analyses en laboratoire ont été effectuées selon les procédures standards de la compagnie Maxxam Analytics (Maxxam 2016a, 2016b et 2016c). Tous les résultats ont été exprimés sous forme de concentration, en milligramme par litre.

Durant l'année 2016, 5 périodes d'échantillonnage ont été réalisées, à raison de 3 journées (répétitions) consécutives de mesures (échantillonnage de 24 heures/jour). Il n'y a pas eu d'échantillonnage au courant de l'été en raison d'un bris dans le système d'ozonation qui a occasionné une baisse dans la distribution de la moulée aux poissons. Les périodes visées devaient permettre de réaliser le projet à différents moments de l'année afin d'atténuer de possible variation au niveau de la productivité des poissons (ex : biomasse de poisson potentiellement variable dans le temps et température différente de l'eau d'élevage à certains mois).

Ces journées d'échantillonnage ont eu lieu :

- les 21, 22 et 23 février,
- 21, 22 et 23 mars,
- 25, 26 et 27 mai,
- 31 août, 1 et 2 septembre,
- les 12, 13 et 14 octobre.

### **Débits d'eau**

Les débits d'eau ont été mesurés à l'aide de débitmètres, selon les localisations présentées à l'annexe 1. Les volumes journaliers d'eau neuve ont été déterminés par le débitmètre n° 1 (débitmètre électronique à hélice, modèle ET15 de la compagnie Midwest Instruments and Controls, précision de 1,5 %) installé sur le tuyau d'amenée de ces eaux vers le système d'élevage. Le débitmètre n° 2 (débitmètre portatif à effet Doppler, modèle PDFM 5.1 de la compagnie Greyline, précision de 2,0 %) a été utilisé pour mesurer le débit pompé du puits de relevage vers le séparateur des fumiers. Ce débit représente le volume journalier d'eau de lavage généré par le filtre à tambour.

Malheureusement, il n'a pas été possible de mesurer le trop-plein d'eau du système d'élevage (point E). La sortie du tuyau du trop-plein se retrouvait sous le niveau d'eau du marais recevant ces eaux. Aussi, le débit intermittent dans la tuyauterie ne permettait pas d'obtenir une lecture adéquate des débits. Ce débit a été évalué par calcul, en soustrayant le débit du point D au débit du point A.

### **Données de production**

Lors de chaque journée d'échantillonnage, le pisciculteur a fourni son registre de production afin d'établir les charges de moulées distribuées selon tous les types de moulée utilisée. Lors du projet, ils ont utilisé de la moulée de la compagnie Skretting (taille = 2, 3, 4, 6 et 9 mm) et un peu de moulée d'une taille de 7 mm de la compagnie Ewos. La moulée de la compagnie Skretting était une variation de leur moulée BioTrout à haute énergie, via une adaptation de celle-ci pour une utilisation dans des systèmes en recirculation. Cette moulée est maintenant vendue sous l'appellation de Nutra RC via leur division de Bio-Oregon. La moulée Pacific de la compagnie EWOS a été utilisée. Les poissons étaient alimentés 7 jours par semaine selon une distribution de la moulée répartie sur 24 heures à l'aide de distributeurs automatisés ajustés, à chaque bassin d'élevage, pour fournir les

besoins alimentaires des poissons en lien avec une charte alimentaire (alimentation en fonction de la taille des poissons).

Durant les journées d'échantillonnage, les données de la qualité de l'eau d'élevage ont été mesurées à l'aide de trousseaux d'analyse terrain (Test Kits de la compagnie Hach) : pH, alcalinité et concentration de l'ammoniaque totale et en plus de la température. Le taux de conversion alimentaire évalué par l'entreprise a aussi été fourni. Les mesures de la qualité de l'eau d'élevage ne sont pas requises pour la réalisation des calculs d'efficacité de traitement du système, mais représentent les conditions d'élevage dans le système.

### **Analyses de la moulée**

À chaque journée d'échantillonnage, des échantillons des moulées utilisées ont été analysés en laboratoire afin de déterminer leur taux d'humidité et leur concentration en phosphore total. Pour chacune de ces moulées, 2 échantillons ( $\pm 100$  grammes chacun) provenant de 2 sacs différents de la même moulée ont été prélevés. Ces échantillons ont été identifiés selon leur taille et le fabricant avant d'être envoyés au Service analytique du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ) situé à Laval. Chaque échantillon a été analysé afin de déterminer leur taux d'humidité et leur concentration en phosphore total selon une procédure de laboratoire développée spécifiquement pour la moulée de poisson (MDDELCC, 2016).

### **Calculs des efficacités**

Aux points de mesure A, D et E, des charges journalières (kg/jour) ont été calculées pour le PT, les ST et les MES. Ces charges ont été obtenues en multipliant les valeurs des concentrations déterminées par le laboratoire par le volume d'eau journalier déterminé à chacun de ces points. Selon la ou les charges journalières utilisées dans les calculs, l'efficacité de récupération de la station a été déterminée via les trois équations suivantes.

Dans un suivi de la qualité des eaux d'une pisciculture, principalement lorsque des échantillonneurs automatiques sont utilisés, il peut être difficile de mesurer avec précision les charges en particules présentes dans l'eau. Afin de vérifier l'influence que la méthode d'échantillonnage peut avoir eue sur les calculs d'efficacité, ces trois équations ont été utilisées. En effet, ces particules peuvent rapidement sédimenter et ainsi ne pas être récupérées lors de l'échantillonnage. Il y a donc un risque de sous-évaluer à la fois les concentrations en MES, en MT et en PT du fait qu'une fraction du phosphore largué par les poissons est sous forme particulaire. Par conséquent, les résultats des échantillons prélevés aux points de mesure ayant les plus faibles charges de particules sont considérés plus représentatifs de la réalité. Par exemple, une eau ayant à la fois une forte charge en phosphore dissous et une faible charge en phosphore particulaire permet d'envisager une meilleure uniformité de cette composante dans l'eau échantillonnée. Dans le projet, les points A et E (eaux neuves et trop-plein du système d'élevage) possèdent cette particularité. De son côté, une plus grande variabilité a été observée pour le prélèvement des eaux au point D (eaux de lavage du filtre à tambour).

En utilisant les mesures réalisées au point D :

Comparaison des charges retrouvées dans les eaux de lavage du filtre à tambour par rapport à celles introduites dans les eaux d'élevage via l'eau neuve et les rejets provenant de l'alimentation des poissons.

$$(1) \quad \text{Eff. récup no 1} = \frac{C_{\text{point D}}}{(C_{\text{point A}} + C_{\text{rejet poisson}})}$$

Où :

- Eff. récup n° 1 = Efficacité de récupération dans le système d'élevage en utilisant les charges récupérées par le filtre à tambour, %
- $C_{\text{point D}}$  = Charges mesurées au point D, kg/jour;
- $C_{\text{point A}}$  = Charges mesurées au point A, kg/jour;
- $C_{\text{rejet poisson}}$  = Charges rejetées (rejets bruts) par les poissons, kg/jour.

Pour les 3 paramètres, les charges rejetées par les poissons ont été évaluées selon les détails suivants :

-  $C_{\text{rejet poisson pour le PT}} = \text{PT}_{\text{moulée}} - \text{PT}_{\text{poisson}} = (\text{Kg}_{\text{moulée}} \times \% \text{PT}_{\text{moulée}}) - (\text{Masse}_{\text{poisson}} \times \% \text{PT}_{\text{poisson}})$

Où :

- $\text{PT}_{\text{moulée}}$  = charge journalière de phosphore total apportée par la moulée, kg/jour;
- $\text{PT}_{\text{poisson}}$  = charge journalière de phosphore total retenue par le poisson, kg/jour;
- $\text{Kg}_{\text{moulée}}$  = quantités journalières de moulées distribuées, kg/jour;
- $\% \text{PT}_{\text{moulée}}$  = taux de PT dans la moulée déterminé par le laboratoire, %;
- $\text{Masse}_{\text{poisson}}$  =  $\text{kg}_{\text{moulée}} \times \text{TCA}$  = gain en biomasse (de poisson), kg/jour;
- $\% \text{PT}_{\text{poisson}}$  = taux de phosphore total dans l'ensemble de toutes les cohortes de poisson = 0,40 % = taux usuel utilisé pour le calcul des bilans de phosphore (Ouellet, 1999). En comparaison, Boucher et coll. (2013) ont mesuré un taux moyen de 0,35 % pour la truite l'arc-en-ciel.

-  $C_{\text{rejet poisson pour les ST}} = [\text{Kg}_{\text{moulée}} \times (1 - \% \text{humidité}_{\text{moulée}})] - (\text{Masse}_{\text{poisson}} \times \% \text{ST}_{\text{poisson}})$

Où :

- $\% \text{humidité}_{\text{moulée}}$  = proportion d'eau dans la masse totale de moulée, déterminés par le laboratoire, %;
- $\% \text{ST}_{\text{poisson}}$  = proportion de matières sèches contenues dans la biomasse = 30 % (Gokoglu, 2004).

-  $C_{\text{rejet poisson pour les MES}} = 25 \% \times \text{Kg}_{\text{moulée}}$

Où :

- 25 % = proportion de la masse de la moulée se retrouvant sous forme de MES larguées par les poissons (Timmons et Ebeling, 2010).

