



LE PROGRAMME DE RECHERCHE SUR LES CYANOBACTÉRIES AU LAC BROMONT

**CAHIER 6
ÉTUDE EN 2009 - 2010**

**Dolors Planas
Claire Vanier
Estelle Lavirotte**

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 SPÉCIFIQUES À L'ÉTUDE 2009 - 2010	2
MÉTHODOLOGIE SPÉCIFIQUE À L'ÉTUDE 2009-2010	3
Sites échantillonnés et variables mesurées	3
Échantillonnage dans les ruisseaux, dans le lac et près des rives du lac.....	3
Traitement des informations	4
PRÉSENTATION ET DISCUSSION DES RÉSULTATS DE L'ÉTUDE 2009-2010	6
Combien de nutriments sont entrés dans le lac en 2009-2010 ?.....	7
Les apports de phosphore	7
Les apports d'azote.....	8
Comment varient les apports de nutriments des ruisseaux, entre les saisons ?.....	10
Les débits des 4 ruisseaux et les précipitations selon les saisons	10
Les charges en nutriments selon les saisons.....	11
Le lac agit-il comme une <i>source</i> ou comme un <i>puits</i> de nutriments en 2008-2009?	14
Le bilan annuel du phosphore	14
Le bilan annuel de l'azote.....	15
Quelle est la dynamique des nutriments et des algues dans le lac pendant la période libre de glace ?	16
Les apports de phosphore et d'azote pendant cette période	16
Les bilans du phosphore et de l'azote pendant cette période	17
La distribution des nutriments et des cyanobactéries pendant cette période.....	18
Les zones habitées, en bordure du lac, sont-elles une autre source externe de nutriments pour le lac?.....	25
La mesure des apports de nutriments en amont des ruisseaux reflète-t-elle les apports des ruisseaux au lac?	26
Les bilans de phosphore des ruisseaux suivant le site d'échantillonnage	26
Les bilans d'azote des ruisseaux suivant le site d'échantillonnage	27
PREMIÈRES CONCLUSIONS ET SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE 2009-2010	30
Premières conclusions	30
Les questions soulevées en 2008-2009	30
Les questions issues de l'étude de 2009-2010	31
Synthèse de l'étude 2009-2010	32

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Sites d'échantillonnage au lac Bromont en 2009-2010	3
Figure 2 : Quantités (haut) et proportions (bas) de phosphore (PT, PD, PP) apportées par chacun des 4 ruisseaux d'alimentation du lac Bromont (2009 – 2010)	7
Figure 3 : Quantités (haut) et proportions (bas) d'azote (NT, ND, NP) apportées par chacun des 4 ruisseaux d'alimentation du lac Bromont (2009 – 2010)	8
Figure 4 : Variations des débits des 4 ruisseaux d'alimentation du lac selon les saisons en 2009-2010.....	10
Figure 5 : Variations des charges en phosphore total (PT) et en phosphore dissout (PD) des ruisseaux d'alimentation du lac selon les saisons de 2009-2010.....	11
Figure 6 : Variations de la charge en azote total (NT) et en azote dissout (ND) des ruisseaux d'alimentation du lac selon les saisons de 2009-2010	12
Figure 7 : Bilans et charges nettes annuels de phosphore (PT, PD, PP) au lac Bromont, 2009-2010	14
Figure 8 : Bilans et charges nettes annuels d'azote (NT, ND, NP) au lac Bromont, 2009-2010	15
Figure 9 : Bilans et charges nettes de phosphore (PT, PD, PP) et d'azote (NT, ND, NP) pendant la période libre de glace de 2009	17
Figure 10 : Distribution (A) de la température et (B) de l'oxygène dans la colonne d'eau du lac pendant la période libre de glace de 2009.....	18
Figure 11 : Variation des concentrations en phosphore (PT, PD, PP) et en azote (NT, ND, NP) dans les trois couches de la colonne d'eau pendant la période libre de glace de 2009.....	20
Figure 12 : Distribution de la biomasse des cyanobactéries de la surface au fond du lac, pendant la période libre de glace de 2009	23
Figure 13 : Photographie d'efflorescences automnale d' <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> (2009).....	24
Figure 14 : Bilans et charges nettes de phosphore (PT et PD) en amont des ruisseaux et à leur embouchure, de mai à septembre 2009.....	26
Figure 15 : Bilans et charges nettes de l'azote (NT et ND) en amont des ruisseaux et à leur embouchure, de mai à septembre 2009	28

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Fréquences d'échantillonnage dans les ruisseaux et dans le lac en 2009-2010	4
Tableau 2 : Précipitations saisonnières au cours des saisons de 2009-2010	11
Tableau 3 : Quantités (kg) et proportions des formes de P et de N apportées par les 4 ruisseaux d'alimentation pendant la période libre de glace de 2009	16
Tableau 4 : Concentrations en phosphore et en azote dissous (PO_4 ; NH_4) mesurées dans l'eau interstitielle des sédiments, entre 17 août et le 1 septembre 2009	25

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ACBVLB : Action conservation du bassin versant du lac Bromont

GRIL : Groupe de recherche interuniversitaire en limnologie et en environnement aquatique

MES : Matières en suspension

N : Azote

ND : Azote dissous dans l'eau

NH₄ : Azote inorganique dissous dans l'eau interstitielle des sédiments

NP : Azote particulaire dans l'eau

NT : Azote total dans l'eau

P : Phosphore

PD : Phosphore dissous dans l'eau

PP : Phosphore particulaire dans l'eau

PT : Phosphore total dans l'eau

PO₄ : Phosphore inorganique dissous dans l'eau interstitielle des sédiments

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 de l'UQAM puis par la Municipalité de Bromont, qui y a grandement contribué.

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 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 sur le lac Bromont.

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, les études depuis 2007-2008 ont toujours accordé une place centrale à cette période.

