LE PROGRAMME DE RECHERCHE SUR LES CYANOBACTÉRIES AU LAC BROMONT

CAHIER 7

ÉTUDE PENDANT LA PÉRIODE LIBRE DE GLACE DE 2010

Dolors Planas
Claire Vanier
Estelle Lavirotte

UQÀM | Service aux collectivités
Université du Québec à Montréal

acbvlb

Comité d'encadrement depuis 2007

Dolores Planas, professeure au Département des Sciences biologiques de l'UQAM, responsable de la recherche

Béatrix Beisner, professeure au Département des Sciences biologiques de l'UQAM

Yves Gosselin, Anne Joncas, Marcel Samson et Martin Miron, de Action conservation du bassin versant du lac Bromont (ACBVLB)

Jean-François L. Vachon, Nicolas Rousseau et Mylène Leblanc, de la Municipalité de Bromont

Claire Vanier, agente de développement, Service aux collectivités de l'UQAM

Rédaction
Dolores Planas
Claire Vanier
Estelle Lavirotte, stagiaire

Révision et coordination de la production
Claire Vanier, Service aux collectivités de l'UQAM

Photographie de la page couverture : Myriam Jourdain

Soutiens financiers et techniques
Programme d'aide financière à la recherche et à la création, UQAM - recherche dans le cadre des services aux collectivités, Volet 2
Municipalité de Bromont
Centre de recherche en géochimie et géodynamique - Groupe de Recherche Interuniversitaire en Limnologie et en Environnement Aquatique (GÉOTOP-GRILL)
Ministère du développement durable de l'environnement et des parcs (MDDEP)
Programme Études-travail
Programme Horizons sciences, d'Environnement Canada
Service aux collectivités de l'UQAM
Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG)
Fonds de recherches du Québec - nature et technologies (FQRNT)
Organisme de bassin versant de la Yamaska (OBY) (anciennement, Conseil de gestion du bassin versant de la Yamaska - COGEBY)
Épicerie Métro de Bromont.

Service aux collectivités de l'Université du Québec à Montréal
Case postale 8888, Succ. Centre-Ville,
Montréal (Qc) H3C 3P8
Téléphone : (514) 987-3177
Télécopieur : (514) 987-6845
www.sac.uqam.ca/accueil.aspx

Action conservation du bassin versant du lac Bromont
Case postale 17
Bromont (Qc) J2L 1A9
(450) 263-9130
Courriel : info@lacbromont.ca
www.lacbromont.ca

ISBN 978-2-923773-15-5

Dépôt légal-Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2014

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES II

LISTE DES TABLEAUX III

LISTE DES ABRÉVIATIONS III

INTRODUCTION 1

OBJECTIFS DE L'ÉTUDE 2010 2

MÉTHODOLOGIE SPÉCIFIQUE À L'ÉTUDE 2010 3

- **Sites échantillonnés et variables mesurées** 3
- **Échantillonnage dans les ruisseaux, dans le lac et près des rives du lac** 3
- **Traitement des informations** 5

PRÉSENTATION ET DISCUSSION DES RÉSULTATS DE L'ÉTUDE 2010 7

- **Combien de nutriments sont entrés au lac par les ruisseaux, pendant la période libre de glace de 2010 ?** 8
  - Les apports de nutriments au lac pendant cette période et les questions méthodologiques 8
- **Quelle est la dynamique des nutriments et des cyanobactéries dans la colonne d'eau, pendant la période libre de glace de 2010 ?** 15
- **Les zones résidentielles sont-elles une source externe de nutriments pour le lac?** 21

PREMIÈRES CONCLUSIONS ET SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE 2010 23

- **Premières conclusions** 23
  - Les questions soulevées en 2009-2010 23
  - Une question issue de l'étude de 2010 24
- **Synthèse de l'étude pendant la période libre de glace de 2010** 25

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation des sites d'échantillonnage du lac et des ruisseaux en 2010 3

Figure 2 : Photographies de l'échantillonneur en continu (Isco 6700/6712) utilisé; (A) : vue général et (B) : vue de l'intérieur avec les 24 flacons d'échantillonnage. 4

Figure 3 : Charges de PT venant de R1 et de R3, calculées des mesures journalières (colonne brune) et à partir des mesures bimensuelles (colonne orange) pendant l'été 2010 8

Figure 4 : Quantité de pluie tombée pendant la période libre de glace et pendant les deux périodes d'échantillonnage en continu 9

Figure 5 : Comparaison des résultats suivant la fréquence des échantillonnages; graphiques du haut : apports de PT (gauche) et de NT (droite) par chaque ruisseau; graphiques du bas : proportions des apports en PT (gauche) et en NT (droite) de chaque ruisseau, pendant la période libre de glace de 2010.....10

Figure 6 : Charges de R1 en PT mesurées de façon bimensuelle (en orange), de façon continue (en brun) et en continu les jours de pluie (en rouge) ; niveaux de précipitations (point).....12

Figure 7 : Charges de R3 en PT mesurées de façon bimensuelle (en orange), de façon continue (en brun) et en continu les jours de pluie (en rouge) ; niveaux de précipitations (point).....13

Figure 8 : Bilans et charges nettes de phosphore total (PT) en amont des ruisseaux et à leur embouchure pendant la période libre de glace de 2010 14

Figure 9 : Distribution (A) de la température et (B) de l'oxygène dans la colonne d'eau du lac pendant la période libre de glace de 2010.....15

Figure 10 : Variation des concentrations en phosphore (PT, PD, PP) dans les trois couches de la colonne d'eau pendant la période libre de glace de 2010 18

Figure 11 : Distribution de la biomasse des cyanobactéries de la surface au fond du lac, pendant la période libre de glace de 2010 19

Figure 12 : Photographie prise au lever du soleil, à la mi-juillet 2010, lors de la remontée de plaques de *Plankthotrix agardhii* suite à une soirée et une nuit orageuses.....20

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Fréquences d'échantillonnage dans les ruisseaux et dans le lac pendant la période libre de glace de 2010.....5

Tableau 2 : Concentrations en phosphore et en azote inorganiques dissous (PO_4, NH_4) mesurées dans l'eau interstitielle des sédiments de la zone résidentielle et de la zone témoin en août 2010 21

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ACBVLB : Action conservation du bassin versant du lac Bromont

MES : Matières en suspension dans l'eau

N : Azote

ND : Azote dissous dans l'eau

NH_4 : azote inorganiques dissous dans l'eau interstitielle des sédiments

NP : Azote particulaire

NT : Azote total

P : Phosphore

PD : Phosphore dissous

PD : Phosphore dissous

PO_4 : Phosphore inorganiques dissous dans l'eau interstitielle des sédiments

PP : Phosphore particulaire

PT : Phosphore total

SAC : Service aux collectivités de l'UQAM

UQAM : Université du Québec à Montréal

INTRODUCTION

Entre 2007 et 2011, un Programme de recherche partenariale a été réalisé au lac Bromont par Dolores Planas et Béatrix Beisner, de l'Université du Québec à Montréal (UQAM), avec Action conservation du bassin versant du lac Bromont (ACBVLB), suite à une demande de cette dernière. **Globalement, ce programme de recherche visait à étudier la présence de cyanobactéries dans le lac Bromont, à en déterminer les causes et à faire des recommandations**. La croissance de ces algues étant liée à une augmentation de la fertilité de l'eau des lacs, particulièrement par l'apport de phosphore, la recherche s'est principalement penchée sur les sources potentielles de nutriments et le lien entre ces nutriments et la croissance des cyanobactéries. Le Programme de recherche a été initialement soutenu par le Service aux collectivités puis, en 2007, la Municipalité de Bromont s'est jointe au comité d'encadrement, a collaboré à son financement et a soutenu la démarche.

Suite à ces études et en vue de favoriser la diffusion et l'appropriation des connaissances mises en lumière par le programme de recherche, neuf Cahiers ont été produits. De façon générale, les informations et les données présentées dans ces cahiers sont basées sur les études réalisées dans le cadre du Programme de recherche bien que quelques informations puissent être tirées d'études parallèles.

Le premier cahier (Cahier 1) présente les caractéristiques du lac Bromont et les objectifs du programme de recherche, le Cahier 2 traite des connaissances générales sur les lacs, alors que le Cahier 3 porte sur les méthodologies générales employées dans les études au lac Bromont. Les cinq cahiers suivants, incluant le présent cahier, font état des résultats des études réalisées au lac Bromont en 2007-2008 (Cahier 4), en 2008-2009 (Cahier 5), en 2009-2010 (Cahier 6), et pendant les périodes libres de glace de 2010 (Cahier 7) et de 2011 (Cahier 8). Chaque cahier reflète les questions suscitées par les résultats des années antérieures, outre d'assurer un suivi des relations entre les nutriments et les algues, dans le lac. Par ailleurs, étant donné l'importance de la **période libre de glace**, pour la croissance des algues mais aussi dans la fréquence et l'intensité des apports au lac par les ruisseaux, depuis les débuts, les études ont toujours accordé une place centrale à cette période. Les méthodes spécifiques employées pour répondre aux objectifs annuels de recherche sont présentées dans les cahiers concernés (Cahiers 4 à 8). Pour les recherches directement associées à des projets de stage ou de maitrise, le lecteur pourra référer aux documents concernés, dans la liste des **publications** produites dans le cadre du Programme de recherche au lac Bromont, fournie au Cahier 1.

Le dernier cahier, le Cahier 9, synthétise les résultats les plus importants et présente des recommandations pour assure la qualité des eaux du lac. Outre les résultats annuels, ces cahiers présentent aussi en introduction les méthodologies spécifiques aux objectifs de recherche de ces années.

De plus, une brève formation et un protocole d'échantillonnage ont été développés, dans la perspective que la municipalité et l'ACBVLB maintiennent leur collaboration dans le suivi de la qualité de l'eau du lac.

Plusieurs personnes et organisations ont contribué à la réalisation du Programme de recherche au lac Bromont. Sans la générosité de tous, le Programme de recherche n'aurait pu se réaliser. Nous ne reprenons pas ici les **remerciements** : le lecteur pourra en consulter la liste dans le Cahier 1.

OBJECTIFS DE L'ÉTUDE 2010

L'étude de 2010 diffère des précédentes en ceci qu'elle a été réalisée uniquement pendant la période libre de glace et qu'elle visait surtout à confirmer certaines hypothèses.

Ainsi, les objectifs en 2010 étaient :

1. Assurer le suivi des apports en nutriments par les ruisseaux pendant la période libre de glace :

Cet aspect de la recherche comportait deux questions supplémentaires, au plan méthodologique :

- Les échantillonnages aux 2 semaines (bimensuels) dans les ruisseaux pendant la période libre de glace reflètent-ils les apports réels de nutriments au lac ?