### En utilisant les mesures réalisées au point E :

Comparaison des charges retrouvées dans les eaux du trop-plein du système d'élevage par rapport à celles introduites dans les eaux d'élevage via l'eau neuve et les rejets provenant de l'alimentation des poissons. En d'autres mots, cela représente la fraction des rejets non récupérée par le filtre à tambour.

$$(2) \quad \text{Eff. récup no 2} = 1 - \frac{C_{\text{point E}}}{(C_{\text{point A}} + C_{\text{rejet poisson}})}$$

Où :

Eff. récup n° 2 = Efficacité de récupération dans le système d'élevage en utilisant les charges évacuées par le trop-plein d'eau de la station, %

$C_{\text{point E}}$  = Charges mesurées au point E, kg/jour;

### En comparant uniquement les mesures réalisées aux points D et E :

Calcul utilisant uniquement les données mesurées aux 2 points de rejet du système d'élevage.

$$(3) \quad \text{Eff. récup no 3} = \frac{C_{\text{point D}}}{(C_{\text{point D}} + C_{\text{point E}})}$$

Où :

Eff. récup n° 3 = Efficacité de récupération dans le système d'élevage en utilisant uniquement les charges mesurées aux 2 points de sortie de la station, %

## **RÉSULTATS et ANALYSE**

### **Débits**

Le tableau 1 présente les mesures obtenues pour les débits d'eau. Le débit d'eau neuve a été similaire au débit de conception de 135 l/min, malgré une baisse vers la fin du projet. Cependant, cette baisse est liée aux épisodes de sécheresse que la région a connus en 2016 par la baisse des niveaux d'eau dans l'étang d'alimentation de la station. Malgré cette baisse, les débits d'eau mesurés au point D sont demeurés relativement constants durant tout le projet. En considérant que le débit de conception du filtre à tambour (soit l'eau filtrée) est de 766 m<sup>3</sup>/h, les eaux de lavage ont représenté en moyenne 0,34 % de ce dernier. À titre de comparaison, Timmons et Ebeling (2010) avancent des valeurs de 0,2 à 2,0 %. Aussi, selon des mesures réelles sur le terrain, le MAPAQ (données internes) considère des valeurs variant de 0,3 à 0,5 %. En considérant la fiabilité du débitmètre n° 1, dont les valeurs ont été corrélées avec l'indicateur de débit de la pompe d'alimentation des eaux neuves, tout indique que les valeurs des débits d'eau obtenus lors des séances de mesure sont représentatives de la réalité. Par conséquent et considérant le schéma de l'annexe 1, le débit d'eau au point E a été déterminé en soustrayant le débit du point D du débit du point A.

**Tableau 1 : Débits d'eau mesurés.**

| Séances de mesures | A - Eaux neuves | D – Eaux de lavage filtre à tambour |   |
|--------------------|-----------------|-------------------------------------|---|
|                    | Débitmètre n° 1 | Débitmètre n° 2                     |   |
|                    | litre/minute    | litre/minute                        | Proportion de ce débit par rapport au débit total filtré, % |
| 21-févr-16         | 141             | 31                                  | 0,25 %  |
| 22-févr-16         | 135             | 30                                  | 0,23 %  |
| 23-févr-16         | 102             | 33                                  | 0,26 %  |
| 21-mars-16         | 135             | 44                                  | 0,34 %  |
| 22-mars-16         | 129             | 38                                  | 0,30 %  |
| 23-mars-16         | 127             | 38                                  | 0,30 %  |
| 25-mai-16          | 135             | 44                                  | 0,34 %  |
| 26-mai-16          | 129             | 38                                  | 0,30 %  |
| 27-mai-16          | 127             | 38                                  | 0,30 %  |
| 31-août-16         | 113             | 58                                  | 0,45 %  |
| 01-sept-16         | 117             | 59                                  | 0,46 %  |
| 02-sept-16         | 115             | 58                                  | 0,45 %  |
| 12-oct-16          | 83              | 44                                  | 0,34 %  |
| 13-oct-16          | 82              | 46                                  | 0,36 %  |
| 14-oct-16          | 85              | 43                                  | 0,34 %  |
| Moyenne =          | 117             | 43                                  | 0,34 %  |

### Concentrations mesurées

L'annexe III présente le tableau des valeurs des concentrations moyennes déterminées par le laboratoire à tous les points de mesure et pour chaque journée d'échantillonnage. Pour les eaux neuves (point de mesure A), il a été observé une hausse de toutes les valeurs de concentration lors de la quatrième séance d'échantillonnage. Sans être en mesure d'expliquer la cause de cette hausse, elle ne semble toutefois pas avoir affecté les efficacités de récupération.

#### Phosphore :

Dans toutes les analyses des eaux neuves, la presque totalité du PT était sous la forme dissoute (PTD) et cette dernière était composée à environ 96 % d'orthophosphate (ortho).

Pour l'ensemble des mesures au point D (eaux de lavage du filtre), un ratio moyen de 2,6 % a été obtenu en calculant la proportion de PT contenu dans les MES. Selon Gagnon (2014), ce ratio varie normalement de 1,3 à 2,8 % en fonction de l'efficacité de récupération des filtres à tambour. Seule exception pour la mesure du 12 octobre où ce ratio et les concentrations en PT ont été plus faibles. Seule une potentielle erreur causée par les difficultés d'échantillonnage de ces eaux pourrait expliquer ces plus faibles valeurs. Toujours pour ces eaux de lavage, 47 % en moyenne du PT était sous la forme dissoute (PTD) et cette dernière était composée à environ 58 % d'orthophosphate (ortho). Par calcul, il est déterminé qu'environ 45 % de ce PTD provient du phosphore (qui est en presque totalité sous la forme d'orthophosphates) déjà présent dans les eaux utilisées pour le lavage du filtre (eau du point F). Il semble donc qu'environ la moitié du PT récupéré dans les eaux de

lavage était sous la forme particulaire, un quart sous la forme d'orthophosphate via l'utilisation de l'eau d'élevage pour laver la membrane et un dernier quart sous forme dissoute (et non en orthophosphate) depuis une dissolution rapide du phosphore particulaire récupéré.

Pour les points E/G et F, la presque totalité du PT (99 %) était sous la forme dissoute (PTD) et cette dernière était composée à environ 98 % d'orthophosphate.

#### MES et MT :

Toutes les valeurs obtenues pour les échantillonnages en amont (point E/G) et en aval (point F) des unités d'élevage sont très similaires, sauf pour les concentrations en MES. Ces dernières sont logiquement plus élevées (en moyenne de 150 % pour l'ensemble des séances de mesures) en amont du filtre à tambour (point F). Pour les ST, les concentrations similaires mesurées entre l'amont et l'aval du filtre à tambour démontrent l'inefficacité de récupération de ces solides qui doivent se présenter sous forme dissoute ou de taille trop petite pour sa membrane. Aucune analyse sur la taille des particules n'était prévue dans le projet. Ces ST s'accumulent donc dans l'eau d'élevage avant d'être évacués par le trop-plein.

En comparant les 3 journées consécutives d'une même séance de mesures, il s'avère qu'il y a eu beaucoup plus de variation dans les concentrations mesurées au point D. Ce fait s'explique par la grande difficulté de réaliser un échantillonnage représentatif de ces eaux de lavage à l'aide d'un échantillonneur automatique. Ces eaux contiennent des particules de grande taille (certaines de plus de 60 à 80  $\mu\text{m}$ ) qui peuvent facilement échapper aux prélèvements via une sédimentation rapide dans la fosse de récupération, et cela malgré la présence de la pompe de mélange. En comparaison, les échantillonnages réalisés aux points A et E sont considérés plus fiables en raison d'une meilleure homogénéité des paramètres contenus dans l'eau prélevée. Il y a très peu de particules (mesurées et observées) en suspension et le phosphore y est présent, en presque totalité, sous sa forme dissoute. Tel que présenté plus loin dans le rapport, cet aspect explique que les efficacités de récupération obtenues selon la deuxième formule présentée précédemment, soit en faisant le calcul avec les données mesurées dans le trop-plein du système d'élevage, sont celles retenues à la conclusion.

Sans être en mesure de chiffrer l'effet de l'ozone (car le projet ne permettait pas de suivre le système sans l'utilisation de l'ozone), son dosage dans l'eau d'élevage a aidé à maintenir les concentrations en MES dans les eaux d'élevage (point F) en dessous des 10 mg/l. Davidson et coll. (2011) ont démontré que l'ozone permet de réduire la charge en MES dans l'eau d'élevage de système en recirculation. Elle causerait une microfloculation des particules fines qui engendrerait une augmentation de leur taux de récupération par les équipements de filtration. En utilisant l'ozone, ils ont mesuré des réductions allant jusqu'à 50 % des charges en MES dans les unités d'élevage. Ils n'ont cependant pas démontré qu'elle permet d'obtenir un effet bénéfique sur la récupération du phosphore. Un rapport de suivi réalisé par Taste of BC (2015) avec et sans l'utilisation du système de dosage de l'ozone soutient aussi que celle-ci a permis de réduire légèrement la charge en MES dans les eaux d'élevage, charge qui s'est quand même toujours maintenue entre les valeurs de 5 à 15 mg/l (avec ou sans ozone). Cependant, ce rapport indique que sans l'utilisation de l'ozone, l'eau d'élevage était d'une couleur brune empêchant de voir facilement les poissons. Il est possible que les fines particules qui ne sont pas récupérées soient fractionnées au niveau des colloïdes ou sous forme dissoute. L'utilisation de l'ozone apporte un certain avantage sur l'efficacité de récupération des MES, mais semble aussi expliquer les concentrations élevées en ST dans le système.

## Moulée et production

Le tableau 2 présente les résultats des analyses de laboratoire obtenues pour les moulées utilisées durant le projet. En lien avec ces données, le tableau 3 présente l'évaluation des rejets bruts des poissons en fonction de la moulée distribuée à chaque journée d'échantillonnage et du gain de biomasse.