Le dernier cahier, le Cahier 9, synthétise les résultats les plus importants et présente des recommandations pour assurer 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, de même que la liste des **publications** produites dans le cadre du Programme de recherche au lac Bromont.

OBJECTIFS SPÉCIFIQUES À L'ÉTUDE 2009 - 2010

Outre l'objectif de base d'assurer le suivi des apports en nutriments par les ruisseaux et de la dynamique des nutriments et des algues dans le lac, l'étude 2009-2010 visait aussi à répondre à certaines questions soulevées en 2008-2009, soit :

1. Les zones habitées, en bordure du lac, sont-elles des sources de nutriments pour le lac?

En bordure du lac, certaines zones présentent une haute densité de résidences, qui possèdent leurs propres installations septiques, et ces zones pourraient contribuer aux apports externes de nutriments au lac.

Concrètement, cette question implique :

- ♦ d'effectuer des mesures de concentration des nutriments dans l'eau interstitielle de sédiments du littoral, dans des zones habitées;
- ♦ de les comparer aux concentrations en nutriments dans l'eau interstitielle des sédiments du littoral, dans des zones inhabitées.

2. 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 ?

En effet, depuis 2007, les ruisseaux sont échantillonnés à quelques centaines de mètres avant leur arrivée au lac (amont : voir Figure 1). Évaluer si les mesures effectuées à ces sites reflètent bien les apports réels des ruisseaux au lac nécessite de les comparer à des mesures prises à l'arrivée des ruisseaux au lac (embouchure). En effet, entre le site en amont et celui à l'embouchure des ruisseaux, des nutriments peuvent s'ajouter ou être retenus par les rives du lac, surtout dans ces zones de résidentielles. Le lecteur peut se référer à la Figure 1 du présent document et au texte qui l'accompagne, pour une meilleure illustration des différents sites d'échantillonnage.

Concrètement, cette question implique :

- ♦ d'effectuer des mesures de nutriments aux embouchures des ruisseaux au lac pour calculer des bilans ;
- ♦ de les comparer aux mesures de nutriments faites en amont des ruisseaux, soit aux mêmes sites que les années précédentes.

MÉTHODOLOGIE SPÉCIFIQUE À L'ÉTUDE 2009-2010

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)
- 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 quatre zones du littoral du lac

VARIABLES MESURÉES ¹

- Les nutriments dans la colonne d'eau : phosphore et azote (total : PT, NT; dissous : PD, ND),
- Le phosphore et azote inorganiques dissous dans l'eau interstitielle des sédiments (PO_4 ; 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 2008-2009 et le Tableau 1 précise les périodes et les fréquences de ces échantillonnages.

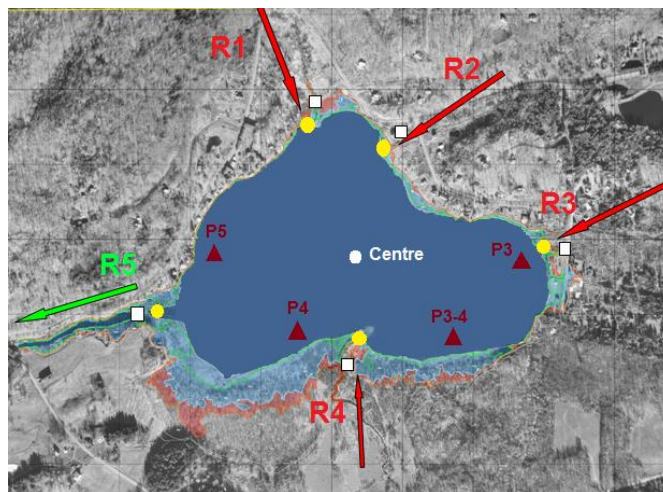


Figure 1 : Sites d'échantillonnage au lac Bromont en 2009-2010

Dans cette figure, les **carrés blancs** représentent les sites d'échantillonnage des ruisseaux depuis 2007, soit en amont des ruisseaux; les **cercles jaunes** représentent les sites d'échantillonnage à

¹ Voir le Cahier 3, sur la méthodologie générale, pour plus de précisions

l'embouchure des ruisseaux, là où ils se jettent dans le lac. Pour la décharge (R5), le cercle jaune représente un site directement au début du ruisseau et le carré blanc, le site en aval échantillonné depuis 2007. Le **cercle 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 **quatre sites du littoral** où ont été installés des dialyseurs pour mesurer les concentrations en phosphore et en azote dissous dans les eaux interstitielles des sédiments de 4 stations : 2 stations sont situées près de zones habitées (P3 : près du R3 ; P5 : près du R5) et 2 stations servent de sites témoins hors de ces zones (P3-4 : entre le R3 et le R4 ; P4 : près du R4).

Tableau 1 : Fréquences d'échantillonnage dans les ruisseaux et dans le lac en 2009-2010

RUISSEAUX	EN AMONT		À L'EMBOUCHURE	
	Avril à octobre 2009 Au 2 semaines	Novembre 2009 – avril 2010 Aux mois	19 mai au 21 septembre 2009 Au 2 semaines	
Phosphore, azote				
LAC	30 avril-01 juin 2009		Juin à octobre 2009	16 novembre 2009
CENTRE DU LAC				
Phosphore, azote	aux mois		aux semaines	aux 2 semaines
Température, oxygène				
Cyanobactéries			aux semaines	
ZONES DU LITTORAL				
Phosphore et azote inorganique dissous (PO₄, NH₄)	Dialyseurs déposés le 17 août, ramassés le 1 septembre			

Traitement des informations

LES RUISSEAUX

Les mesures des **concentrations en nutriments** dans les ruisseaux permettent de calculer les **bilans des nutriments**² à partir de chaque site de collecte de données (R1 à R4 : en amont et à leur embouchure; R5 : en aval et à la sortie du lac) et de les comparer. Ceci permet aussi de savoir s'il y a eu des apports dans les ruisseaux, entre les sites d'échantillonnage en amont des ruisseaux (carrés blancs, Figure 1) et ceux à leur embouchure (cercles jaunes, Figure 1).