  Depuis 2007, les ruisseaux sont échantillonnés aux 2 semaines, pendant la période libre de glace. Un questionnement demeure quant à la représentativité de cette fréquence d'échantillonnage : Se peut-il que cette fréquence d'échantillonnage bimensuel sous-estime les apports des ruisseaux au lac, notamment lors de précipitations intenses?

  À fin de répondre à cette question, il a été décidé de suivre en continu les apports de nutriments dans 2 ruisseaux (R1 et R3), à l'aide d'un échantillonneur en continu fourni par la Ville de Bromont. Les données collectées en continu, comparées aux données bimensuelles, permettront de savoir si les apports en nutriments évalués sur la base des données bimensuelles sont sous-estimés ou surestimés.

- La mesure des apports de nutriments en amont des ruisseaux reflète-t-elle les apports réels des ruisseaux au lac ?

  Ce questionnement quant aux sites d'échantillonnage des nutriments dans les ruisseaux a déjà été abordé en 2009-2010[1], et les résultats suggéraient que la mesure en amont des ruisseaux sous-estimait les apports réels et qu'il y avait un apport substantiel de nutriments venant de terrains localisé près de l'embouchure des ruisseaux. Une deuxième saison d'échantillonnage est ainsi nécessaire pour confirmer ou infirmer ces résultats.

2. Assurer le suivi de la dynamique des nutriments et des cyanobactéries dans la colonne d'eau du lac pendant la période libre de glace, tel que réalisé depuis les débuts au lac Bromont.

3. Poursuivre l'étude de 2009-2010 sur la possibilité que les zones résidentielles autour du lac puissent représenter des sources de nutriments pour le lac. Le phosphore et l'azote inorganique dissous (PO_4 et NH_4) dans l'eau interstitielle des sédiments de 2 des 4 zones du littoral étudiées l'année précédente (P3-5 et P5).

[1] Voir le Cahier 6

MÉTHODOLOGIE SPÉCIFIQUE À L'ÉTUDE 2010

Sites échantillonnés et variables mesurées

SITES ÉCHANTILLONNÉS

- Les quatre ***ruisseaux qui alimentent le lac*** : Petit Galop (R1), Coulée du Rocher (R2), des Cervidés (R3) et Wright (R4).
- Les ruisseaux R1 et R3 pour ***les mesures en continu*** des apports en nutriments.
- Le ruisseau de ***décharge*** : Beaver Meadow (R5).
- Le ***lac*** dans sa partie la plus profonde, au centre, dans les 3 couches de la colonne d'eau (***épilimnion, métalimnion, hypolimnion***).
- L***'eau interstitielle des sédiments***, à deux zones du littoral du lac

VARIABLES MESURÉES [2]

- Les nutriments dans la colonne d'eau : phosphore et azote (total : PT, NT; dissous : PD, ND)
- Le phosphore et l'azote inorganiques dissous dans l'eau interstitielle des sédiments (PO_4 et NH_4)
- Le débit des ruisseaux
- L'oxygène et la température dans la colonne d'eau
- Les principaux groupes d'algues, la biomasse des cyanobactéries dans la colonne d'eau et l'identification des efflorescences

Échantillonnage dans les ruisseaux, dans le lac et près des rives du lac

La Figure 1 présente les sites d'échantillonnage dans les ruisseaux et le lac en 2010 et le Tableau 1 précise les périodes et les fréquences de ces échantillonnages.

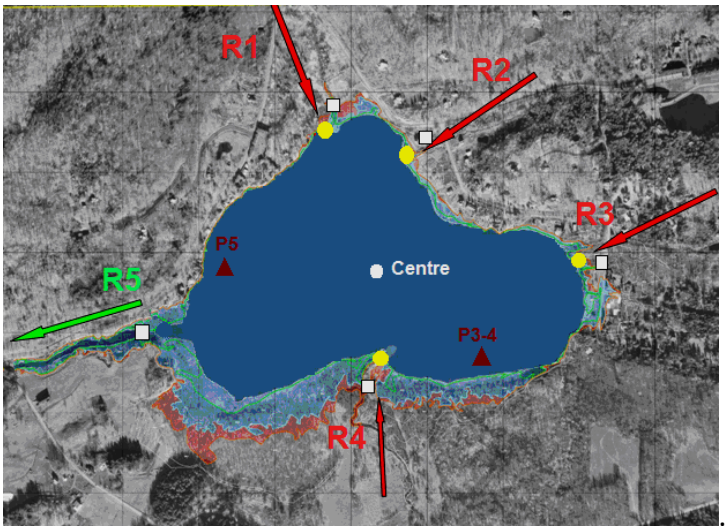


Figure 1 : Localisation des sites d'échantillonnage du lac et des ruisseaux en 2010

[2] Voir le Cahier 3, sur la méthodologie générale, pour plus de précisions

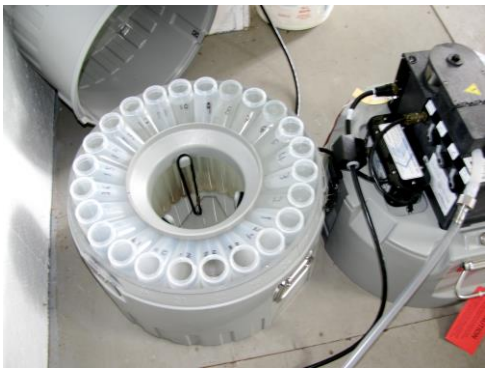
Dans cette figure, les **carrées blancs** représentent les sites d'échantillonnage des ruisseaux depuis 2007, soit en amont des ruisseaux; les **cercles jaunes** représentent, comme en 2009-2010, les sites d'échantillonnage à l'embouchure des ruisseaux, là où ils se jettent dans le lac. Pour la décharge (R5), seul site en aval (carré blanc) a été échantillonné, comme depuis 2007. Le c**ercle blanc**, dans la zone la plus profonde au centre du lac (~ 7 mètres), représente le site d'échantillonnage des trois couches de la colonne d'eau du lac (épilimnion, métalimnion, hypolimnion).

Les **triangles rouges** représentent les **deux sites du littoral** où ont été installés des dialyseurs pour mesurer les concentrations en phosphore et en azote inorganiques dissous dans l'eau interstitielle des sédiments. Un site est localisé près d'une zone résidentielle (P5 : près du R5) et un site sert de site témoin, hors des zones résidentielles (P3-4 : entre le R3 et le R4). Ces 2 sites ont déjà été étudiés à l'été 2009[3]. À chaque site, des dialyseurs ont été placé dans les sédiments à trois endroits en s'éloignant de la berge du lac : à une profondeur d'eau de 0,5m, de 1m et de 1,5m, ceci pour vérifier l'étendu des apports potentiels à partir des zones résidentielles.

ÉCHANTILLONNAGE POUR MESURES EN CONTINU DANS LES RUISSEAUX

Afin de vérifier la représentativité des mesures bimensuelles effectuées les années précédentes dans les ruisseaux, des mesures en continu des nutriments ont été prises dans le R1 et le R3, au cours de l'été 2010. Pour ce faire, un échantillonneur en continu (Isco 6700/6712) a été utilisé (Figure 2). Cet appareil a permis de mesurer en continu les concentrations en PT et en NT ainsi que le débit des ruisseaux étudiés.

L'échantillonneur (Figure 2 B) a été réglé de sorte que, à toutes les heures, l'échantillonneur distribue dans deux bouteilles 40 ml d'eau (par bouteille) pour un total de 960 ml par jour. S'il y avait des évènements de pluies (caractérisé par une élévation subite du niveau du ruisseau), l'échantillonneur remplissait deux autres bouteilles de 200 ml chacune, à toutes les heures (sur 5 heures maximum) si la vitesse d'élévation du niveau était égale ou supérieur à 10 cm par 30 minutes. Les bouteilles étaient ramassées une fois par semaine.



(A) **(B)**

Figure 2 : Photographies de l'échantillonneur en continu (Isco 6700/6712) utilisé; (A) : vue général et (B) : vue de l'intérieur avec les 24 flacons d'échantillonnage.

[3] Voir le Cahier 6 pour l'étude 2009-2010

Tableau 1 : Fréquences d'échantillonnage dans les ruisseaux et dans le lac pendant la période libre de glace de 2010

	R1, R2, R3, R4, R5		EN CONTINU	
RUISSEAUX	**EN AMONT**	**À L'EMBOUCHURE**	**R1**	**R3**
Phosphore	**26 avril au 27 septembre** aux 2 semaines	**26 avril au 27 septembre** aux 2 semaines	**4 juin au 25 juillet**	**25 juillet au 25 septembre**
Azote	**21 juin au 27 septembre** aux 2 semaines	**21 juin au 27 septembre** aux 2 semaines	- 2 bouteilles par 24 h heure - et, les jours de fortes pluies : + 2 bouteilles	
LAC	**26 avril au 27 septembre**			
CENTRE DU LAC **Phosphore Température, oxygène, Cyanobactéries**	aux semaines			
ZONES DU LITTORAL **Phosphore et azote (PO_4, NH_4)**	**Dialyseurs déposés le 19 août et ramassés 26 août**			

Traitement des informations

LES RUISSEAUX

TOUS LES RUISSEAUX

Comme l'année précédente, les **concentrations en nutriments** mesurées en amont des ruisseaux sont comparées à celles mesurées à leurs embouchures, pour confirmer ou non l'enrichissement de l'eau des ruisseaux entre les sites en amont et leur embouchure.

MESURES EN CONTINU DANS R1 ET R3

Les mesures d'échantillonnage effectuées en continu dans R1 puis dans le R3 permettent de comparer les apports de nutriments de ces ruisseaux aux mesures bimensuels faites pendant la même période (R1 : 4 juin au 25 juillet ; R3 : 25 juillet au 25 septembre). Cette comparaison permet de calculer un **facteur de correction** pour chaque ruisseau. Ce facteur de correction, qui est un ratio, est calculé à partir de la charge[4] totale estimée pour chaque ruisseau et pour chaque méthode d'échantillonnage (bimensuel; en continu), pour la durée du déploiement de l'échantillonneur.

Les facteurs de correction sont par la suite appliqués aux 2 autres ruisseaux, suivant la similitude de leur débit : le facteur du R1 est utilisé pour l'estimation des apports du R4 et le facteur du R3 pour l'estimation des apports du R2.

Les apports de nutriments calculés à partir des mesures prises avec l'échantillonneur en continu ***lors des périodes de pluie*** sont comparés aux apports calculés le jour d'échantillonnage bimensuel le plus rapproché, dans le temps, des épisodes de précipitations relevées avec l'échantillonneur.

[4] Une charge a été calculée pour chaque méthode d'échantillonnage, en multipliant les concentrations et les débits mesurés suivant chaque méthode. Voie le Cahier 3 pour le détail du calcul de la charge.