Pour les mesures reliées à la qualité des eaux d'élevage, la température a varié entre 12 °C et 19 °C durant les essais. Durant les 4 premières séances de mesure, elle s'est maintenue entre 17 °C et 19 °C. Le minimum a été atteint au mois d'octobre. Durant tout le projet, les mesures du pH et les concentrations de l'alcalinité, de l'ammoniaque totale, des nitrites et des nitrates ont respectivement varié de 6,6 à 7,4, de 35 à 50 mg/l, de 1,8 à 2,9 mg/l, de 0,04 à 0,12 mg/l et de 48 à 142 mg/l. En tout temps durant les essais, la qualité de l'eau d'élevage est demeurée adéquate. Le taux de conversion a été évalué par le pisciculteur via l'évaluation de poids moyen à toutes les semaines, à une valeur de 1,10.

**Tableau 2 : Analyses des moulées utilisées.**

| Moulée    |        | %PT<br>(moyenne de<br>toutes les<br>analyses) | %humidité<br>(moyenne de<br>toutes les<br>analyses) | Nombre<br>d'analyses<br>par<br>paramètre |
|-----------|--------|---|---|--|
| Marque    | Taille | mg/kg   | %   |  |
| Skretting | 9 mm   | 9255  | 4,79  | 12                                       |
|           | 6 mm   | 9520  | 6,24  | 10                                       |
|           | 4 mm   | 11550   | 5,91  | 12                                       |
|           | 3 mm   | 12250   | 5,00  | 6  |
|           | 2 mm   | 11217   | 7,89  | 8  |
| Ewos      | 7 mm   | 13500   | 4,74  | 6  |

**Tableau 3 : Données de production.**

| Séances de mesures | Moulée distribuée |   | Biomasse de poissons | Rejets bruts des poissons (avant tout traitement) |            |             |
|--------------------|-------------------|---|----------------------|---|------------|-------------|
|                    | kg/jour           | Intrant de TP depuis la moulée (kg TP/jour) | Production, kg/jour  | kg PT/jour  | kg ST/jour | kg MES/jour |
| 21-févr-16         | 252               | 2,73  | 229                  | 1,81  | --         | 63          |
| 22-févr-16         | 243               | 2,63  | 221                  | 1,75  | --         | 61          |
| 23-févr-16         | 261               | 2,96  | 237                  | 2,01  | --         | 65          |
| 21-mars-16         | 300               | 3,19  | 273                  | 2,10  | 202        | 75          |
| 22-mars-16         | 280               | 3,02  | 255                  | 2,00  | 188        | 70          |
| 23-mars-16         | 291               | 3,10  | 265                  | 2,04  | 196        | 73          |
| 25-mai-16          | 317               | 3,31  | 288                  | 2,15  | 215        | 79          |
| 26-mai-16          | 317               | 3,31  | 288                  | 2,15  | 215        | 79          |
| 27-mai-16          | 317               | 3,31  | 288                  | 2,15  | 215        | 79          |
| 31-août-16         | 382               | 3,46  | 347                  | 2,07  | 254        | 96          |
| 01-sept-16         | 404               | 3,64  | 367                  | 2,17  | 269        | 101         |
| 02-sept-16         | 404               | 3,65  | 367                  | 2,18  | 269        | 101         |
| 12-oct-16          | 410               | 4,05  | 373                  | 2,56  | 272        | 103         |
| 13-oct-16          | 380               | 3,77  | 345                  | 2,39  | 251        | 95          |
| 14-oct-16          | 410               | 4,05  | 373                  | 2,56  | 272        | 103         |

### Charges calculées

Les figures 1 à 3 présentent le résultat des calculs de charge aux points de mesure utilisés pour les calculs d'efficacité de récupération. Les données présentées sont la moyenne des charges obtenues pour les 3 journées consécutives de chaque période d'échantillonnage. Cela en considérant que pour chacune de ces périodes, la gestion de la pisciculture et les paramètres d'élevage (tel que les débits et température de l'eau) sont considérés constants durant ces 3 jours consécutifs d'échantillonnage. Les figures 1 et 3 illustrent bien, respectivement, les charges de PT et de MES récupérées par le filtre à tambour ainsi que les plus grandes variations dans les résultats obtenus pour les MES. À la figure 2 et tel que discuté précédemment en lien avec la difficulté de récupérer les ST, les charges de ces ST se sont réparties de façon relativement similaire entre les points D et E.

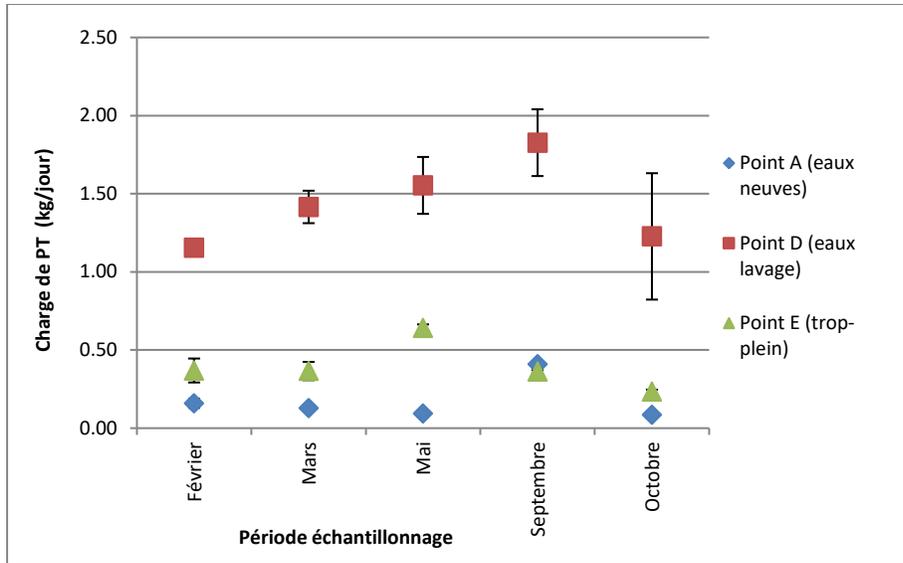


Figure 1 : Charges calculées moyennes par période d'échantillonnage pour le phosphore total (PT) – avec écart-type.

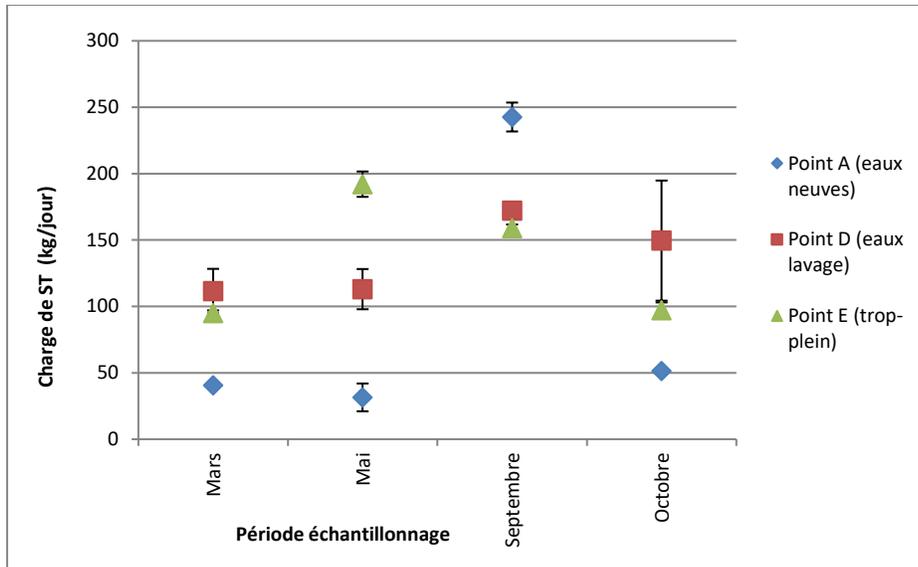
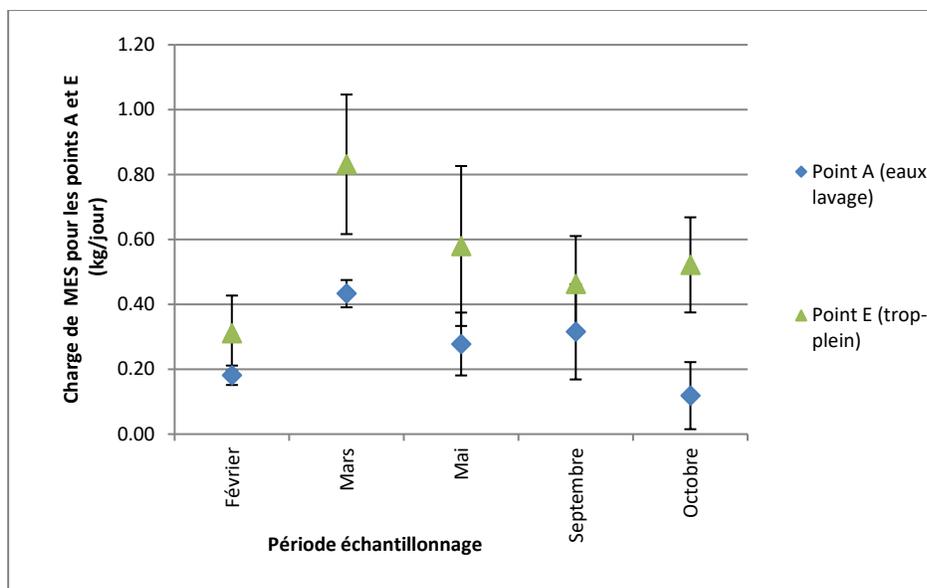
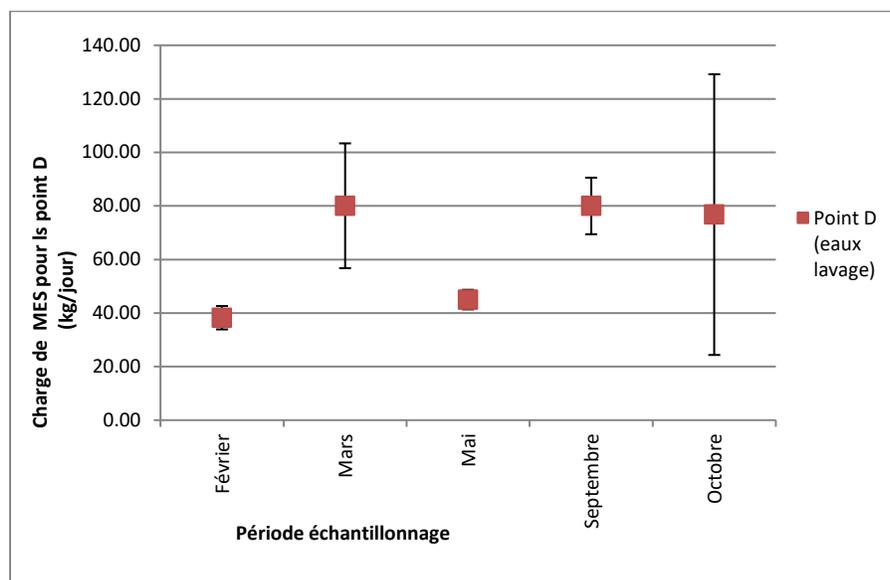