LE LAC

La colonne d'eau au centre du lac

Les mesures des **concentrations en nutriments**, de **température et d'oxygène** au centre du lac permettent de connaître leurs variations en fonction du temps et 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 a aussi été évaluée au centre du lac.

² Voir les Cahiers 2 et 3 pour plus de détails sur le concept de bilan et son calcul

Les zones du littoral

Les mesures de **concentrations de phosphore et d'azote inorganique dissous (PO_4 et NH_4)** contenues dans l'eau interstitielle des sédiments³ des 4 zones du littoral du lac permettent d'estimer les quantités de nutriments accumulés par les sédiments en rives. Ces nutriments peuvent être relargués vers l'eau du lac et ainsi contribuer aux **apports des rives au lac**. La comparaison des mesures aux sites P3 et P5 avec celles aux sites témoins (P3-4 et P4) permet d'estimer si les zones habitées ont une influence sur la quantité de nutriments accumulés dans le littoral.

³ Voir Cahier 3 sur la méthodologie générale pour plus de précisions

PRÉSENTATION ET DISCUSSION DES RÉSULTATS DE L'ÉTUDE 2009-2010

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, ainsi que pour rencontrer les objectifs spécifiques à l'étude 2008-2009, le présent Cahier est structuré suivant les questions suivantes :

- Combien de nutriments sont entrés dans le lac par les ruisseaux, en 2009-2010 ? Quel ruisseau en a apportés le plus ? Les apports de nutriments sont-ils différents de ceux des années précédentes?
- Comment varient les apports au lac de nutriments par les ruisseaux, entre les saisons ?
- Le lac agit-il comme un *puits* ou comme une *source* de nutriments ? Les bilans annuels de nutriments.
- Quelle est la dynamique des nutriments et des algues pendant la période libre de glace ?
 - Quels sont les apports des ruisseaux et les bilans de nutriments, pendant cette période ?
 - Comment se distribuent les nutriments dans la colonne d'eau du lac, pendant cette période ? Quels sont leurs liens avec la stratification ?
 - Comment se distribuent les cyanobactéries dans le lac pendant cette période ? Quels sont les groupes d'algues les plus abondants ? Quelles espèces de cyanobactéries forment les efflorescences en surface

Le lecteur notera que plusieurs de ces questions sont similaires à celles posées dans les années antérieures, pour raffiner l'interprétation des résultats.

Deux questions ont été ajoutées aux précédentes, soit une sur un aspect méthodologique (sites de mesures dans les ruisseaux) et une sur l'hypothèse d'un apport de nutriments par les berges du lac, en zone de villégiature :

- Les zones habitées, en bordure du lac, sont-elles des sources de nutriments pour le lac ?
- La mesure des apports de nutriments en amont des ruisseaux reflète-t-elle les apports réels des ruisseaux au lac ? Une comparaison des bilans de nutriments suivant le site d'échantillonnage (amont, embouchure des ruisseaux) a été réalisée. Cette comparaison permettra aussi de connaître les apports des terrains localisés entre les sites d'échantillonnage en amont des ruisseaux et leur embouchure.

Ces deux questions sont abordées à la fin du présent document.

Combien de nutriments sont entrés dans le lac en 2009-2010 ?

Cette section présente les quantités de phosphore et d'azote apportées par les 4 ruisseaux d'alimentation du lac Bromont, du printemps 2009 au printemps 2010.

Les apports de phosphore

La Figure 2 présente les quantités (en kg : graphique du haut) et les proportions (en % : cercles du bas) de phosphore total (PT), de phosphore dissous (PD) et de phosphore particulaire (PP) apportées, du printemps 2009 au printemps 2010, par les 4 ruisseaux d'alimentation du lac Bromont (Petit Galop : R1; Coulée du Rocher : R2; des Cervidés : R3; Wright : R4).

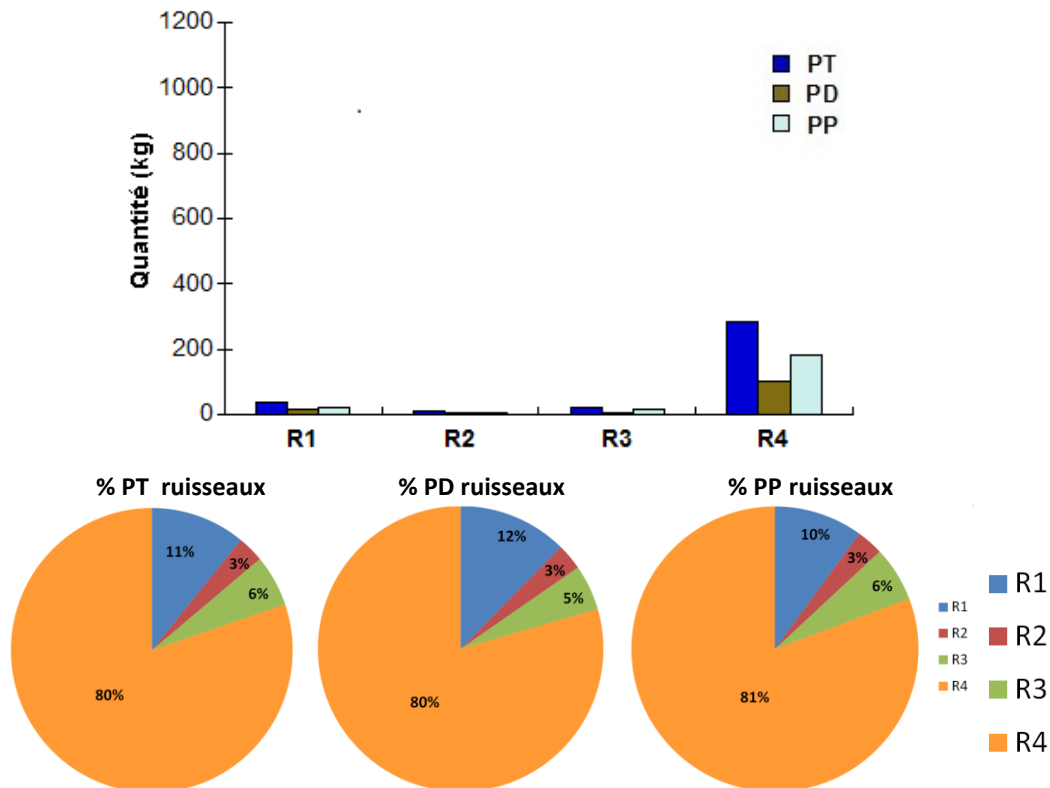


Figure 2 : Quantités (haut) et proportions (bas) de phosphore (PT, PD, PP) apportées par chacun des 4 ruisseaux d'alimentation du lac Bromont (2009 – 2010)