Ceci permet de savoir si les échantillonnages bimensuels sous-estiment ou non les apports de nutriments lors des précipitations importantes.

LE LAC

La colonne d'eau au centre du lac

Les mesures des **concentrations en phosphore,** de la **température et de l'oxygène** dans la colonne d'eau (épilimnion, métalimnion, hypolimnion) au centre du lac permettent de connaître leur évolution saisonnière en fonction de la profondeur de l'eau, pendant la période libre de glace. La température et l'oxygène ont un effet direct (température) ou indirect (oxygène) sur la croissance et **la distribution des algues**, qui est aussi évaluée, comme les années précédentes.

Les zones du littoral

Les mesures de **concentrations en phosphore et en azote inorganiques dissous** (PO_4 et NH_4) contenues dans l'eau interstitielle des sédiments[5] des zones littorales du lac permettent d'estimer les quantités de nutriments dissous dans l'eau interstitielle des sédiments en rives, provenant du ruissellement ou, indirectement, de la percolation d'eaux venant des installations septiques. Ces nutriments accumulés à travers le temps dans les sédiments peuvent être relargués vers l'eau du lac et ainsi représenter des **apports des rives** a**u** lac La comparaison des mesures au site P5 avec celles au site témoin (P3-4) permet d'estimer si les habitations en bordure du littoral ont une influence sur la quantité de nutriments qui arrivent au lac par le littoral.

[5] Voir Cahier 3 sur la méthodologie générale pour plus de précisions

PRÉSENTATION ET DISCUSSION DES RÉSULTATS DE L'ÉTUDE 2010

Pour assurer le suivi des apports en nutriments par les ruisseaux et le suivi de la dynamique des nutriments et des algues dans le lac pendant la période libre de glace, ainsi que pour rencontrer les autres objectifs spécifiques à l'étude 2010, le présent Cahier est structuré suivant des questions similaires aux années précédentes, à quelques exceptions près.

Ici, seule la *période libre de glace* est étudiée puisque, tel que déjà signalé dans les cahiers antérieurs, c'est la période plus intéressante pour l'étude de la dynamique des algues dans le lac, puisque c'est à ce moment que se développent les cyanobactéries, les températures plus chaudes favorisant leur croissance. Le présent cahier aborde aussi les questionnements sur la représentativité des échantillonnages bimensuels et des sites d'échantillonnage, en amont des ruisseaux, avec le calcul des apports des ruisseaux. Aucun bilan de nutriments n'est présenté, l'objectif étant surtout ici de confirmer des aspects méthodologiques. Finalement, le questionnement sur les apports des zones résidentielles est abordé à la fin du présent document.

Le Cahier 7 est donc structuré selon les questions suivantes :

- Combien de nutriments sont entrés au lac par les ruisseaux, pendant la période libre de glace de 2010 ?
  - Les échantillonnages bimensuels dans les ruisseaux sont-ils représentatifs de la quantité réelle de nutriments qui arrivent au lac pendant cette période ? Le calcul des apports suivant les facteurs de correction.
  - La mesure des apports de nutriments en amont des ruisseaux reflète-t-elle les apports réels des ruisseaux au lac? Les terrains localisés entre les sites d'échantillonnage en amont des ruisseaux et leur embouchure contribuent-ils aux apports de nutriments des ruisseaux au lac ?
- Quelle est la dynamique des nutriments et des algues pendant la période libre de glace de 2010?
  - Comment se distribuent les nutriments dans la colonne d'eau du lac, pendant cette période ? Quels sont leurs liens avec la stratification et l'anoxie?
  - Comment se distribuent les cyanobactéries dans le lac pendant cette période ? Quelles sont leurs relations avec les distributions de nutriments, de température et d'oxygène?
- Les zones résidentielles sont-elles des sources de nutriments pour le lac, pendant la période libre de glace de 2010 ?

Combien de nutriments sont entrés au lac par les ruisseaux, pendant la période libre de glace de 2010 ?

Les apports de nutriments au lac pendant cette période et les questions méthodologiques

L'évaluation des apports des ruisseaux au lac nécessitent de répondre en premier lieu aux des interrogations au plan méthodologique posées en introduction, concernant la représentativité des mesures de nutriments en ruisseaux, telles que réalisée depuis 2007, compte tenu de la fréquence des échantillonnages (bimensuels *versus* en continu) et de l'importance potentielle des événements de fortes précipitations.

Une deuxième question, déjà posée en 2009-2010, est aussi à nouveau abordée ici, soit celle concernant la représentativité des apports calculés à partir de mesures en amont versus des mesures à l'embouchure des ruisseaux.

LES CHARGES DE PHOSPHORE SUIVANT LA FRÉQUENCE DES MESURES

La comparaison entre les mesures bimensuelles et les mesures en continu a été réalisée sur la base des données de phosphore total (PT) dans l'eau échantillonnée, par chaque méthode, dans les ruisseaux R1 et R3.

COMPARAISON DES CHARGES ESTIMÉES DE PT SUIVANT LES MESURES BIMENSUELLES ET EN CONTINU

La Figure 3 présente des estimés de charges en PT apportées au lac par le ruisseau Petit Galop entre le 26 juin et le 25 juillet (R1, à gauche), et par le ruisseau des Cervidés entre le 26 juillet et le 25 septembre (R3, à droite).

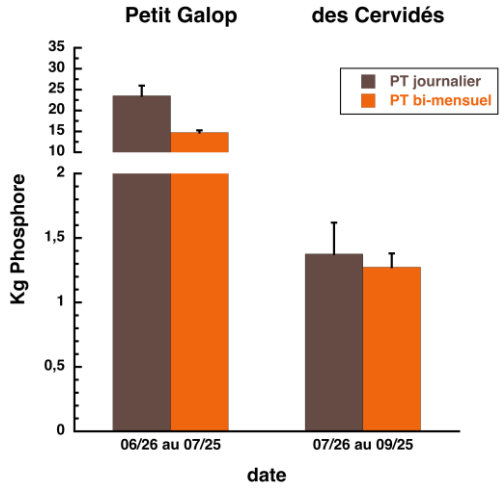


Figure 3 : Charges de PT venant de R1 et de R3, calculées des mesures journalières (colonne brune) et à partir des mesures bimensuelles (colonne orange) pendant l'été 2010

La Figure 3 montre que la charge de PT calculée avec les données en continu est plus élevée que celle calculée avec les données bimensuelles, surtout dans le cas du ruisseau Petit Galop (R1), où la différence est de 8 kg/mois (44%). Dans le cas de R1, le fait que les erreurs-types (petits bâtons en **T** au-dessus des colonnes) ne se chevauchent pas indique que la différence entre la mesure en

continue et les mesures bimensuelles est probablement significative et donc, que les mesures bimensuelles sous-estimes les apports au lac de PT par le R1.

Pour le ruisseau des Cervidés (R3), la différence (0,15 kg/mois : 1%) est beaucoup plus petite et ce bien que les précipitations y aient été plus importantes (voir la Figure 4). Ce ruisseau a un bassin versant très petit et avec des étangs artificiels, qui tamponnent probablement l'effet des apports des précipitations puisqu'ils retiennent les nutriments associés à la fraction particulaire[6]. Par ailleurs, les apports de PT par R3 tels que mesurés en continus montrent une très grande variabilité puisque, en août ces apports étaient relativement importants mais sont beaucoup moins élevés pas la suite (voir la Figure 7, plus loin).

La Figure 4, qui présente les précipitations tombées pendant la période libre de glace (colonne rouge) ainsi que pendant les deux périodes d'échantillonnage en continu, montre que la pluie tombée pendant l'échantillonnage sur le R3 représente 38% de toute la pluie tombée pendant la période libre de glace, alors que la pluie tombée pendant l'échantillonnage sur le R1 représente seulement 24% des précipitations. Notons que les précipitations totales pendant les 2 périodes d'échantillonnage en continu (26 juin au 25 septembre) représentent environ les deux tiers des précipitations totales entre le 26 avril et le 27 septembre.

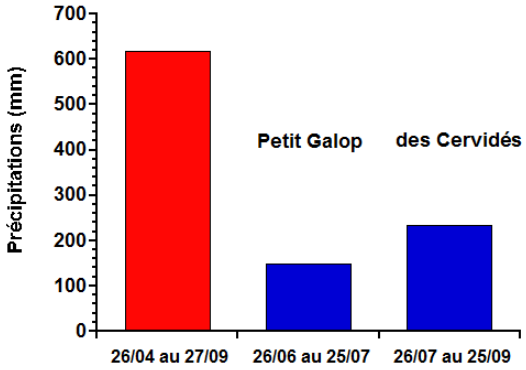


Figure 4 : Quantité de pluie tombée pendant la période libre de glace et pendant les deux périodes d'échantillonnage en continu

La charge de phosphore total est sous-estimée par un échantillonnage bimensuel dans le cas du R1, alors que la différence n'est pas significative dans le cas du R3.

COMPARAISON DES APPORTS ESTIMÉS DE NUTRIMENTS PAR LES RUISSEAUX SUIVANT LES MESURES BIMENSUELLES ET EN CONTINU

Sur la base des résultats présentés plus haut, des facteurs de correction ont été appliqués aux mesures bimensuelles faites dans chaque ruisseau, afin de mieux refléter les apports réels des ruisseaux au lac. Le facteur de correction calculé pour R1 est 1,6 (sans unité car il s'agit d'un ratio) et celui pour le R3 est 1,1. Ces résultats impliquent que, pour le R1, la charge calculée à partir de

[6] Voir Cahier 5, Figure 15, sur le bilan des MES dans les étangs

l'échantillonneur est 1,6 fois plus élevée que celle calculée à partir des données bimensuelles, ceci pour la période pendant laquelle l'échantillonneur était dans le R1. Pour R3, la différence entre les deux méthodes est moindre, étant donné la valeur du facteur de correction (1,1).

Le facteur de correction de R1 a aussi été appliqué aux mesures dans le R4, qui a un fort débit comme R1, alors que le facteur de correction de R3 a aussi été appliqué aux mesures dans le R2, de faible débit.

La Figure 5 est le résultat de ces calculs, exprimés en apports pendant le période libre de glace. Les deux graphiques du haut présentent les apports en phosphore (PT : gauche) et en azote (NT : droite) de chaque ruisseau, tel que calculés à partir des données bimensuelles (barres bleues) et à partir des données corrigées (barres vertes). Les graphiques du bas (ballons) présentent les proportions des apports totaux de PT (ballons de gauche) et de NT (ballons de droite) de chaque ruisseau au lac, encore ici selon les données bimensuelles et les données corrigées.