Figure 2 : Charges calculées moyennes par période d'échantillonnage pour les solides totaux (ST) – avec écart-type.



**Figure 3.1 : Charges calculées moyennes par période d'échantillonnage pour les matières en suspension (MES) – avec écart-type. Pour les points de mesure A et E.**



**Figure 3.2 : Charges calculées moyennes par période d'échantillonnage pour les matières en suspension (MES) – avec écart-type. Pour le point de mesure D.**

### Calcul des efficacités de récupération du système d'élevage

Les figures 4 à 6 présentent le résultat des calculs des efficacités de récupération du PT, des ST et des MES en lien avec les formules 1 et 2 présentées précédemment. Les résultats calculés selon l'efficacité de récupération n° 1 sont à la fois les plus faibles et ceux présentant le plus de variation. Cela confirme qu'il est difficile d'échantillonner en continu les eaux de lavage de filtre à tambour et

que cela induit une potentielle sous-estimation des résultats. Malgré cela, ce calcul a permis d'obtenir une efficacité de récupération moyenne pour l'ensemble de toutes les journées d'échantillonnage de 62 %, 44 % et 77 % pour respectivement le PT, les ST et les MES.

En considérant une meilleure fiabilité des résultats des échantillonnages effectués au point E, les résultats calculés selon l'efficacité de récupération n° 2 sont considérés plus représentatifs de la réalité. Ce calcul a permis d'obtenir une efficacité de récupération moyenne pour l'ensemble de toutes les journées d'échantillonnage de 83 %, 55 % et 99 % pour respectivement le PT, les ST et les MES. Tout comme le calcul de l'équation n° 1, ces efficacités sont basées sur la récupération des charges larguées par les poissons, additionnées à celles introduites par les eaux neuves. Compte tenu du comportement des paramètres dans les eaux, par exemple la capacité du phosphore de se solubiliser rapidement, il est impossible de distinguer la proportion d'un paramètre qui provient effectivement de l'eau neuve ou des rejets des poissons. Pour le phosphore, le fait de considérer les charges apportées par l'eau neuve (point A) n'a pas un impact significatif sur la récupération au niveau du filtre à tambour. Ce phosphore est déjà sous une forme dissoute et donc normalement non récupérable au niveau de ce filtre. À titre de référence et en comparant uniquement les 2 effluents du système d'élevage entre eux, l'efficacité de récupération n° 3 (non illustrée dans les figures 4 à 6) a permis d'obtenir une efficacité de récupération moyenne pour l'ensemble de toutes les journées d'échantillonnage de 79 %, 51 % et 99 % pour respectivement le PT, les ST et les MES. Ces valeurs sont similaires à celles obtenues avec le calcul de l'efficacité n° 2.

En comparant les intrants et les extrants du bilan des charges pour l'ensemble des journées d'échantillonnage et les écarts-types illustrés sur les figures, il y a eu des sous-évaluations pour équilibrer les bilans de 20 %, 11 % et 22 % pour respectivement les charges mesurées de PT, de ST et des MES. Donc les charges larguées par les poissons additionnées aux charges mesurées au point A (les 2 intrants) n'ont pas toutes été retrouvées dans les charges mesurées aux points D ou E (les extrants). Du côté des intrants, il serait requis d'augmenter le taux de phosphore contenu dans les poissons ou de diminuer le taux de conversion alimentaire pour réussir à faire balancer le bilan pour le PT. Cependant, cela exigerait d'utiliser des valeurs non conventionnelles et non mesurées pour une telle production piscicole. De plus, il a été considéré que les mesures au point A sont représentatives de la réalité. Toujours dans le but de faire balancer le bilan, mais en utilisant les extrants, il faudrait considérer une accumulation d'une fraction des rejets des poissons dans le système d'élevage ou une sous-estimation des charges mesurées aux points D et/ou E. Étant donné qu'il n'y a pas d'accumulation de fumier dans le système d'élevage et que ce dernier opère en continu depuis plusieurs mois, cette hypothèse n'a pas été retenue. En lien avec les commentaires précédents sur la difficulté d'échantillonner adéquatement au point D, l'hypothèse d'une sous-estimation des charges récupérées par le filtre à tambour est l'hypothèse la plus plausible. À ce sujet, la figure 7 illustre une corrélation entre les valeurs de ces sous-évaluations et les résultats de l'efficacité de récupération n° 1 pour le PT. Il est observé que l'efficacité de récupération n° 1 augmente quand la valeur de ces sous-évaluations diminue. Logiquement, si on additionne la valeur (%) de ces déficits aux valeurs (%) obtenues pour le calcul de l'efficacité n° 1, on retrouve exactement les mêmes valeurs calculées pour l'efficacité n° 2.

Considérant les difficultés techniques pour mesurer certaines variables en conditions réelles de production, la détermination de celles-ci demeure théorique : fraction de la moulée distribuée qui est rejetée sous forme de fumier, taux de matière totale (MT) et de phosphore (PT) contenus dans la biomasse totale de poisson. D'autres variables peuvent aussi être difficiles à évaluer sur le terrain

comme le taux de conversion alimentaire (TCA). La fraction de fumier produit et le taux de MT dans les poissons n'affectent pas les calculs de récupération de PT. Ils ne sont donc pas investigués davantage. Le tableau 4 présente cependant les impacts qu'auraient des variations dans les valeurs du taux de phosphore des poissons et du TCA sur les calculs des efficacités de récupération pour le phosphore total. Il est observé que ces variations ont peu d'impact sur les résultats des efficacités et sur la justification des « manques » de phosphore total pour fermer le bilan. Il est donc permis de considérer que l'efficacité de récupération n° 2 est celle qui est la plus représentative.

**Tableau 4 : Impacts théoriques sur les bilans d'efficacité de récupération du phosphore total.**

| Variations de ou des variable(s) : | Valeurs utilisées dans les calculs | Efficacité de récupération du PT pour l'ensemble des séances d'échantillonnage |                          | Pour l'ensemble des séances, moyenne des « Manques » pour fermer le bilan du PT |
|------------------------------------|------------------------------------|--|--------------------------|---|
|                                    |                                    | Calcul d'efficacité n° 1   | Calcul d'efficacité n° 2 |   |
| PT <sub>poisson</sub>              | 0,45 %                             | 65,6 %   | 81,8 %                   | 16,2 %  |
|                                    | <b>0,40 %</b>                      | <b>62,2 %</b>  | <b>82,6 %</b>            | <b>20,4 %</b>   |
|                                    | 0,35 %                             | 59,3 %   | 83,3 %                   | 24,0 %  |
| TCA                                | 1,20                               | 60,2 %   | 83,1 %                   | 22,8 %  |
|                                    | <b>1,10</b>                        | <b>62,2 %</b>  | <b>82,6 %</b>            | <b>20,4 %</b>   |
|                                    | 1,00                               | 64,9 %   | 82,0 %                   | 17,1 %  |
|                                    | 0,90                               | 68,5 %   | 81,1 %                   | 12,6 %  |
| PT <sub>poisson</sub> et TCA       | 0,45 % et 0,9                      | 73,9 %   | 79,8 %                   | 6,0 %   |
|                                    | 0,35 % et 1,00                     | 61,3 %   | 82,8 %                   | 21,5 %  |
|                                    | 0,35 % et 1,2                      | 57,7 %   | 83,7 %                   | 25,9 %  |

Note : les valeurs en gras représentent les résultats obtenus dans le projet, soit en fonction des valeurs originales des variables

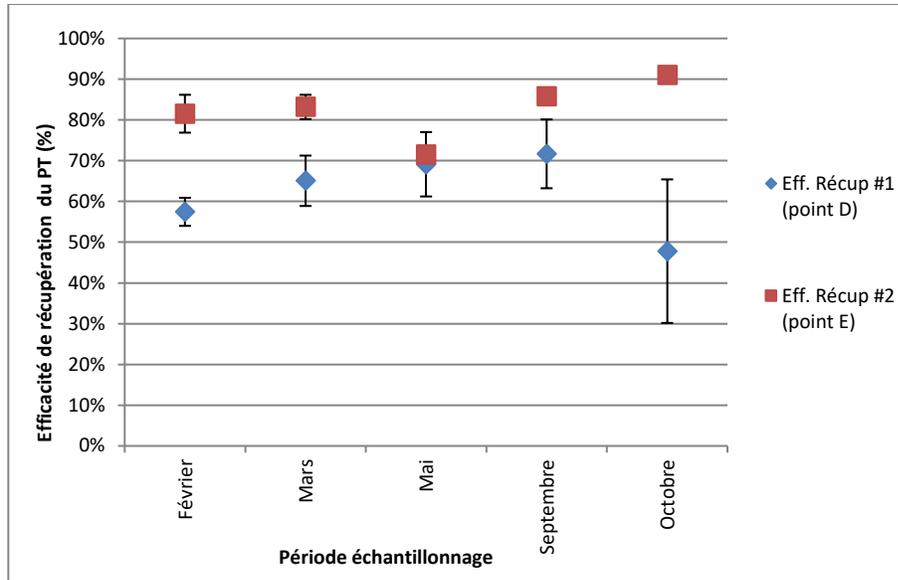


Figure 4 : Efficacités de récupération déterminées pour le phosphore total (PT) – avec écart-type.