La Figure 2 illustre l'importance relative des apports en phosphore en 2009-2010, soit :

- R4 : 1^{er} pour les apports des 3 formes de phosphore (PT : 80%; PD : 80%; PP : 81%)
- R1 : 2^e pour les apports des 3 formes de phosphore (PT : 11%; PD : 12%; PP : 10%).
- R3 : 3^e pour les apports des 3 formes de phosphore (PT : 6 %; PD : 5%; PP : 6%).
- R2 est celui qui apporte le moins de phosphore au lac (PT : 3%; PD : 3%; PP : 3%).

Les apports en phosphore du R4 sont beaucoup plus élevés que ceux des autres ruisseaux, comme les années précédentes. Mais, globalement, ces apports sont jusqu'à 3,5 fois moins élevés que les années précédentes (Exemple : PT max. de R4 : en 2009-2010 : 286 kg; en 2008-2009 : 1 017 kg ; en 2007-2008 : 889 kg).

Les apports d'azote

La Figure 4 présente les quantités (kg) et les proportions (%) d'azote (NT, ND, NP) apportées par les ruisseaux au lac Bromont, du printemps 2009 au printemps 2010.

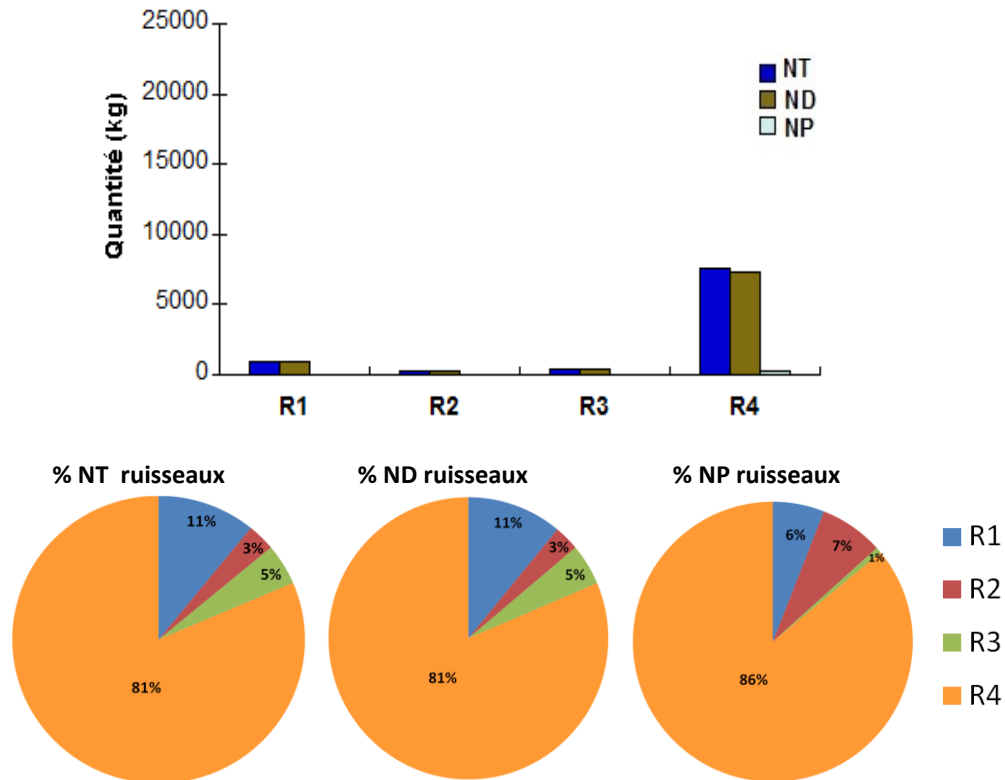


Figure 3 : Quantités (haut) et proportions (bas) d'azote (NT, ND, NP) apportées par chacun des 4 ruisseaux d'alimentation du lac Bromont (2009 – 2010)

La Figure 3 illustre l'importance relative des apports en phosphore en 2009-2010, soit :

- R4 : 1^{er} pour les apports des 3 formes d'azote (NT : 81%; ND : 81%; NP : 86%).
- R1 : 2^e pour les apports de NT et ND; 3^e pour les apports de NP (NT : 11%; ND : 11%; NP : 6%).
- R3 : 3^e pour les apports de NT et ND; 4^e pour les apports de NP (NT : 5%; ND : 5%; NP : 1%).
- R2 : 4^e pour les apports de NT et ND; 2^e pour les apports de NP (NT : 3%; ND : 3% ; NP : 7%).