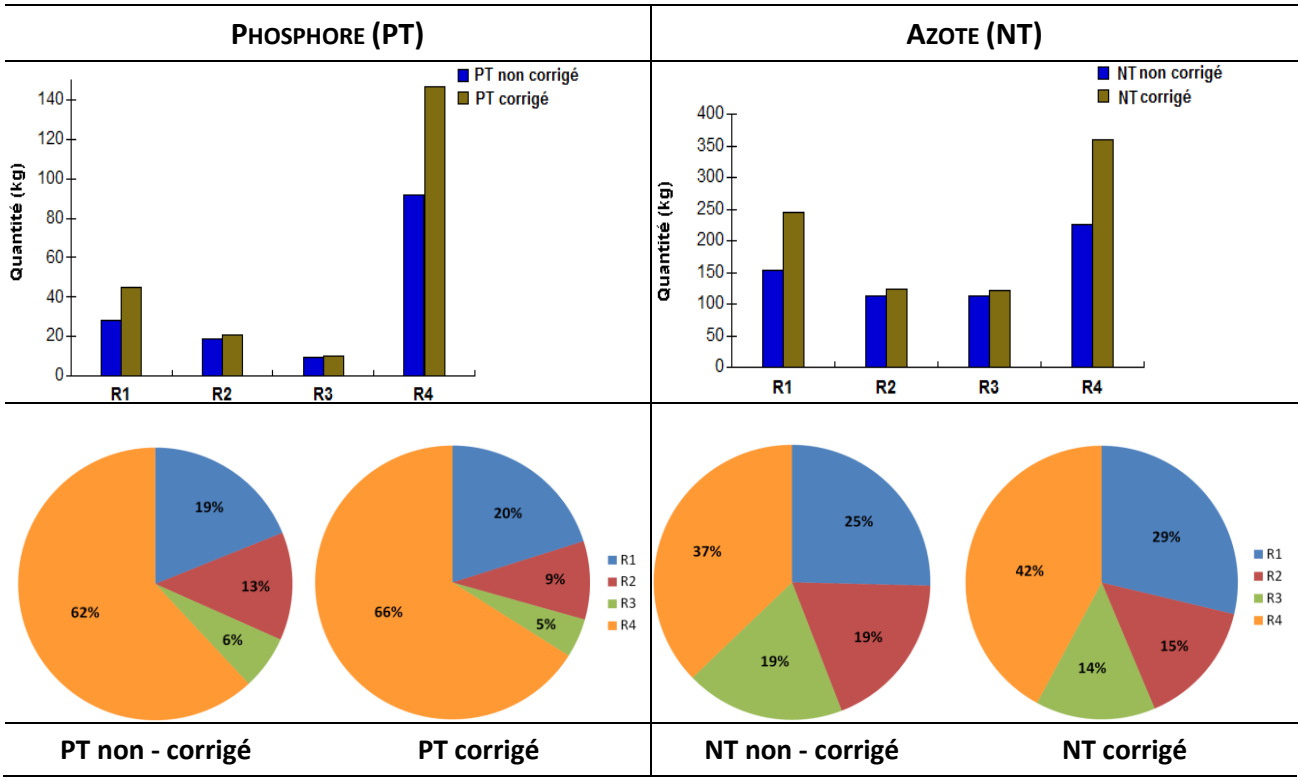


Figure 5 : Comparaison des résultats suivant la fréquence des échantillonnages; graphiques du haut : apports de PT (gauche) et de NT (droite) par chaque ruisseau; graphiques du bas : proportions des apports en PT (gauche) et en NT (droite) de chaque ruisseau, pendant la période libre de glace de 2010

Suivant les graphiques du haut de la Figure 5, les apports de PT et de NT par R1 et R4 sont sous-estimés lorsqu'ils sont calculés à partir de mesures bimensuelles (barres bleues). Ainsi, le PT apporté par R1 est sous-estimé d'environ 17 kg pour la période libre de glace de 2010 et le PT apporté par R4, d'environ 55 kg.

Dans les cas de R2 et R3, les différences sont peu importantes : les mesures bimensuelles sous-estimeraient les apports de PT par R2 d'environ 2 kg et ceux de R3 d'environ 1 kg. De même, le NT apporté par R1 est sous-estimé d'environ 92 kg pour la période libre de glace de 2010 et le NT apporté par R4, d'environ 135 kg. Dans les cas de R2 et de R3, les apports de NT seraient sous-estimés d'environ 9 kg chacun. Mais dans tous les cas, R4 reste le ruisseau qui apporte le plus de nutriments PT, NT) au lac.

Dans les graphiques du bas de la Figure 5, les différences entre valeurs non-corrigées et valeurs corrigées sont moindres, puisqu'il s'agit de proportions des apports totaux. La proportion des apports de PT par R4 augmente légèrement (données non-corrigées : 62 %; données corrigées : 66 %), ainsi que celle de R1 (données non-corrigées : 19 %; données corrigées : 20 %), alors que les proportions des 2 autres ruisseaux diminuent légèrement (R2 : données non-corrigées : 13 %; données corrigées : 9 %; R3 : données non-corrigées : 6 %; données corrigées : 5 %). Et, quelque soit le mode de calcul (avec les mesures bimensuelles ou avec les données corrigées), le R4 apporte la majorité du PT au lac (données corrigées : 66 %). En fait, les quantités de PT apportées par R4 au lac étaient plus de trois fois supérieures à celles apportées par les autres ruisseaux, au cours de la période libre de glace de 2010.

Les résultats de l'azote sont similaires, soit relativement peu de changement dans les proportions des apports de chaque ruisseau, entre les valeurs corrigées et les valeurs non-corrigées, et une dominance de R4 dans les apports de NT au lac, quelque soit le mode de calcul. Effectivement, les quantités de NT apportées par le R4 étaient jusqu'à 1,5 fois plus importantes que celles apportées par les autres ruisseaux, au cours de la période libre de glace de 2010.

Ainsi, suivant ces résultats :

- **L'échantillonnage bimensuel sous-estime les apports de nutriments au lac par R1** (PT : 17 kg; NT : 92 kg) et par R4 (PT : 55 kg; NT : 135 kg).
- **L'échantillonnage bimensuel fournit des apports similaires à ceux évalués en continu dans les cas de R2 et de R3, deux ruisseaux à faible débit**
- **Les proportions des apports en nutriments de chaque ruisseau varient peu, après application des facteurs de correction.**
- **R4 demeure le ruisseau qui apporte le plus de nutriments au lac.**

COMPARAISON DES MESURES BIMENSUELLES AVEC LES MESURES EN CONTINU ET LORS D'ÉPISODES DE PLUIE

La comparaison entre les mesures bimensuelles et les mesures lors d'épisodes de pluie a été réalisée dans les ruisseaux R1 et R3 et sur la base des données de phosphore total (PT) relevées de façon bimensuelle et relevées avec l'échantillonneur en continu, qui incluait aussi la mesure des apports lors des précipitations. Les Figures 6 et 7 (page suivante) présentent les résultats des analyses pour, respectivement R1 et R3.

La Figure 6 présente les charges de PT apportées par R1 entre le 26 juin et le 25 juillet, telles que mesurées deux fois par mois (mesures bimensuelles : barres oranges) et tels que mesurées en continu, de façon journalière (barres brunes) et lors des précipitations (barres rouges). La figure 7 présente les mêmes informations pour R3 et pour une période d'échantillonnage plus longue (entre le 26 juillet et le 25 septembre).

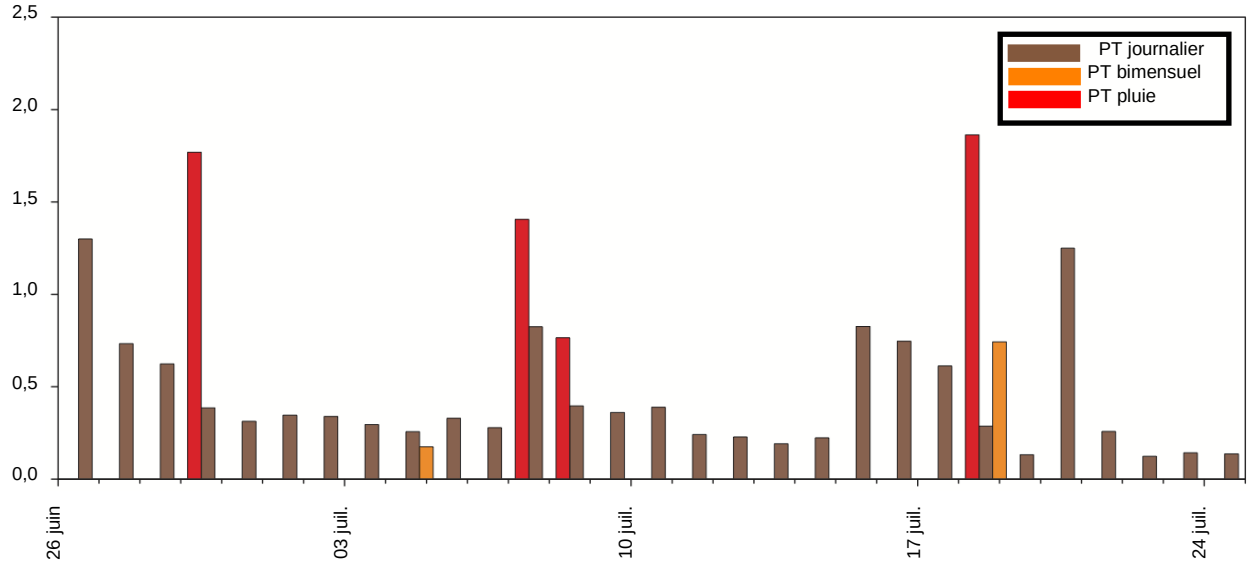


Figure 6 : Charges de R1 en PT mesurées de façon bimensuelle (en orange), de façon continue (en brun) et en continu les jours de pluie (en rouge) ; niveaux de précipitations (point)

Selon cette figure et tel que vu précédemment, les charges mesurées dans R1 de façon bimensuelle en juillet (2 barres orangées) sont globalement moins élevées que les mesures faites au quotidien en continu (barres brunes). Ceci implique que le calcul des charges mensuelles fait à partir des mesures bimensuelles sous-estime les apports en PT de R1 au lac.

On note aussi l'augmentation de la charge en PT dans le ruisseau lors des précipitations importantes, augmentation qui n'est probablement généralement pas pris en compte lors de mesures bimensuelles

Dans le cas de R3 (Figure 7), la très grande variabilité des mesures rend difficile la comparaison individuelle des mesures en continu versus les mesures bimensuelles. Il est toutefois probable qu'ici aussi les mesures bimensuelles sous-estiment les apports en temps de pluie.