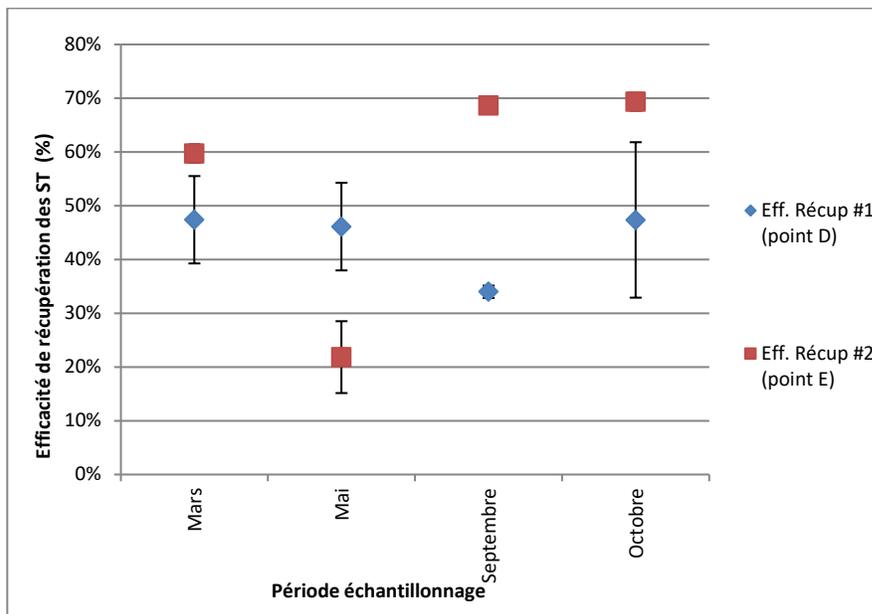


Figure 5 : Efficacités de récupération déterminées pour les solides totaux (ST) – avec écart-type.

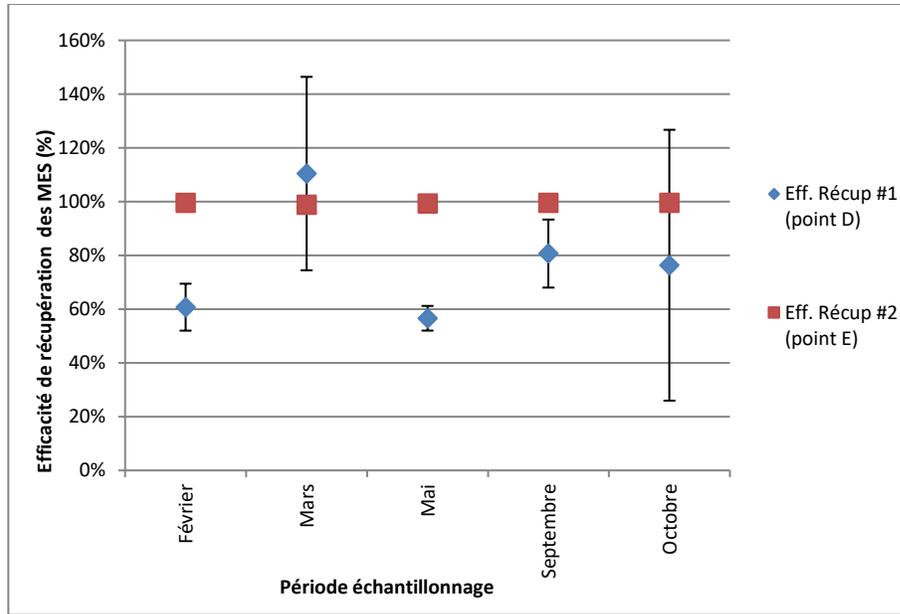


Figure 6 : Efficacités de récupération déterminées pour les matières en suspension (MES) – avec écart-type.

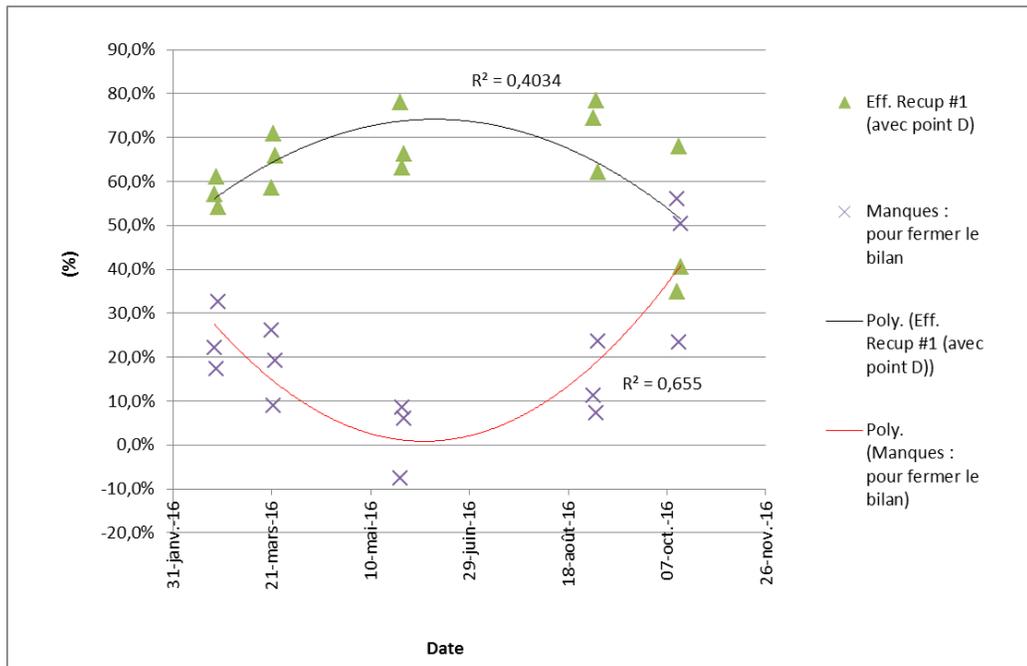


Figure 7 : Pour le phosphore total, comparaison entre les résultats de l'efficacité de récupération n° 1 et les charges manquantes pour fermer le bilan.

## **Transfert des résultats en lien avec l'utilisation d'un système de traitement des effluents**

L'objectif du projet était de mesurer l'efficacité de récupération, principalement du phosphore total, pour uniquement le système d'élevage de la pisciculture. Mais pour un transfert des résultats au Québec, ces systèmes devront être complétés par l'ajout de traitement des effluents, soit au minimum le traitement de l'effluent généré par les fumiers récupérés par le filtre à tambour (point D). Pour le traitement de cet effluent, les pisciculteurs québécois disposent déjà de techniques reconnues et adaptées à leur entreprise (MAPAQ, 2009). Tel que décrit par Gagnon (2014), celui-ci est généralement composé d'un système de réduction des volumes d'eau (un concentrateur), d'un bassin d'accumulation étanche et d'un système de dosage de la chaux hydratée. En utilisant ce système de traitement et selon les résultats du calcul de l'efficacité de récupération n° 2 pour le phosphore total, l'efficacité globale (système d'élevage et de traitement de l'effluent (fumiers) généré par le filtre à tambour) de Taste of BC pourrait varier de 63 % à 79 %. Sans le concentrateur, le système a démontré une efficacité de rétention du phosphore total de plus de 95 %, mais requiert de gérer de grand volume d'eau. L'ajout du concentrateur permet en effet de réduire ces volumes, mais impute une perte supplémentaire d'efficacité d'environ 20 % sur la rétention du phosphore total.

Mais en raison des faibles volumes d'eau neuve requis pour opérer ces systèmes en recirculation intensive, il est aussi possible d'envisager de traiter simultanément la totalité des 2 effluents du système d'élevage (ligne des fumiers et trop-plein d'eau du système d'élevage, soit respectivement les point de mesure D et E). À cet effet, le tableau 5 illustre les caractéristiques de l'eau qui seraient à traiter en combinant les mesures réalisées aux 2 effluents de la pisciculture Taste of BC. En moyenne pour l'ensemble des séances d'échantillonnage, l'eau à traiter contiendrait 405 mg/l de matières en suspension et 11 mg/l de phosphore total dont, en moyenne, environ 58 % seraient sous la forme dissoute. Selon les données d'un guide du MDDELCC (2011), ces concentrations sont très similaires à celles considérées pour le traitement des eaux usées d'origine domestique (10 mg/l pour le PT et 300 mg/l pour les MES). Ainsi, pour les piscicultures en recirculation intensive de l'eau, il est donc permis d'envisager l'utilisation des systèmes de traitement des eaux usées d'origine domestique et d'obtenir les mêmes efficacités de récupération qui peuvent se situer à plus de 95 % pour la rétention du phosphore total (MAPAQ, 2016). Selon cette hypothèse et dans la perspective de traiter la totalité de l'eau provenant des 2 effluents, l'efficacité de récupération globale pour le phosphore total de l'entreprise serait à plus de 95 %.