Les apports en azote du R4 sont plus élevés que ceux des autres ruisseaux, comme les années précédentes. Mais, globalement, ces apports sont jusqu'à 2,7 fois moins élevés que les années précédentes (Ex. : NT de R4 max. : en 2009-2010 : 7 542 kg; en 2008-2009 : 19 942kg; en 2007-2008 : 20 706 kg)

Ainsi, en 2009-2010 :

- ➔ **Les apports externes de phosphore (PT : 356 kg) sont beaucoup moindres que ceux en 2008-2009 (PT : 1 118 kg) et en 2007-2008 (PT : 1 092 kg).** Toutefois, encore ici, **PT est majoritairement composés de PP** (63 %; 66 % en 2008-2009 ; 74 % en 2007-2008)⁴.
- ➔ **Les apports externes d'azote (NT : 9 247 kg) sont beaucoup moindres que ceux en 2008-2009 (NT : 24 658 kg) et en 2007- 2008 (NT : 26 423 kg).** Toutefois, comme les années précédentes, **NT est majoritairement composés de ND** (97 %; 65 % en 2008-2009 ; 92 % en 2007-2008).
- ➔ **C'est R4 qui apporte le plus de nutriments au lac,** comme les années précédentes.

⁴ Les % des différentes formes de phosphore et d'azote sont présentés dans les tableaux de *Synthèse de l'étude* de chaque année de recherche (Cahiers 4, 5 et 6).

Comment varient les apports de nutriments des ruisseaux, entre les saisons ?

Les quantités de nutriments apportés par chaque ruisseau au lac varient selon la superficie du sous-bassin versant⁵ du ruisseau et selon le débit⁶ de l'eau dans le ruisseau. Comme le débit dépend fortement des précipitations et de la fonte des neiges, les apports au lac il varient aussi selon les saisons.

Les débits des 4 ruisseaux et les précipitations selon les saisons

La Figure 4 présente les variations des débits des 4 ruisseaux d'alimentation du lac, selon les saisons de 2009 – 2010.

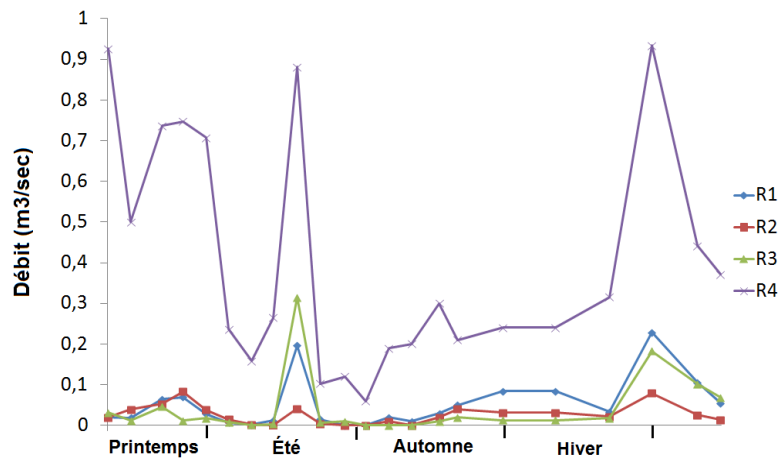


Figure 4 : Variations des débits des 4 ruisseaux d'alimentation du lac selon les saisons en 2009-2010

On observe cinq phases dans cette figure :

- Au printemps, les débits des 4 ruisseaux sont relativement élevés (max. $0,92 \text{ m}^3/\text{s}$), surtout R4. Cette période correspond à la fonte des glaces 2009.
- Au début de l'été, les débits des 4 ruisseaux diminuent fortement, jusqu'à être quasiment nuls sauf pour R4.
- À la mi-été, on observe un pic de débit pour les 4 ruisseaux (max. $0,88 \text{ m}^3/\text{s}$), probablement en raison des importantes précipitations de cette période (cf. Tableau 2, plus bas).
- De la fin de l'été à la fin de l'hiver, les débits des 4 ruisseaux sont relativement peu élevés (max. $0,32 \text{ m}^3/\text{s}$) mais augmentent graduellement.
- À la fin de l'hiver, le débit de R4 retrouve les valeurs du printemps 2009 ($0,32$ à $0,93 \text{ m}^3/\text{s}$) et les débits maximums des autres ruisseaux (max. $0,23 \text{ m}^3/\text{s}$) sont plus élevés qu'au printemps 2009 (max. $0,08 \text{ m}^3/\text{s}$). Ces résultats sont dus à la fonte des glaces 2010 et aux précipitations hivernales. Cependant le débit est 2 fois plus bas qu'à la fin de l'hiver de 2008 et de 2009.

⁵ Voir le Cahier 1 pour le détail des sous-bassins versants des ruisseaux au lac Bromont

⁶ Voir les Cahiers 2 et 3 pour la définition du débit, son calcul et son utilisation dans le calcul du bilan des nutriments

Le Tableau 2 présente les mesures de précipitation faites à la station météorologique de Granby au cours de l'année 2009-2010.

Tableau 2 : Précipitations saisonnières au cours des saisons de 2009-2010

Saison	Précipitations (mm)
Printemps 2009	215,1
Début de l'été	115,7
Mi-été	143,7
Fin été – Fin hiver	481,7
Fin hiver-début printemps 2010	193,2
Total	1 149,4

Ainsi, en 2009-2010 :

Les débits les moins élevés se produisent à la fin de l'été jusqu'au début de l'hiver. R4 est le ruisseau qui a les débits les plus élevés, comme en 2007-2008 et en 2008-2009. Globalement, les débits (max. 0,9 m³/s) sont presque 2 fois moins élevés qu'en 2008-2009 (max. 1,8 m³/s) et jusqu'à 1,3 fois moins élevés qu'en 2007-2008 (max. 1,2 m³/s).

Les charges en nutriments selon les saisons

Les variations des charges en nutriments (apports par jour⁷) des 4 ruisseaux d'alimentation du lac selon les saisons de 2009-2010 sont présentées à la Figure 5 (variations de charges de PT et de PD) et à la Figure 6 (variations de charges de NT et de ND).