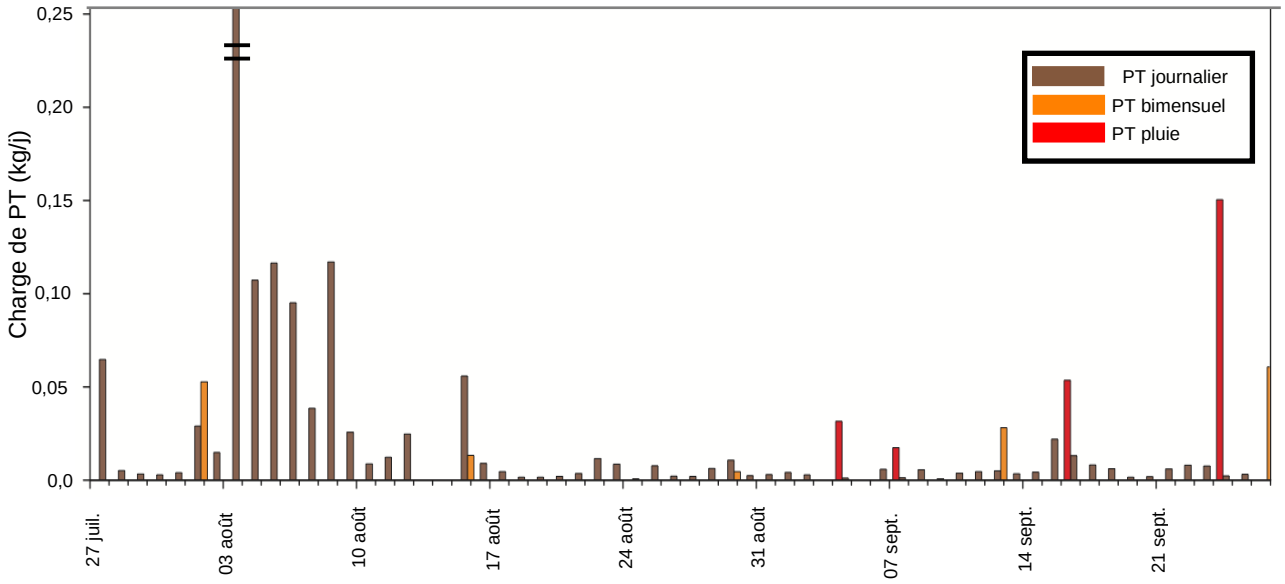


Figure 7 : Charges de R3 en PT mesurées de façon bimensuelle (en orange), de façon continue (en brun) et en continu les jours de pluie (en rouge) ; niveaux de précipitations (point)

Ainsi, suivant ces résultats, l'échantillonnage bimensuel :

- **Est en général aussi représentatif que l'échantillonnage en continu des apports en nutriments au lac pour les ruisseaux de faible débit, tel R3.** On peut ainsi considérer que les mesures bimensuelles prises dans ces ruisseaux (R3 et probablement dans le R2) sont représentatives des apports réels.
- **Sous-estime les apports du R1, qui a un plus fort débit.** On peut considérer que l'échantillonnage bimensuel dans les ruisseaux ayant un fort débit, tels que R1 et R4, sous-estime les apports réels.
- **Sous-estime grandement les apports en nutriments lors d'épisodes de pluie.**

BILAN DE PHOSPHORE DES RUISSEAUX SUIVANT LES SITES D'ÉCHANTILLONNAGE

Depuis 2007, les apports de nutriments au lac par les ruisseaux ont été calculés à partir de mesures effectuées en amont des ruisseaux. L'étude de 2009-2010[7] a montré que, pendant la période libre de glace de 2009, l'eau des ruisseaux s'enrichissait en nutriments, entre ces sites en amont et l'embouchure des ruisseaux. L'étude comparative a donc été conduite à nouveaux pendant la période libre de glace de 2010, afin de valider ces résultats.

Ainsi, la Figure 8 compare les quantités de phosphore total (PT) apportés par l'ensemble des ruisseaux pendant la période libre de glace de 2010, tels que calculées à partir des mesures faites en amont des ruisseaux et tels que calculés à partir des mesures à leur embouchure.

À différence des résultats de 2009, les apports de PT par les ruisseaux (graphique de gauche) calculées sur la base des mesures en amont (148 kg) étaient supérieurs aux apports calculés à partir des mesures aux embouchures (104 kg).
De plus, le lac a exporté 154 kg de PT, donc une valeur supérieure aux apports au lac. La charge nette était donc négative, quelque soit le site échantillonné (graphique de droite) : 6 kg de PT exportés, sur la base des mesures en amont des ruisseaux, et 50 kg exportés sur la base des mesures à leur embouchure. Il y a donc légèrement plus de PT qui sort du lac qu'il en est retenu.

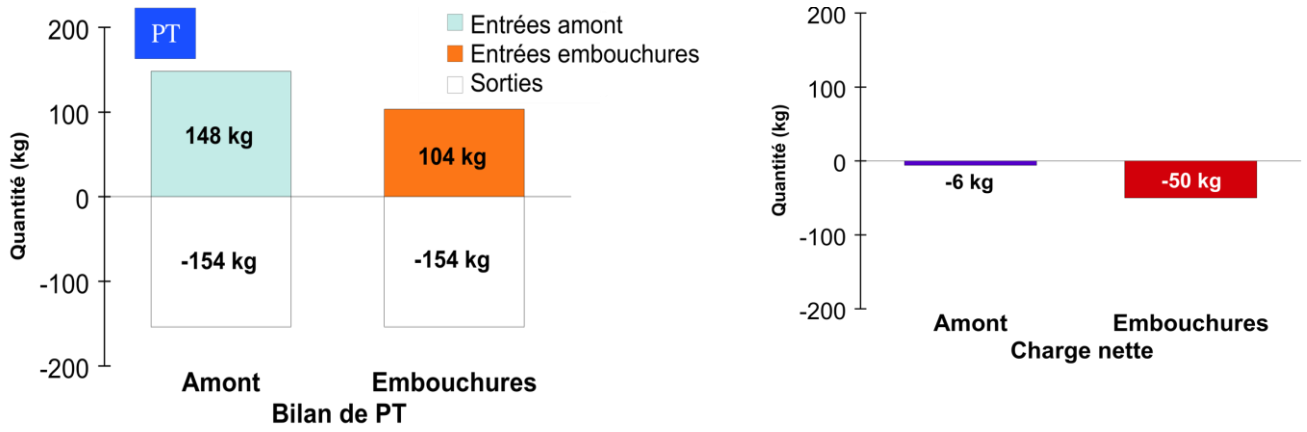


Figure 8 : Bilans et charges nettes de phosphore total (PT) en amont des ruisseaux et à leur embouchure pendant la période libre de glace de 2010

Dans le cas de l'azote total (NT; non présenté ici), il y a très peu de différence entre les concentrations mesurées aux embouchures et celles mesurées en amont.

Alors qu'en 2009 l'étude montrait une nette sous-estimation des apports en phosphore lorsque les mesures étaient faites en amont des ruisseaux, par rapport aux mesures faites à leur embouchure, en 2010 c'est aux sites en amont des ruisseaux qu'on mesure des apports plus élevés en PT.

Pour le NT, les résultats de 2010 ne permettent pas de confirmer une différence entre les mesures fait en amont des ruisseaux et aux embouchures des ruisseaux.

[7] Voir le Cahier 6 pour les résultats de cet aspect de l'étude 2009-2010.

Quelle est la dynamique des nutriments et des cyanobactéries dans la colonne d'eau, pendant la période libre de glace de 2010 ?

La distribution des nutriments dans un lac, ainsi que la stabilité de la colonne d'eau, sont les principaux facteurs qui contrôlent la croissance et la distribution des cyanobactéries dans le lac. Pour comprendre cette répartition des nutriments, il faut connaître :

- La distribution de la température dans le lac, pour établir la période de stratification de la colonne d'eau[8] et ses périodes de stabilité.
- La distribution de l'oxygène dans le lac, afin déterminer les périodes d'anoxie, qui peuvent être à l'origine du relargage de P par les sédiments, au fond du lac.

La section qui suit présente la distribution de la température et de l'oxygène dans la colonne d'eau, au centre du lac, pendant la période libre de glace. Les variations des concentrations en phosphore dans l'épilimnion, le métalimnion et l'hypolimnion, au centre du lac, sont par la suite présentées.

LES DISTRIBUTIONS DE LA TEMPÉRATURE ET DE L'OXYGÈNE DANS LA COLONNE D'EAU

La Figure 9 présente la distribution de la température (A) et celle de l'oxygène (B) dans la colonne d'eau, au centre du lac, pendant la période libre de glace de 2010.

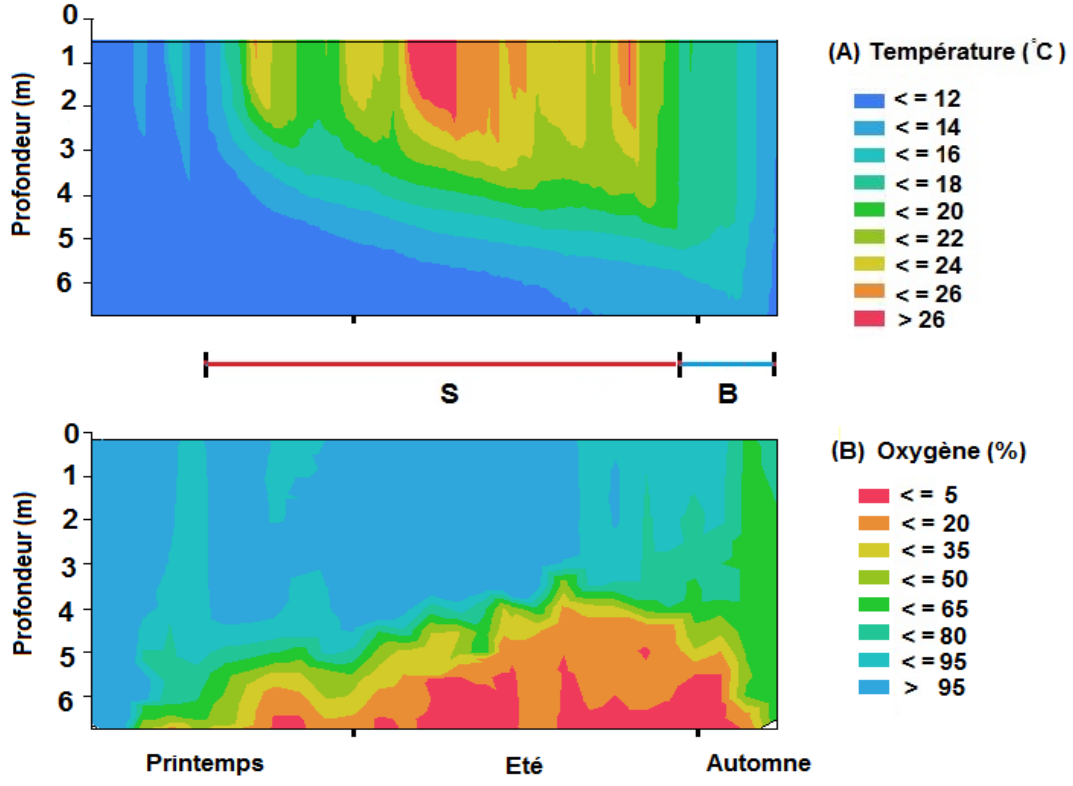


Figure 9 : Distribution (A) de la température et (B) de l'oxygène dans la colonne d'eau du lac pendant la période libre de glace de 2010

[8] Voir le Cahier 2 pour des précisions sur la stratification, le brassage et l'anoxie.