**Tableau 5 : Caractéristiques de l'eau à traiter en combinant les 2 effluents.**

| Séances de mesures | Combinaison des points de mesure D (eaux de lavage du filtre) et E (trop-plein d'eau du système d'élevage) |                            |              |                         |            |
|--------------------|--|----------------------------|--------------|-------------------------|------------|
|                    | Somme des débits   | Somme des charges mesurées |              | Concentrations obtenues |            |
|                    |  | m <sup>3</sup> /jour       | kg PT / jour | kg MES / jour           | mg/l de PT |
| 21-févr-16         | 203  | 1,56                       | 40,95        | 7,7                     | 202,1      |
| 22-févr-16         | 194  | 1,58                       | 41,34        | 8,1                     | 212,9      |
| 23-févr-16         | 147  | 1,44                       | 33,39        | 9,8                     | 227,0      |
| 21-mars-16         | 195  | 1,65                       | 63,78        | 8,5                     | 327,4      |
| 22-mars-16         | 186  | 1,94                       | 107,43       | 10,4                    | 577,3      |
| 23-mars-16         | 183  | 1,75                       | 71,50        | 9,5                     | 389,6      |
| 25-mai-16          | 195  | 2,43                       | 46,57        | 12,4                    | 239,1      |
| 26-mai-16          | 186  | 2,05                       | 41,74        | 11,0                    | 224,3      |
| 27-mai-16          | 183  | 2,10                       | 48,50        | 11,5                    | 264,3      |
| 31-août-16         | 162  | 2,18                       | 89,06        | 13,4                    | 549,2      |
| 01-sept-16         | 168  | 2,41                       | 83,84        | 14,4                    | 499,3      |
| 02-sept-16         | 165  | 1,98                       | 68,48        | 12,0                    | 415,1      |
| 12-oct-16          | 119  | 1,17                       | 136,02       | 9,8                     | 1145,0     |
| 13-oct-16          | 118  | 1,90                       | 61,21        | 16,1                    | 517,9      |
| 14-oct-16          | 122  | 1,31                       | 34,63        | 10,7                    | 283,2      |
| Moyenne            | 168  | 1,83                       | 64,6         | 11,0                    | 404,9      |

## CONCLUSION

L'efficacité environnementale du système d'élevage en recirculation intensive de l'eau du système d'élevage en eau douce de Taste of BC, située à Nanaimo en Colombie-Britannique, a été mesurée à 15 reprises entre les mois de février et octobre de l'année 2016. L'efficacité du système de traitement et d'accumulation des fumiers récupérés depuis le système d'élevage (soit depuis les eaux de lavage générées par le filtre à tambour) de l'entreprise n'a cependant pas fait l'objet d'un suivi durant le projet. Quinze périodes d'échantillonnage, d'une durée de 24 heures chacune, ont été effectuées afin de mesurer tous les intrants et les extrants au système d'élevage. Pour déterminer ces bilans journaliers, les volumes d'eau utilisés, les moules distribués, la production de biomasse et les concentrations de phosphore, de matières en suspension et les solides totaux dans les eaux, entrant et sortant de la pisciculture ont été mesurés.

Pour le système d'élevage uniquement, le projet a permis de déterminer une efficacité de récupération moyenne pour l'ensemble de toutes les journées d'échantillonnage de 83 %, 55 % et 99 % pour respectivement le phosphore total (PT), les solides totaux (ST) et les matières en suspension (MES). Pour le phosphore total, l'efficacité globale de l'entreprise pourrait varier de 63 % à 79 % si elle ajoutait sur son site le système de traitement développé au Québec pour l'effluent provenant des eaux de lavage du filtre à tambour (fumiers récupérés par ce filtre). Indépendamment des efficacités obtenues dans le projet, cette efficacité globale pourrait aussi être à

plus de 95 % en posant l'hypothèse de traiter la totalité des 2 effluents (fumiers et trop-plein du système d'élevage) à l'aide d'un système utilisé pour le traitement des eaux usées d'origine domestique. Dans tous les cas, l'efficacité de récupération globale de Taste of BC serait supérieure à l'efficacité globale de 40 % qui est actuellement reconnue par les intervenants gouvernementaux de différents ministères du Québec pour les piscicultures présentement en opération sur son territoire.

Pour les ST, il y a une accumulation dans le système d'élevage avant leur évacuation par le trop-plein de celui-ci. Le tout est possiblement causé par la faible capacité de les récupérer par le filtre à tambour, le seul système de traitement permettant de sortir du système d'élevage les rejets des poissons. Les MES sont pratiquement absentes du trop-plein d'eau du système et majoritairement présentes dans les eaux de lavage du filtre à tambour. Dans l'eau d'élevage, les concentrations en MES se sont maintenues en dessous de 10 mg/l, ce qui permet d'offrir une très bonne qualité d'eau pour les poissons (Timmons et Ebeling, 2010). Malgré ces faits et les efforts déployés, il a été difficile d'échantillonner ces MES dans les eaux de lavage du filtre de façon optimale et en continu en raison de leur capacité à sédimenter rapidement dans le puits de relevage de ces eaux. Pour cette raison, les valeurs des efficacités de récupération finales sont basées sur les mesures des charges (PT, ST et MES) retrouvées dans le trop-plein d'eau du système d'élevage. L'utilisation d'un système d'injection d'ozone dans l'eau d'élevage semble avoir un effet favorable, mais non quantifié, sur les efficacités de récupération obtenues. L'ozone permet d'éclaircir ou de réduire la turbidité de l'eau d'élevage en améliorant la récupération par le filtre à tambour d'une fraction des petites particules en suspension, tout en modifiant la composition de celles non récupérées, en les rendant invisibles sous une forme dissoute ou colloïdale.

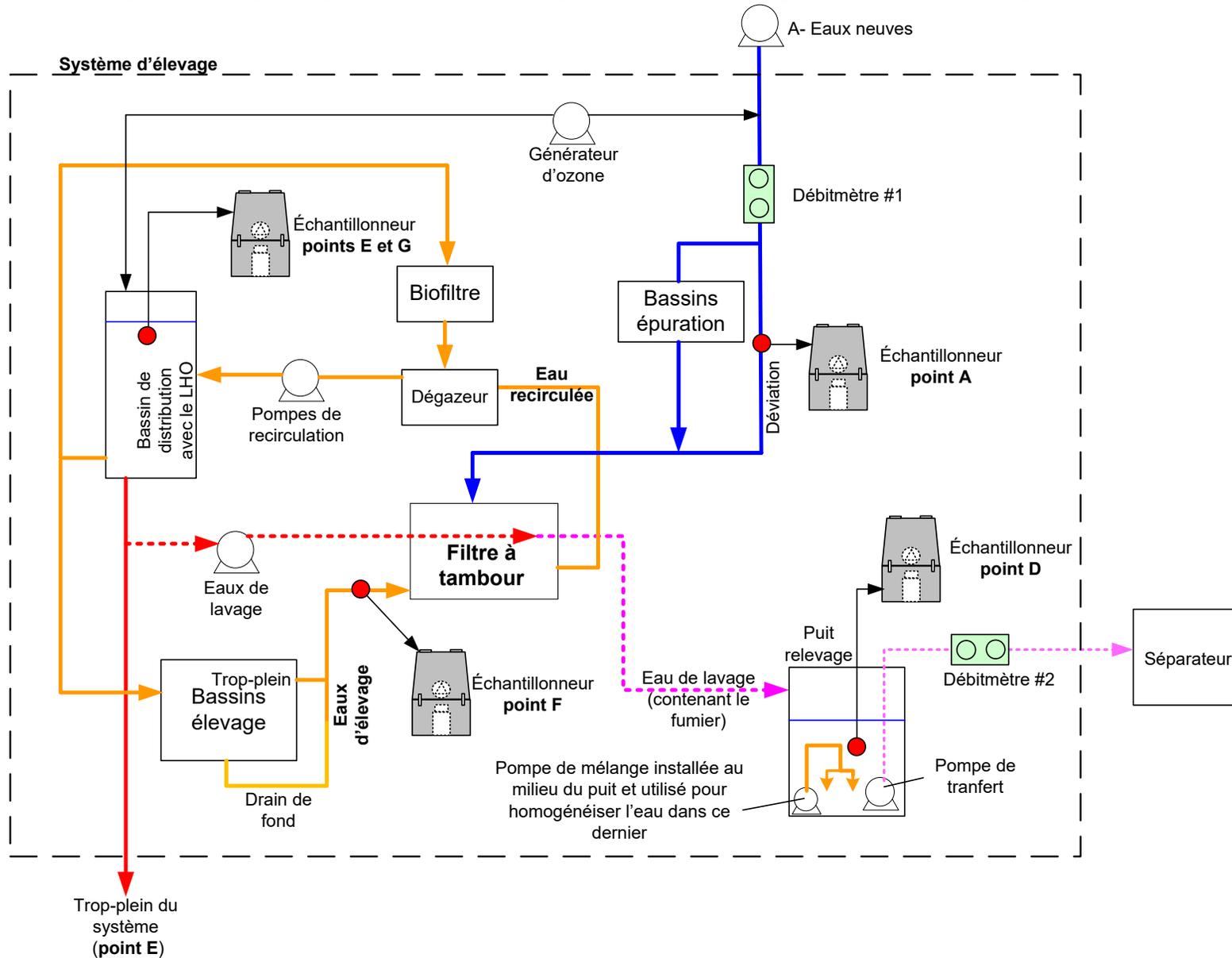
Avec une production de 100 tonnes par année de truite arc-en-ciel, cette pisciculture représente bien le modèle de système en recirculation intensive de l'eau que l'industrie piscicole québécoise désire développer. Les mesures d'efficacité environnementale qui ont été déterminées dans le projet permettront de mieux définir l'impact de ces systèmes et de faciliter leur implantation. Le projet a été réalisé à même une production de truite arc-en-ciel, mais tout indique que les mêmes résultats seraient similaires avec les autres espèces de poisson, telles que les salmonidés et percidés, déjà en production commerciale. En effet et selon Dalsgaard et coll. (2013), tous les systèmes en recirculation sont conçus pour assurer les meilleures conditions d'élevage pour les poissons. Ils permettent d'optimiser la croissance des poissons, la consommation de la moulée et de l'oxygène tout en assurant la meilleure efficacité de traitement des eaux d'élevage en permettant, en outre, l'évacuation la plus rapide des fumiers générés par le poisson. L'espèce de poisson exige d'ajuster les paramètres de conception du système d'élevage selon ces besoins, tels que la température, la salinité, le type de moulée ou les densités de biomasse. Le système en recirculation intensive de l'eau est par la suite mis en place pour assurer la meilleure productivité et la meilleure qualité de l'eau d'élevage. Le projet a confirmé que ces systèmes en recirculation intensive de l'eau sont en mesure de récupérer une très grande proportion des rejets des poissons tout en les concentrant dans des effluents à faible débit. L'efficacité environnementale globale du site de production sera finalement déterminée selon la méthode déployée pour traiter et conserver le phosphore contenu dans la ligne de récupération des fumiers. Cela ouvre la porte à l'utilisation de système de traitement plus évolué pour le traitement de la totalité des 2 effluents du système d'élevage : trop-plein d'eau et cette ligne d'eau contenant les fumiers récupérés.