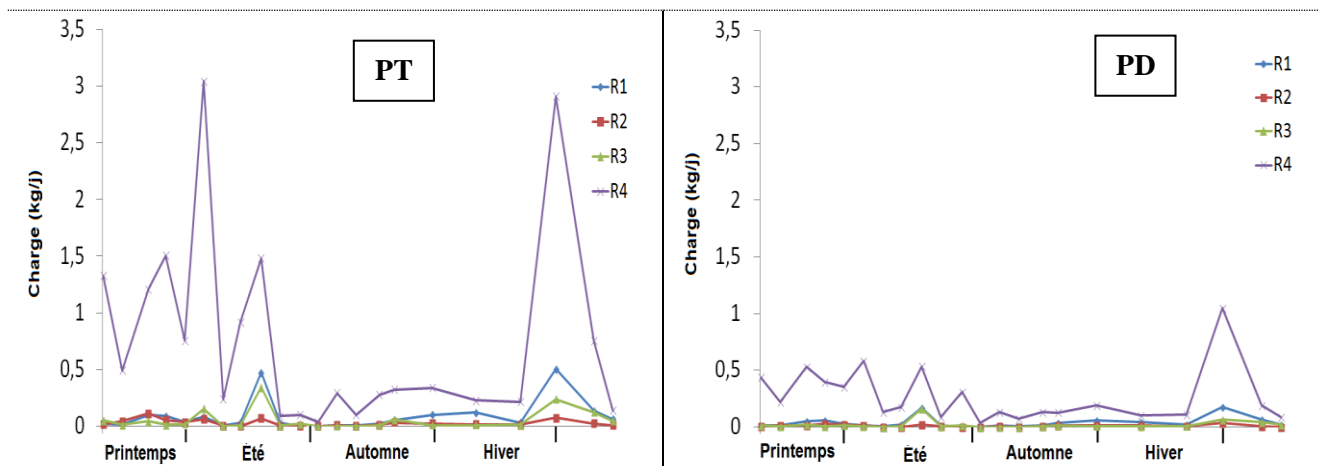


Figure 5 : Variations des charges en phosphore total (PT) et en phosphore dissout (PD) des ruisseaux d'alimentation du lac selon les saisons de 2009-2010

⁷ Voir le Cahier 3 pour le calcul de la charge

- Au printemps, **PT** est assez faible pour R1 à R3 (max. 0,11 kg/j) mais est plus élevé pour R4 (max. 1,51 kg/j).
- Au début de l'été, la charge en **PT** de R4 double tandis qu'il reste faible dans les autres ruisseaux.
- À la mi-été, **PT** est relativement élevé dans les 4 ruisseaux et diminue à la fin de la saison.
- À la fin de l'hiver, **PT** revient aux valeurs du début de l'été pour R4 (max. 2,91 kg/j). R1, R2 et R3 apportent la majorité de leur **PT** pendant cette saison (max. 0,51 kg/j).

- Au printemps, **PD** est faible pour R1 à R3 (max. 0,06 kg/j) et plus élevé pour R4 (max. 0,53 kg/j).
- Au début de l'été, **PD** apporté par R4 se maintient mais est près de 0 dans les autres ruisseaux. À la mi-été, **PD** augmente légèrement pour tous les ruisseaux sauf R2.
- De la fin de l'été à la mi-l'hiver, **PD** est très faible
- À la fin de l'hiver, **PD** présente les valeurs les plus élevées de l'année (max. 1,05 kg/j).

Près de 65 % des apports de PT sont sous forme particulière (i.e. PP, non présenté ici)
R4 a les charges les plus élevées en phosphore (jusqu'à 6 fois plus que les autres ruisseaux) pour toutes les saisons, comme les années précédentes

La Figure 6 présente les variations de charges du NT et du ND des 4 ruisseaux suivant les saisons :

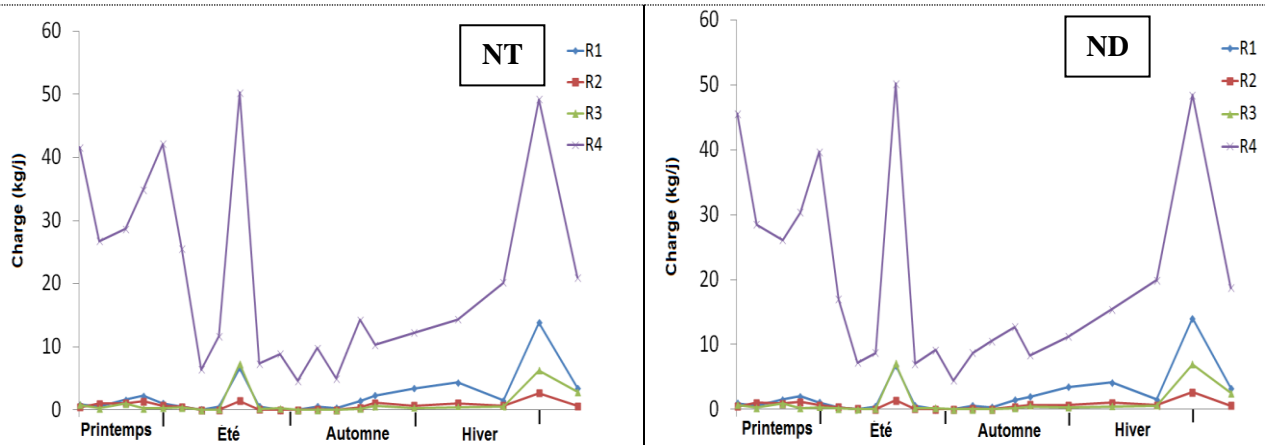


Figure 6 : Variations de la charge en azote total (NT) et en azote dissout (ND) des ruisseaux d'alimentation du lac selon les saisons de 2009-2010

- Au printemps, **NT** est faible pour R1 à R3 (max. 2,2 kg/j) mais plus élevé pour R4 (max. 42,1 kg/j).
- Au début de l'été, **NT** de R4 diminue fortement et est près de 0 pour les autres ruisseaux.
- Au milieu de l'été, **NT** augmente, surtout pour R4 et R3, où il dépasse les quantités printanières.
- De la fin de l'été à la mi-hiver, **NT** est très faible.
- À la fin de l'hiver, **NT** augmente dans les 4 ruisseaux. Dans R4, **NT** revient aux valeurs du printemps et du milieu de l'été (max. 49,2 kg/j)

- **ND** est très près de NT (total de 50,2kg/j pour ND et pour NT) et subit les mêmes variations.