Dans le premier graphique de la Figure 9 (A : Température), plus la couleur tire vers le rouge, plus la température de l'eau est élevée; plus la couleur tire sur le bleu foncé plus la température est basse[9]. La lettre **S** sous le graphique représente la période de stratification et la lettre **B** le brassage automnal de la colonne d'eau.

Selon ce graphique, la stratification[10] commence vers le 18 mai mais est instable jusqu'au début de l'été. Du 5 juillet à la mi-août, le lac a été fortement stratifié, avec des températures très élevées (> 30 ^{o}C). Vers le 20 août, l'eau de surface a refroidi rapidement et il y a eu un mélange jusqu'à 5 m, suivi d'un réchauffement et d'une re-stratification de deux premier mètres qui s'est maintenu jusqu'à la mi-septembre. Vers le 7 octobre, on constate que la température est la même sur toute la colonne d'eau (aux environs de puis 14 °C), ce qui indique que le brassage complet de la colonne d'eau a eu lieu.

Dans le graphique du bas de la Figure 9 (B : % oxygène), plus la couleur tire vers le rouge, moins le % d'oxygène est élevé; plus la couleur tire sur le bleu foncé, plus ce % est élevé. Selon ce graphique, l'eau du lac contient un % d'oxygène dissous élevé (> 95 %) jusqu'à 3m de profondeur, sauf au milieu du printemps. À la fin de l'été et en automne, le pourcentage était entre 50 et 65 %. En profondeur, au milieu du printemps le % d'oxygène est inférieur à 50 % à partir de 5,5 m et, du milieu de l'été à la fin de l'été, ce % est inférieur à 20 % à partir de 4 m de profondeur. On observe trois épisodes d'anoxie (< 5 % : en rouge). Le premier a lieu vers la fin du printemps mais, à cause de la faible stratification, il est très court. Le deuxième commence au début de l'été et remonte graduellement jusqu'à 5,5 m, avec une haute stabilité de l'épilimnion, au moment où la température est la plus élevée de l'été (Figure 8 A). La troisième période a lieu vers la fin de l'été et persiste jusqu'au début de l'automne.

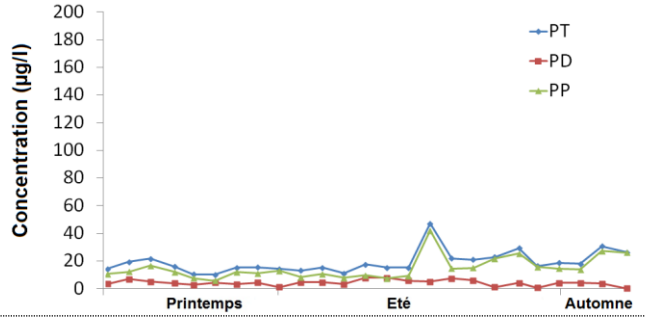
- **La stratification, qui débute le 18 mai, a été peu stable jusqu'au début juillet. Par la suite, a suivi un épisode de réchauffement et de stratification (début juillet à la mi-août), puis un épisode de refroidissement rapide et de mélange (20 août), suivi d'un réchauffement de la des couches de surface, qui a produit une re-stratification de deux premier mètres de la colonne d'eau, qui s'est maintenu jusqu'à la mi-septembre. Le brassage de la colonne d'eau a eu lieu le 7 octobre.** Le mélange du mois d'août a causé des efflorescences en surface et par la suite, l'eau enrichie a permis la croissance des cyanobactéries dans l'épilimnion (voir la Figure 11).
- **En relation avec la stabilité de la colonne d'eau, trois périodes d'anoxie ont eu lieu dans le lac, la période d'anoxie la plus étendue a été quand les eaux de surface étaient plus chaudes et stables.**

[9] Voir le Cahier 3 pour la lecture plus détaillée de ce graphique.
[10] Voir Cahier 1 pour la définition de la stratification et dans la section les algues et les lacs pour plus de détails.

La distribution de phosphore dans la colonne d'eau pendant cette période

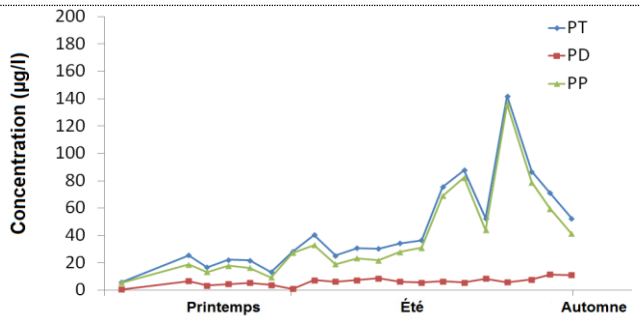
La Figure 10 présente les variations des concentrations en phosphore dans l'épilimnion (1,5 mètres de la surface), le métalimnion (3,5 mètres de la surface) et l'hypolimnion (1 mètre du fond), telles que mesurées au centre du lac pendant la période libre de glace de 2010.

Épilimnion



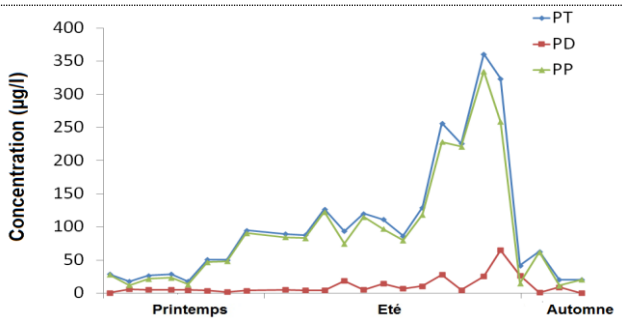
- **PT** varie peu du printemps jusqu'au milieu de l'été, où il atteint un pic (max. 47 µg/l). Il demeure relativement élevé (31 µg/l), soit environ 3 fois les valeurs de printemps.
- **PD** varie peu durant toute la période libre de glace. Il atteint un pic (max. 8 µg/l) en début d'été, dû aux apports de phosphore des couches profondes vers la surface, suite à la période d'instabilité de la colonne d'eau qui a mélangé des eaux de l'épilimnion et du métalimnion.
- **PP** (max. 136 µg/l) suit PT de près. Son augmentation (et celle de PT) à partir du milieu de l'été est due à un mélange partiel de la colonne d'eau, qui a transporté les algues du métalimnion vers l'épilimnion (voir Figure 15)

Métalimnion



- **PT** (max. 142 µg/l) est peu élevé du printemps jusqu'au milieu de l'été, puis augmente de 3,5 fois, du milieu de l'été jusqu'au brassage.
- **PD** reste faible (0,5 à 11,7 µg/l).
- **PP** (max. 136 µg/l) suit PT de près. Son augmentation (et celle de PT) à partir du milieu de l'été est due la croissance des algues (et donc du PP dans les algues), qui sont très abondantes pendant ce période dans la partie profonde du métalimnion (voir Figure 15).

Hypolimnion



- **PT** (max. 361 µg/l) est jusqu'à 8 fois plus élevé qu'en surface et jusqu'à 2,5 fois plus élevé que dans le métalimnion. Faible au début du printemps, il augmente de la fin du printemps au milieu de l'été, pour atteindre sa valeur maximale à la fin de l'été. Cette augmentation est associée au PP contenu dans les algues (voir Figure 15). Après le brassage, le PT accumulé au fond se distribue sur toute la colonne d'eau, d'où sa forte diminution au fond du lac.
- **PD** (max. 65 µg/l) est très faible jusqu'au milieu de l'été, augmente légèrement par la suite et atteint sa valeur maximale vers la fin de l'été. Son augmentation correspond au 3e épisode d'anoxie, très intense et

long, pendant lequel plus de phosphore est relargué des sédiments (Figure 8 B).

PP (max. 335 µg/l), qui suit PT de près, est jusqu'à 8 fois plus élevé qu'en surface. **PP est** plus important du milieu à la fin de l'été, lors du maximum de biomasse algale dans les couches profondes.

DANS LES 3 COUCHES

- L'évolution de **PP** suit celle de **PT**
- **PT** est majoritairement constitué de **PP**, qui est sous forme algale

Figure 10 : Variation des concentrations en phosphore (PT, PD, PP) dans les trois couches de la colonne d'eau pendant la période libre de glace de 2010

- Dans les 3 couches de la colonne d'eau, **la majorité du PT est sous forme de PP**, lequel a très fortement augmenté au milieu de l'été, en particulier dans les couches profondes. PD, assimilable par les algues, est resté faible sur toute la colonne d'eau mais a augmenté au fond du lac pendant les périodes d'anoxie, lors du relargage de phosphore par les sédiments
- **Dans l'épilimnion, PT et surtout PP, ont été supérieurs aux années antérieures, alors que PD était inférieur** (2010 max PT : 47 µg/l, PD : 8 µg/l, PP max : 40 µg/l) (2009 max. PT: 31 µg/l, PD : 14 µg/l, PP : 22 µg/l) (2008 : max. PT: 29 µg/l, PD: 14 µg/l; PP: 22 µg/l) (2007 max. PT : 38 µg/l, PD : 17 µg/l, PP : 21 µg/l).
- **Dans le métalimnion, PT et le PP ont montré les concentrations les plus élevées des 4 années d'étude, alors que PD a montré des concentrations similaires** (2010 max PT : 142 µg/l, PD, 12 µg/l, PP 136 µg/l) (2009 max. PT : 81,1 µg/l, PD : 12 µg/l, PP : 75 µg/l) (2008 max. PT : 57,5 µg/l, PD 10,7 µg/l, PP 54,5 µg/l).[11]
- **Dans l'hypolimnion, le phosphore est comparable à 2009 mais beaucoup plus élevé qu'en 2008 et 2007** (2010 max PT : 361 µg/l, PD : 65 µg/l, PP : 335 µg/l) (2009 max. PT : 340 µg/l, PD : 104 µg/l, PP : 294 µg/l) (2008 max. PT : 103,4 µg/l, PD : 18,3 µg/l, PP : 110 µg/l) (2007 max. PT 74 µg/l, PD : 12 µg/l, PP : 69 µg/l)

Ces concentrations en phosphore, les plus élevées dans les couches intermédiaires et profondes de toutes les études antérieures, s'expliquent par le phosphore relargué par les sédiments du fond du lac. Ainsi, par exemple, la quantité du phosphore relargué par les sédiments, tel que mesuré avec les dialyseurs, a été de 4 273 kg en 2010 et 1 417 Kg en 2007.