## BIBLIOGRAPHIE

- Boucher, E., A. Dubé, E. Proulx et G. Vandenberg. 2013. Vers une meilleure caractérisation des rejets (azote, phosphore, solides) générés par la truite alimentée avec des moulées commerciales actuellement utilisées au Canada. Partenariat interprovincial pour le développement durable de l'aquaculture en eau douce, mars 2013. 50 pages.
- Dalsgaard, J., I. Lund, R. Thorarinsdottir, A. Drengstig, K. Arvonen and P. B. Pedersen. 2013. Farming different species in RAS in Nordic countries: Current status and future perspectives. *Aquacultural Engineering* 53 (March 2013): 2-13.
- Davidson, J., C. Good, C. Welsh and S. Summerfelt. 2011. The effects of ozone and water exchange rates on water quality and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* performance in replicated water recirculating systems. *Aquacultural Engineering* 44 (3, May 2011): 80-96.
- Davidson, J., T. May, C. Good, T. Waldrop, B. Kenney, B. F. Terjesen and S. Summerfelt. 2016. Production of market-size North American strain Atlantic salmon *Salmo salar* in a land-based recirculation aquaculture system using freshwater. *Aquacultural Engineering* 74 (September 2016): 1-16.
- Gagnon, D. 2014. Détermination expérimentale des critères de chaulage pour la rétention du phosphore du surnageant de bassins d'épaississement et de stockage des boues piscicoles. Mémoire de maîtrise. Département des Génies Civil, Géologique et des Mines de l'école Polytechnique de Montréal. 179 pages.
- Gokoglu, N., P. Yerlikaya and E. Cengiz. (2004). Effects of cooking methods on the proximate composition and mineral contents of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Food Chemistry* 84(1): 19-22.
- Heldbo, J. (Tech. Ed.) and P. Klee. (Ed. in C.). 2014. Rethinking aquaculture to boost resource and production efficiency. Sea and land-based aquaculture solutions for farming high quality seafood. The Rethink Water network and Danish Water Forum White Papers, Copenhagen. Available at [www.rethinkwater.dk](http://www.rethinkwater.dk). 32 pages.
- Ouellet, G. 1999. Les rejets des stations piscicoles et leurs impacts environnementaux, Rapport technique, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries, et de l'Alimentation du Québec, Canada. 25 pages.
- Martins, C. I. M., E. H. Eding, M. C. J. Verdegem, L. T. N. Heinsbroek, O. Schneider, J. P. Blancheton, E. Roque d'Orbcastel and J. A. J. Verreth. 2010. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. *Aquacultural Engineering* 43 (3, November 2010): 83-93.
- MAPAQ. 2009. Bilan de mi-parcours – Février 2009. Direction générale des pêches et de l'aquaculture commerciales. Direction de l'aquaculture et du développement durable. 19 pages.

- MAPAQ. 2016. Données internes. Évaluation d'un système de traitement évolué d'un effluent provenant d'un système en recirculation intensive de l'eau. Données d'entreprises, essais préliminaires sur les efficacités de récupération du phosphore total.
- Maxxam. 2016a. Ortho-, Total Dissolved, and Total Phosphate by Automated Method BBY6SOP-00013. March 2016 Maxxam Analytics. 6 pages.
- Maxxam. 2016b. Determination of Total Suspended Solids in Waters and Wastewaters BBY6SOP-00034. March 2016 Maxxam Analytics. 3 pages.
- Maxxam. 2016c. Determination of Total Solids and Total Solids Fixed in Waters. BBY6SOP-00035. March 2016 Maxxam Analytics. 3 pages.
- MDDELCC. 2011. Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique. Direction des politiques du secteur municipal. Service de l'expertise technique en eau. Février 2011. 318 pages.  
<http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/domestique/index.htm>
- MDDELCC. 2016. Programme d'accréditation des laboratoires d'analyses. Champs et domaines d'accréditation en vigueur. Analyse agricole, domaine d'accréditation 1050 pour le Contenu en phosphore et pourcentage d'humidité. 16 pages.
- MDDELCC. 2017. Grille d'analyse environnementale pour les piscicultures en fonction des rejets de phosphore total. [http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/milieu\\_agri/aquacole/mesures-encadrement.htm](http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/milieu_agri/aquacole/mesures-encadrement.htm).
- Taste of BC Aquafarms Incorporated. 2015. Performance Metrics – Optimizing Water Quality through Ozonation and Waste Stream Optimization through Harvest of Waste Solids. Final Report to Tides Canada March 2015. 14 pages.
- Timmons, M. B. and J. M. Ebeling. 2010. Recirculating Aquaculture, second edition. Cayuga Aqua Ventures edition. NRAC Publication No. 401-2010. 948 pages.

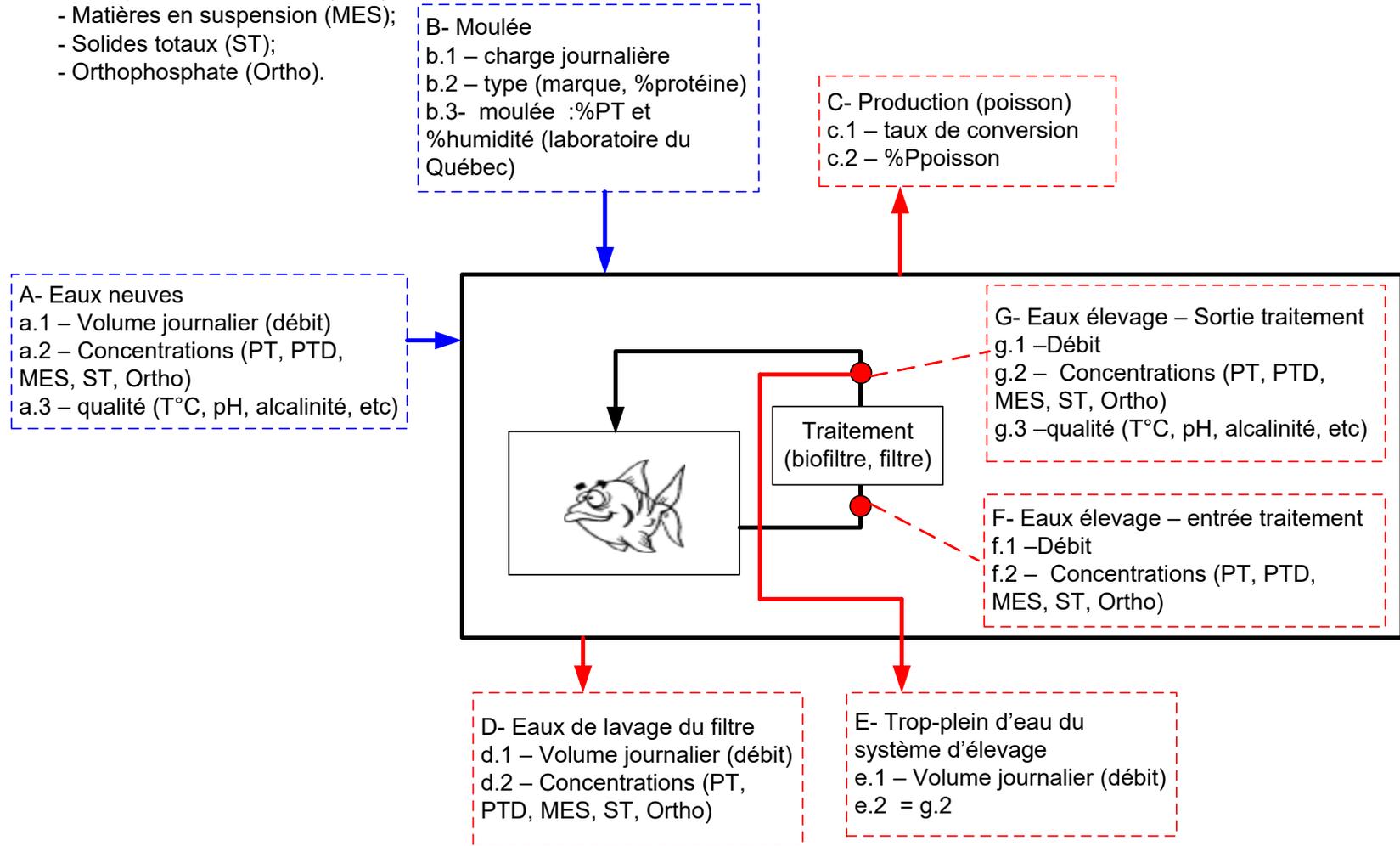
# ANNEXE I: Diagramme du principe du système d'élévation et localisation des points d'échantillonnage



## ANNEXE II: Paramètres de mesure pour le calcul des bilans de masse

**Bilan de masse journalier, en mesurant les concentrations des paramètres suivants :**

- Phosphore total (PT);
- Phosphore total dissous (PTD);
- Matières en suspension (MES);
- Solides totaux (ST);
- Orthophosphate (Ortho).