NT (max. 50,2 kg/j) est environ 16,5 fois plus élevé que PT (max. 3 kg/j).

Les apports d'azote au lac sont surtout sous forme dissoute (ND).

R4 apporte les charges les plus élevées de nutriments au lac, comme les années précédentes.

Ainsi, en 2009-2010 :

Les débits, ainsi que les charges en nutriments sont moins élevés que les années précédentes :

➡ Les charges en PT et en PD sont beaucoup moins élevées qu'en 2008-2009 et en 2007-2008

➡ De même, les charges de NT et en ND sont beaucoup moins élevées qu'en 2008-2009 et en 2007-2008

Le lac agit-il comme une *source* ou comme un *puits* de nutriments en 2008-2009?

Le calcul des bilans de nutriments⁸ permet de déterminer si les apports en nutriments au lac sont supérieurs aux quantités rejetées par la décharge du lac. Ceci indique si, au cours de l'année, le lac a accumulé des nutriments dans ses sédiments : dans ce cas la charge nette (quantité apportée – quantité rejetée à la décharge) du nutriment sera positive. Si, au cours de l'année, le lac a rejeté plus de nutriments par la décharge (le seul **export**, au lac Bromont) qu'il en a reçus par ses ruisseaux (**Σapports**), la charge nette du nutriment sera négative.

Le calcul du bilan d'un nutriment se comprend ainsi :

Si Σ apports nutriment > Export nutriment => nutriment retenu => **charge nette positive** = le lac est un **puits du nutriment**

Si Σ apports nutriment < Export nutriment => nutriment sorti du lac => **charge nette négative** = le lac est une **source du nutriment**

Les bilans de phosphore et d'azote ont été calculés au lac Bromont pour déterminer si, en 2009-2010, le lac a agi comme un *puits* pour ces nutriments ou comme une *source*. Les **charges nettes**, soit la quantité du nutriment qui a été retenue ou qui est sortie du lac, ont aussi été calculées.

Le bilan annuel du phosphore

La Figure 7 présente les bilans et les charges nettes de phosphore (PT, PD, PP) au lac Bromont, pour la période couvrant le printemps 2009 au printemps 2010. Le graphique de gauche présente les bilans, où les parties de colonne de couleur bleu pâle représentent la somme des quantités du nutriment apportées au lac par les 4 ruisseaux et où les parties de colonne sans couleur représentent les quantités du nutriment sorties du lac par la décharge (R5). Ainsi, il est entré 356 kg de PT au lac et il en est sorti 377 kg, entre le printemps 2009 et le printemps 2010. Le graphique de droite présente les charges nettes des nutriments : par exemple, la quantité de PT entrée dans le lac (356 kg) moins la quantité sortie (377 kg), ce qui donne une charge nette négative de 21 kg et indique que le lac a agi comme une source de PT.

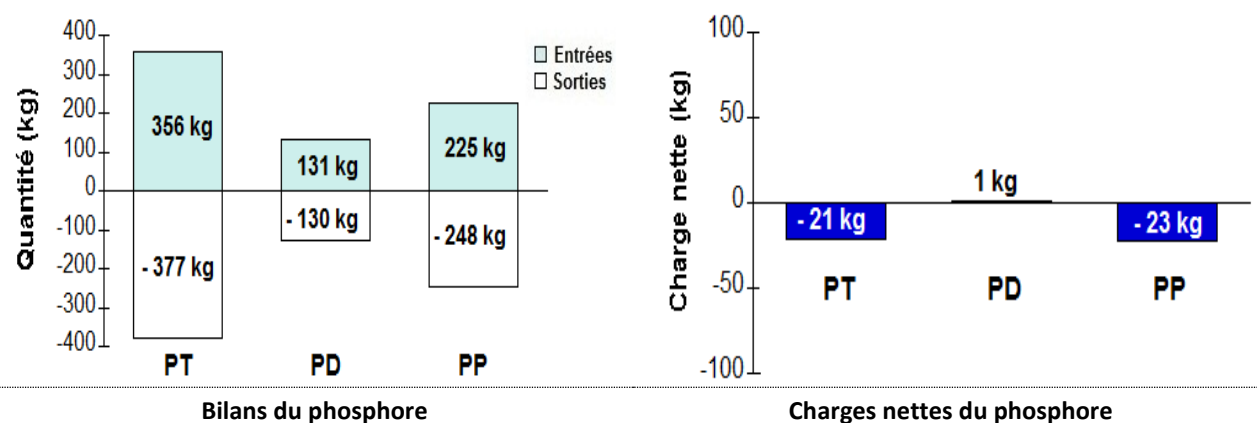


Figure 7 : Bilans et charges nettes annuels de phosphore (PT, PD, PP) au lac Bromont, 2009-2010

⁸ Voir les Cahiers 2 et 3 pour plus de détails sur le concept de bilan, son calcul, son utilisation et ses limites.

Les bilans annuels du phosphore en 2009-2010 sont :

PT : Σ apports: 356 kg < Export: 377 kg \Rightarrow 21 kg sortis (+ 5,9 %) \Rightarrow le lac est une *source* de PT

PD : Σ apports: 131 kg > Export: 130 kg \Rightarrow 1 kg retenu (0,7 %) \Rightarrow le lac est un *puits* de PD

PP : Σ apports: 225 kg < Export: 248 kg \Rightarrow 23 kg sortis (+ 10,2 %) \Rightarrow le lac est une *source* de PP

Le bilan annuel de l'azote

La Figure 8 présente les bilans et les charges nettes d'azote (NT, ND, NP) au lac Bromont, du printemps 2009 au printemps 2010. Ces graphiques s'interprètent comme ceux du phosphore (Figure 7).