[11] Rappelons qu'en 2007, le métalimnion n'avait pas été échantillonné.

LA DISTRIBUTION DES CYANOBACTÉRIES DANS LA COLONNE D'EAU

En 2010 comme les années précédentes, le groupe d'algues majoritaire au lac Bromont pendant la période libre de glace était les cyanobactéries. La Figure 11 présente la distribution de la biomasse des cyanobactéries (en kg par couches de 0,5 m) dans le lac pendant cette période 2009. Sur cette figure, plus la couleur est foncée, plus la quantité de cyanobactéries est importante[12]. La période du brassage automnal y est illustrée par la lettre **B** surmontée d'une ligne qui traverse le graphique. Les efflorescences de cyanobactéries sont présentées par les cercles pleins verts foncés, à la surface.

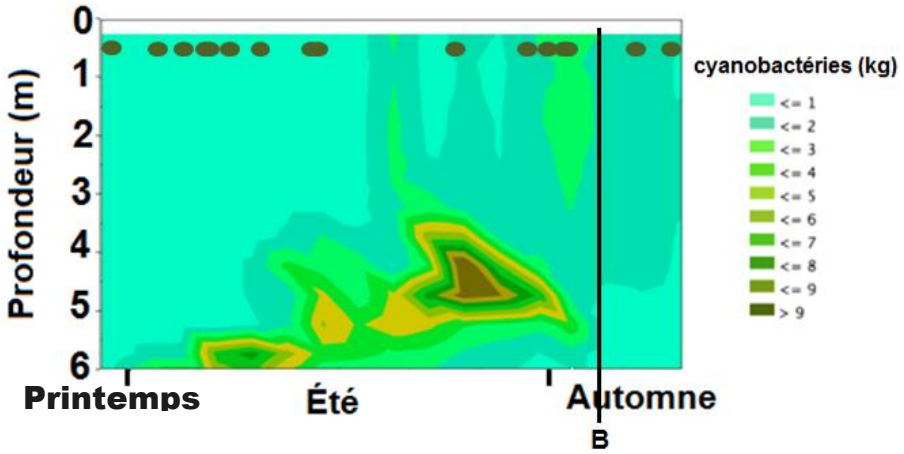


Figure 11 : Distribution de la biomasse des cyanobactéries de la surface au fond du lac, pendant la période libre de glace de 2010

En 2010, comme tous les étés depuis 2007, les cyanobactéries on commence à croître au fond du lac, à 7,2 m, aux alentours de l'équinoxe d'été. Elles continuent à croître dans les couches profondes, entre 5,5 et 6 m de profondeur jusqu'au milieu de l'été, puis dans les couches intermédiaires (3,5 à 5,5 m) dans la deuxième partie de l'été (Figure 11).

La quantité maximale de cyanobactéries (> 9 kg) a été mesurée vers la fin de l'été, entre 4 et 5 m de profondeur. Cette forte biomasse suit la période de forte stabilité de la colonne d'eau, qui est associée à de faibles pourcentages d'oxygène au fond, et à l'augmentation de PD dans les couches profondes, ce qui a alimenté les algues. Cette abondance algale se reflète par des concentrations élevées de PP (et donc d'algues) particulièrement dans l'hypolimnion et dans le métalimnion (Figure 10).

Au début de l'automne, lors du brassage (**B** sur la Figure 10), les cyanobactéries se sont distribuées uniformément dans toute la colonne d'eau et leur biomasse diminué au fond (< 1 kg). Cette période correspond également à la diminution des concentrations de PP dans les couches intermédiaires et profondes (Figure 10).

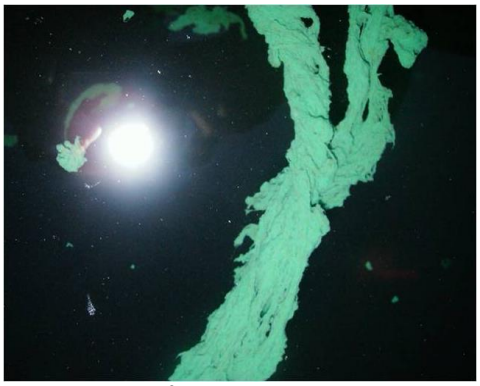
Lors de forts vents ou d'orages, le mélange des eaux de surface avec les eaux intermédiaires permet la remontée de cyanobactéries vers la surface, ce qui produit **des efflorescences de cyanobactéries en surface**, qui apparaissent parfois sous forme d'amas verts fluorescents. En

[12] Voir Cahier 3 pour la lecture de ce graphique

2010, les efflorescences ont été plus fréquentes que les années précédentes (cercles verts pleins au haut de la Figure 11). Observées dès le 24 mai, elles sont très fréquentes en juillet, pendant la période d'instabilité de la colonne d'eau (Figure 9 A), puis à la fin de l'été. Cette année, on a également noté des efflorescences automnales, de la fin septembre à la mi-octobre, après la fin de la stratification du lac.

Ces efflorescences n'étaient pas toutes dominées par les mêmes espèces de cyanobactéries : celles du printemps et de l'automne, d'aspect poudreux, étaient produites respectivement par *Anabaena flos-aquae* et *Aphanizomenon flos-aquae*. La première espèce se développe dans le littoral peu après la fonte de la neige et la deuxième croît en profondeur vers la fin de l'été au lac Bromont, et se distribue dans toute la colonne d'eau pendant le brassage automnal (Figure 11).

Comme pour les années précédentes, les efflorescences estivales, de couleur vert fluo (Figure 12), sont dues à l'espèce *Planktothrix agardhii* qui croît dans les couches profondes et remonte vers la surface lors de mélange de l'eau de l'épilimnion avec le méta-hypolimnon, où elle domine tout l'été. Les trois espèces sont qui ont produit ces efflorescences sont potentiellement toxiques.



Zuzana Hrivnakova, 2e prix du concours de l'ACFAS 2011

Figure 12 : Photographie prise au lever du soleil, à la mi-juillet 2010, lors de la remontée de plaques de *Planktothrix agardhii* suite à une soirée et une nuit orageuses

Ainsi, pendant la période libre de glace de 2010 :

- **Les cyanobactéries se sont développées en profondeur au début de l'été, puis sont remontées jusqu'à 3,5m,** où le PD était plus abondant**. La quantité maximale a été atteinte à la fin de l'été.** En réalité, l'abondance et la distribution spatiale et temporelle des cyanobactéries dans le lac est régulée par la quantité de PD disponible dans chaque couche.
- **Les efflorescences ont été plus fréquentes que les années précédentes et ont été présentes du début du printemps jusqu'à tard à l'automne.**
- ***Planktothrix agardhii,* qui domine dans les couches profondes tout l'été**, commence à décliner en profondeur lors du brassage, au début de l'automne.
- **Toutefois, comme en 2008, *Aphanizomenon flos-aquae*, qui domine à l'automne, continue à croître et a former des efflorescences après le brassage automnal**.

Les zones résidentielles sont-elles une source externe de nutriments pour le lac?

Certaines zones en bordure du lac Bromont ont une haute densité de résidence, qui pourraient représenter des sources de nutriments pour le lac, soit à cause d'apports dû au ruissellement d'engrais utilisés sur les terrains déboisés, à un mauvais fonctionnement des installations septiques ou pour autres raisons non encore identifiées.

Une première étude a été réalisée pendant la période libre de glace 2009, mais les résultats n'étaient pas concluants, concernant des apports plus importants de nutriments dans les sédiments localisés près des berges de zones résidentielles que localisés à l'écart de zones habitées. Une deuxième étude a donc été réalisée en 2010 pour évaluer les nutriments dissous dans l'eau interstitielle des sédiments près du littoral.

Deux zones ont fait l'objet de l'étude en 2010, dans deux stations déjà échantillonnées pendant la période libre de glace de 2009 : la station P5, dans une zone résidentielle, et la station P3-4, dans une zone témoin (voir la Figure 1 pour la localisation de ces stations). Toutefois, à la différence de l'étude précédente, à chaque station, les dialyseurs ont été placés à une certaine distance les uns des autres : un dialyseur a été placé près de la rive, à environ 0,5 mètre de profondeur d'eau ; le deuxième a été placé plus loin de la rive, à une profondeur d'eau de 1 mètre ; le troisième a été placé, encore plus loin, à 1,5 mètre. Le Tableau 2 présente les résultats de cette étude.

Tableau 2 : Concentrations en phosphore et en azote inorganiques dissous (PO_4, NH_4) mesurées dans l'eau interstitielle des sédiments de la zone résidentielle et de la zone témoin en août 2010

	Zone résidentielle Station P5	**Zone témoin** Station P3-4	**P5 versus P3-4**
PO_4 ($mg.m^{-2}$)			
0,5 m	56,0	45,0	1,2 fois plus
1 m	43,0	37,0	1,2 fois plus
1,5 m	42,0	8,0	5,3 fois plus
NH_4 ($mg.m^{-2}$)			
0,5 m	748	740	~
1 m	561	253	2,2 fois plus
1,5 m	318	245	1,3 fois plus

Suivant les résultats présentés au Tableau 2, les concentrations de PO_4 dans l'eau interstitielle des sédiments de la zone résidentielle montrent une faible diminution, entre la berge (56 $mg.m^{-2}$) et le site plus profond (42 $mg.m^{-2}$). Dans la zone témoin, PO_4 diminue de façon plus drastique entre la berge (45 $mg.m^{-2}$) et le site plus profond (8 $mg.m^{-2}$).

Dans le cas de l'azote (NH_4), les concentrations dans l'eau interstitielle des sédiments de la station résidentielle diminue de plus de la moitié, entre la berge (748 $mg.m^{-2}$) et le site plus profond (318

mg.m^{-2}). Dans la zone témoin, comme pour PO_4 mais de façon moins importante, NH_4 diminue entre la berge (740 mg.m^{-2}) et le site plus profond (245 mg.m^{-2}).

Si on compare les deux zones, les concentrations en PO_4 dans la station résidentielle sont environ 1,2 fois plus élevées que les concentrations mesurées à la station témoin mais, dans le cas du dialyseur le plus éloigné de la berge (1,5 m de profondeur d'eau), ces concentrations sont 5 fois supérieures à celle à la station témoin.