### ANNEXE III: Résultats des concentrations déterminées en laboratoire

**Tableau 6 : Concentrations de phosphore total (TP), de solides totaux (TS), de solides en suspension (SS), de phosphore dissout total (TDP) et d'orthophosphates (Ortho) tirées des échantillons d'eau (n.m = non mesuré).**

| Séance de mesure | point d'échantillonnage | PT     | TS     | MES    | PTD    | Ortho  | % PTD / PT | % Ortho / PTD |
|------------------|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|---------------|
|                  |                         | (mg/l) | (mg/l) | (mg/l) | (mg/l) | (mg/l) | %          | %             |
| 21-févr-16       | A                       | 0,92   | n.m    | 1,0    | 0,92   | 0,92   | 100%       | 100%          |
|                  | D                       | 25,27  | n.m    | 898,0  | 10,83  | 6,90   | 43%        | 64%           |
|                  | E/G                     | 2,63   | n.m    | 2,3    | 2,66   | 2,62   | 101%       | 98%           |
|                  | F                       | 2,75   | n.m    | 7,4    | 2,63   | 2,73   | 96%        | 104%          |
| 22-févr-16       | A                       | 0,83   | n.m    | 1,0    | 0,83   | 0,79   | 100%       | 95%           |
|                  | D                       | 27,07  | n.m    | 950,0  | 6,96   | 7,25   | 26%        | 104%          |
|                  | E/G                     | 2,73   | n.m    | 2,6    | 2,66   | 2,58   | 97%        | 97%           |
|                  | F                       | 2,75   | n.m    | 4,8    | 2,71   | 2,72   | 98%        | 100%          |
| 23-févr-16       | A                       | 0,88   | n.m    | 1,0    | 0,89   | 0,84   | 102%       | 94%           |
|                  | D                       | 24,10  | n.m    | 692,0  | 9,17   | 7,40   | 38%        | 81%           |
|                  | E/G                     | 2,83   | n.m    | 1,8    | 2,89   | 2,72   | 102%       | 94%           |
|                  | F                       | 2,80   | n.m    | 2,6    | 2,90   | 2,69   | 104%       | 93%           |
| 21-mars-16       | A                       | 0,65   | 198,00 | 2,3    | 0,62   | 0,54   | 95%        | 87%           |
|                  | D                       | 20,67  | 1470,0 | 1000,0 | 13,37  | 4,71   | 65%        | 35%           |
|                  | E/G                     | 2,61   | 704,0  | 4,4    | 2,65   | 2,52   | 102%       | 95%           |
|                  | F                       | 2,59   | 692,0  | 8,2    | 2,63   | 2,54   | 102%       | 96%           |
| 22-mars-16       | A                       | 0,71   | 218,0  | 2,5    | 0,68   | 0,60   | 96%        | 89%           |
|                  | D                       | 27,77  | 2300,0 | 1960,0 | 9,70   | 6,56   | 35%        | 68%           |
|                  | E/G                     | 3,28   | 730,0  | 5,4    | 2,60   | 2,56   | 79%        | 98%           |
|                  | F                       | 2,72   | 720,0  | 7,5    | 2,58   | 2,58   | 95%        | 100%          |
| 23-mars-16       | A                       | 0,69   | 234,0  | 2,1    | 0,69   | 0,67   | 100%       | 98%           |
|                  | D                       | 26,00  | 2120,0 | 1280,0 | 14,90  | 7,63   | 57%        | 51%           |
|                  | E/G                     | 2,50   | 748,0  | 7,9    | 2,45   | 2,49   | 98%        | 102%          |
|                  | F                       | 2,53   | 748,0  | 7,9    | 2,53   | 2,49   | 100%       | 98%           |
| 25-mai-16        | A                       | 0,52   | 100,0  | 2,0    | 0,53   | 0,50   | 102%       | 94%           |
|                  | D                       | 27,87  | 2050,0 | 726,0  | 11,64  | 5,15   | 42%        | 44%           |
|                  | E/G                     | 5,06   | 1510,0 | 5,6    | 5,03   | 5,02   | 99%        | 100%          |
|                  | F                       | 4,84   | 1460,0 | 5,1    | 4,83   | 4,99   | 100%       | 103%          |
| 26-mai-16        | A                       | 0,49   | 196,0  | 1,2    | 0,51   | 0,48   | 104%       | 96%           |
|                  | D                       | 26,00  | 1830,0 | 754,0  | 5,23   | 4,85   | 20%        | 93%           |
|                  | E/G                     | 4,83   | 1490,0 | 5,4    | 4,99   | 4,90   | 103%       | 98%           |
|                  | F                       | 4,89   | 1520,0 | 9,2    | 4,75   | 4,32   | 97%        | 91%           |
| 27-mai-16        | A                       | 0,49   | 210,0  | 1,2    | 0,47   | 0,48   | 97%        | 102%          |
|                  | D                       | 27,00  | 2000,0 | 876,0  | 6,17   | 4,99   | 23%        | 81%           |
|                  | E/G                     | 4,82   | 1410,0 | 2,3    | 4,76   | 4,79   | 99%        | 101%          |
|                  | F                       | 4,74   | 1370,0 | 6,3    | 4,79   | 4,74   | 101%       | 99%           |
| 31-août-16       | A                       | 2,37   | 1460,0 | 1,1    | 2,44   | 2,35   | 103%       | 96%           |
|                  | D                       | 21,90  | 2070,0 | 1060,0 | 19,20  | 0,73   | 88%        | 4%            |
|                  | E/G                     | 4,48   | 1990,0 | 7,7    | 4,37   | 4,33   | 97%        | 99%           |
|                  | F                       | 4,37   | 1910,0 | 6,4    | 4,40   | 4,35   | 101%       | 99%           |
| 01-sept-16       | A                       | 2,54   | 1520,0 | 2,8    | 2,54   | 2,47   | 100%       | 97%           |
|                  | D                       | 23,93  | 2020,0 | 978,0  | 18,70  | 1,33   | 78%        | 7%            |
|                  | E/G                     | 4,47   | 1910,0 | 5,7    | 4,50   | 4,37   | 101%       | 97%           |
|                  | F                       | 4,35   | 1940,0 | 7,0    | 4,33   | 4,31   | 100%       | 100%          |
| 02-sept-16       | A                       | 2,51   | 1430,0 | 1,8    | 2,53   | 2,43   | 101%       | 96%           |
|                  | D                       | 19,40  | 2060,0 | 820,0  | 18,20  | 3,89   | 94%        | 21%           |
|                  | E/G                     | 4,47   | 1980,0 | 3,8    | 4,45   | 4,53   | 100%       | 102%          |
|                  | F                       | 4,67   | 2040,0 | 6,0    | 4,67   | 4,34   | 100%       | 93%           |
| 12-oct-16        | A                       | 0,72   | 416,0  | 1,6    | 0,71   | 0,69   | 99%        | 97%           |
|                  | D                       | 14,60  | 3040,0 | 2140,0 | 5,00   | 4,46   | 34%        | 89%           |
|                  | E/G                     | 4,36   | 1870,0 | 12,4   | 4,30   | 4,10   | 99%        | 95%           |
|                  | F                       | 4,41   | 1830,0 | 7,9    | 4,45   | 4,14   | 101%       | 93%           |
| 13-oct-16        | A                       | 0,80   | 444,0  | 1,4    | 0,82   | 0,77   | 102%       | 94%           |
|                  | D                       | 25,47  | 2330,0 | 918,0  | 5,80   | 4,16   | 23%        | 72%           |
|                  | E/G                     | 4,18   | 1790,0 | 8,5    | 4,18   | 3,98   | 100%       | 95%           |
|                  | F                       | 4,21   | 1730,0 | 10,2   | 4,18   | 4,03   | 99%        | 96%           |
| 14-oct-16        | A                       | 0,64   | 428,0  | 0,0    | 0,64   | 0,63   | 100%       | 99%           |
|                  | D                       | 17,20  | 1640,0 | 549,0  | 5,89   | 3,54   | 34%        | 60%           |
|                  | E/G                     | 3,99   | 1570,0 | 7,2    | 4,01   | 3,99   | 101%       | 100%          |
|                  | F                       | 4,07   | 1570,0 | 7,2    | 4,04   | 3,81   | 99%        | 94%           |