Pour ce qui est du NH_4, ses concentrations à la station résidentielle sont similaires à celles mesurées à la station témoin à 0,5 m de profondeur, mais elles sont légèrement supérieures à 1 m (2,2 fois) et à 1,5 m (1,3 fois) de profondeur d'eau.

- **Pour le phosphore, les concentrations mesurées dans l'eau interstitielle des sédiments de la station résidentielle étaient légèrement plus élevées que celles de la station témoin, dans les sites rapprochés de la berge** (à 0,5 et à 1,0 m de profondeur de l'eau)**. Mais, dans le site plus éloigné de la berge** (à 1,5 m de profondeur de l'eau), **elles étaient significativement plus élevées.** Ces résultats suggèrent qu'il y a eu des apports plus importants dans le passé ou moins de croissance des plantes aquatiques à cette profondeur.
- **Pour l'azote, les concentrations mesurées dans l'eau interstitielle des sédiments de la station résidentielle étaient plus élevée que celles de la zone témoin, dans les sites plus éloignés de la berge** (1 m et 1,5 m de profondeur d'eau)**.** Ces résultats ne suggèrent pas d'apport récent direct d'azote au lac en provenance des zones résidentielles en bordure du littoral.
- **Dans la zone résidentielle, les nutriments (PO_4, NH4) diminuent moins rapidement, de la berge vers le centre du lac, que dans la zone témoin.** Ceci suggère que les apports en nutriments des zones résidentielles ont été plus élevés dans le passé que présentement.
- **Par rapport au données de 2009**, les concentrations en phosphore et en azote mesurées dans la station de la zone résidentielle, et en phosphore de la station témoin, sont comparables à celles de 2009, considérant l'étendu des concentrations de 2009. Mais l'azote mesuré à 0,5 m de la rive, à la station témoin, est presque le double des valeurs de 2009, ce qui suggère un apport ponctuel.

PREMIÈRES CONCLUSIONS ET SYNTHÈSE DE l'ÉTUDE 2010

Premières conclusions

Pendant la période libre de glace de 2010, les apports en nutriments des ruisseaux au lac ont été évalués de différentes façons, en vue de répondre aux questions méthodologiques soulevées en introduction.

La comparaison des charges de phosphore des ruisseaux **suivant la fréquence d'échantillonnage** (bimensuel ou en continu) a montré que les apports en phosphore étaient sous-estimés dans le cas du ruisseau Petit Galop (R1); dans le cas du R3, la sous-estimation était très petite. L'application du facteur de correction de R1 (1,6) à R4 à conduit à des charges significativement plus élevées de ce ruisseau que lorsque calculés avec des mesures bimensuelles. Par contre, l'application du facteur de correction de R3 (1,1) à R2 n'a pas conduit à des différences importantes d'apports entre les deux fréquences d'échantillonnages : le débit de R2 et R3 est moindre, leur bassin versant est plus petit et ils ont des étangs artificielles sur leur parcours ce qui pourrait contribuer à la rétention de des apports lors des averses.

La comparaison entre **les mesures bimensuelles et les mesures lors d'épisodes de pluie** a montré, encore ici, que l'échantillonnage bimensuel sous-estime les apports de nutriments au lac par les ruisseaux de fort débit (R1 et R4) mais est assez représentatif des apports dans le cas de ruisseaux de faible débit (R2 et R3).

La comparaison entre **les mesures de PT en amont des ruisseaux et celles à leur embouchure**, déjà amorcée en 2009-2010, n'a pas montré de différences importantes ni de tendance, sauf dans le cas du R2 où, de la mi-été au début de l'automne, la concentration à l'embouchure est 8 fois supérieure à celle du site en amont. À cette période, PT à l'embouchure de R3 et R4 est aussi plus élevé.

Le suivi de la dynamique des nutriments et des cyanobactéries dans la colonne d'eau du lac pendant la période libre de glace a montré, d'une part une stratification très instable, qui a débuté le 18 mai et s'est achevée au début de l'automne. Cette instabilité explique la remontée de *Planktothrix* à la surface et la fréquence et l'intensité des efflorescentes de la fin du printemps jusqu'au milieu de l'été. Par ailleurs, 2010 a été l'année avec plus de jours d'anoxie, soit 112 jrs, (2009 : 35 jrs; 2008 : 69 jrs; 2007 : 44 jrs). Le fond du lac a subi 3 épisodes d'anoxie : à la fin du printemps, au début de l'été, du milieu de l'été à la fin de l'été. Ceci explique la quantité de PP, du fond de l'eau jusqu'au métalimnion, mesuré cet année, ainsi que la biomasse algale élevée au métalimnion (1900 kg) comparé aux autres années (2009 : 1100 kg; 2008 : 900 kg; 2007 : 800 kg).

Les questions soulevées en 2009-2010

Le texte présenté plus haut répond à certaines des questions posées en 2009-2010. Toutefois, nous reprenons brièvement ces questions ici, ainsi que celle portant sur l'hypothèse d'apports venant de zones résidentielles.

1- Les échantillonnages bimensuels dans les ruisseaux sont-ils représentatifs de la quantité réelle de nutriments qui arrivent au lac pendant cette période ?

Sur la base de la mesure des apports en phosphore, les échantillonnages bimensuels peuvent être considérés représentatifs des apports réels des nutriments au lac, pour les ruisseaux à faible débit (R2 et R3). Dans le cas des ruisseaux dont le débit est plus important (R1 et R4), les échantillonnages bimensuels sous-estiment les apports réels. Par ailleurs, ces échantillonnages sous-estiment aussi les apports lors des épisodes pluvieux.

En considérant les valeurs corrigées des apports, 222 kg de PT et 850 kg de NT ont été apportés par les quatre ruisseaux au lac, entre le 26 avril et le 27 septembre 2010.

2- La mesure des apports de nutriments en amont des ruisseaux reflète-t-elle les apports réels des ruisseaux au lac, pendant la période libre e glace ?

Contrairement à 2009, les résultats de 2010 ne montrent pas des apports supérieurs en nutriments, lorsque calculés à partir de mesure à l'embouchure des ruisseaux par rapport aux apports calculés sur les mesures en amont. En fait, les quantités mesurées aux embouchures ont conduit à des valeurs moindres d'apports. Ceci implique qu'il n'y a pas eu d'enrichissement des ruisseaux entre les sites d'échantillonnage en amont des ruisseaux et leur embouchure en 2010.

Dans le cas de 2009, la tendance observée d'un enrichissement à l'embouchure des ruisseaux pourrait être associée à des travaux effectués par les riverains des ruisseaux ou la municipalité dans ces secteurs (surfaçage des rues, de creusage de fossés, autres). Ces activités augmentent la quantité des particules en suspension dans l'eau de ruissellement qui coule dans le littoral du lac. Inversement, l'absence ou une forte diminution de travaux dans ces secteurs pourrait expliquer la charge de PT inférieure en 2010.

3 - Les zones résidentielles en bordure du lac sont-elles des sources de nutriments pour le lac, pendant la période libre de glace de 2010?

Les mesures effectuées dans l'eau interstitielle des sédiments des zones résidentielles, pendant la période libre de glace de 2010, suggèrent que, présentement il n'y a pas d'apports significatifs de nutriments dans la zone résidentielle de la partie Ouest du lac, par contre les apports ont probablement été importants dans le passé.

Une question issue de l'étude de 2010

Depuis le début de l'étude en 2007, le ruisseau Wright (R4) est la principale charge externe de nutriments pour le lac. Toutefois, comme l'embouchure du R4 est localisée très près de la décharge, il est possible qu'il y ait peu d'échange entre l'eau du R4 et celle du lac, et donc que le R4 affecte peu le lac. Cette hypothèse sera testée en 2011, en retraçant le parcours du ruisseau pour deux périodes contrastées, en temps de fort débit (printemps) et de faible débit (été).

Synthèse de l'étude pendant la période libre de glace de 2010

Combien de PT et de NT entrent dans le lac et quel ruisseau en apportent le plus ?			
	Quantités totales (proportion de PT) **(kg) (% du PT)** **Données non corrigées**		**Quantités totales (proportion de NT)** **(kg) (% du NT)** **Données corrigés**
PT	148 (62 %)	**PT**	222 (66 %)
NT	3 541 (61%)	**NT**	5 454 (91%)
C'est le ruisseau Wright (R4) qui apporte le plus de nutriments au lac			

Les échantillonnages bimensuels dans les ruisseaux sont-ils représentatifs de la quantité de nutriments qui arrivent au lac ?
Les échantillonnages bimensuels sont assez représentatifs de la quantité de nutriments qui arrive au lac pour les ruisseaux de faible débit (R2, R3). Pour ceux de fort débit (R1, R4), les résultats suggèrent que échantillonnages bimensuels sous-estiment de façon importante les apports de nutriments au lac. Les nutriments apportés au lac lors d'épisodes de pluie sont largement sous-estimés.
La mesure des apports de nutriments en amont des ruisseaux reflète-t-elle les apports réels des ruisseaux au lac ?
Les mesures aux embouchures conduisent à des apports moins élevés en phosphore que lorsque calculés à partir des mesures en amont. Dans le cas de NT les valeurs étaient similaires. Selon ces résultats et contrairement à 2009, les rives des ruisseaux situées entre les sites en amont et les embouchures n'ont pas enrichi le lac en 2010
Comment se distribuent les nutriments dans la colonne d'eau, au centre du lac ? Quels sont les liens avec la stratification du lac ?
La stratification du lac a commencé à la mi-mai puis s'est stabilisée au début de l'été. Le lac était en anoxie à la fin du printemps, au début de l'été et du milieu de l'été jusqu'au début de l'automne. Le brassage complet a eu lieu début octobre. Les concentrations en PT (associées au PP et donc aux algues) ne semblent pas dépendantes des apports externes mais plutôt de la charge interne du lac. Leur distribution spatio-temporelle est fonction de la stabilité de la colonne d'eau et l'anoxie au fond du lac. Le phosphore a très fortement augmenté à partir du milieu de l'été dans le métalimnion et l'hypolimnion jusqu'au brassage
Quelle est la distribution des cyanobactéries pendant la période libre de glace?
Les cyanobactéries se sont développées dans les couches profondes et ont décliné en début d'automne, après le brassage. Le maximum a été atteint en fin d'été, dû à la quantité de phosphore relargué en période d'anoxie. Cette année, la fréquence des efflorescences rapportées a été de 16, soit plus que le double qu'en 2009 et 2008. Les efflorescences estivales sont dues à *Plankthotrix agardhii* et les efflorescences printanières et automnales, respectivement à *Anabaena flos aquae* et *Aphanizomenon flos-aquae*.
Les zones résidentielles sont-elles des sources de phosphore et d'azote pour le lac ?
Les résultats suggèrent que les zones résidentielles en bordure du lac n'apportent présentement pas de phosphore et d'azote au littoral