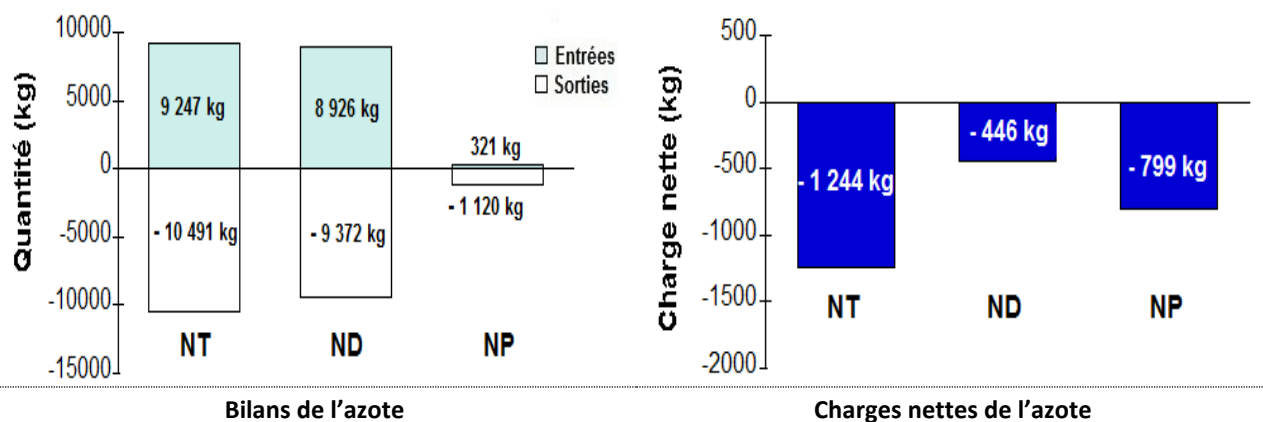


Figure 8 : Bilans et charges nettes annuels d'azote (NT, ND, NP) au lac Bromont, 2009-2010

Les bilans annuels de l'azote en 2009-2010 sont :

NT : Σ apports: 9 247 kg < Export: 10 491 kg \Rightarrow 1 244 kg sortis (+ 13,5 %) \Rightarrow le lac est une *source* de NT

ND : Σ apports: 8 926 kg < Export: 9 372 kg \Rightarrow 446 kg sortis (+ 5 %) \Rightarrow le lac est une *source* de ND

NP : Σ apports: 321 kg < Export: 1 120 kg \Rightarrow 799 kg sortis (+ 249 %) \Rightarrow le lac est une *source* de NP

Ainsi, sur la base de ces résultats et à l'échelle de l'année 2009-2010 :

- ➔ Le lac a agi comme une *source* de PT et de PP et *puits* de PD. Les années précédentes, le lac avait agi comme un *puits* de PT et de PP et comme une *source* de PD.
- ➔ Le lac a agi comme une *source* de NT et de ND mais surtout de NP (249 %). Les années précédentes, il avait aussi agi comme une *source* de NT et de NP mais comme un *puits* de ND.

Quelle est la dynamique des nutriments et des algues dans le lac pendant la période libre de glace ?

Pour l'étude de la dynamique des algues dans le lac, *la période libre de glace* est la plus intéressante puisque c'est à cette période que se développent les algues, les températures plus chaudes favorisant leur croissance.

Quelles sont les apports en nutriments, leur distribution dans le lac et celle des algues pendant cette période ? Ces apports de nutriments étaient-ils similaires aux années précédentes ? En 2009, des bilans de nutriments ont été effectués sur la période du 16 avril (départ de la glace) au 16 novembre 2009 (début de la glace).

Les apports de phosphore et d'azote pendant cette période

Le Tableau 3 présente, pour les différentes formes de phosphore (PT, PD, PP) et d'azote (NT, ND, NP), les apports annuels de 2009-2010 (en kg) des 4 ruisseaux au lac, ainsi que leurs apports (en kg) pendant la période libre de glace de 2009 et leurs proportions des apports annuels (en %).

Tableau 3 : Quantités (kg) et proportions des formes de P et de N apportées par les 4 ruisseaux d'alimentation pendant la période libre de glace de 2009

	Apport annuel (kg)	Apport pendant période libre de glace (kg)	Pourcentage
PD	131	68	51,9 %
PP	225	123	54,6 %
PT	356	191	53,7 %
ND	8 926	4 648	52 %
NP	321	223	69,5 %
NT	9 247	4 871	52,7 %

Dans ce tableau, on note que, pendant la période libre de glace de 2009:

- Pour les 3 formes de phosphore, les apports représentent plus de la 1/2 des apports annuels de phosphore au lac.
- Pour les 3 formes d'azote, les apports représentent aussi plus de la 1/2 des apports annuels d'azote au lac.

Ainsi, pendant la période libre de glace de 2009 :

- **Les apports de nutriments au lac sont similaires à ceux de 2008 pour la même période mais sont la ½ des apports de 2007** (Ex. PT : 2009 = 191 kg; 2008 = 189 kg; 2007 = 431 kg). Toutefois, les apports annuels totaux sont beaucoup moindres qu'en 2007 et 2008 (Ex. : PT : en 2009 : 356 kg; en 2008 = 1118 kg; en 2007 : 1092 kg).
- **Les % des apports de nutriments au lac pendant cette période sont donc plus élevés qu'en 2008 et en 2007** (Ex. : PT : en 2009 : 54 %; en 2008 = 17 % ; en 2007 : 39 %).
- **Les apports les plus importants de nutriments au lac ont eu lieu à cette période, contrairement aux situations en 2008 et en 2007, soit lors de la croissance des algues.**

Les bilans du phosphore et de l'azote pendant cette période

La Figure 9 présente les bilans et les charges nettes de phosphore (PT, PD, PP) et d'azote (NT, ND, NP), pendant la période libre de glace de 2009.

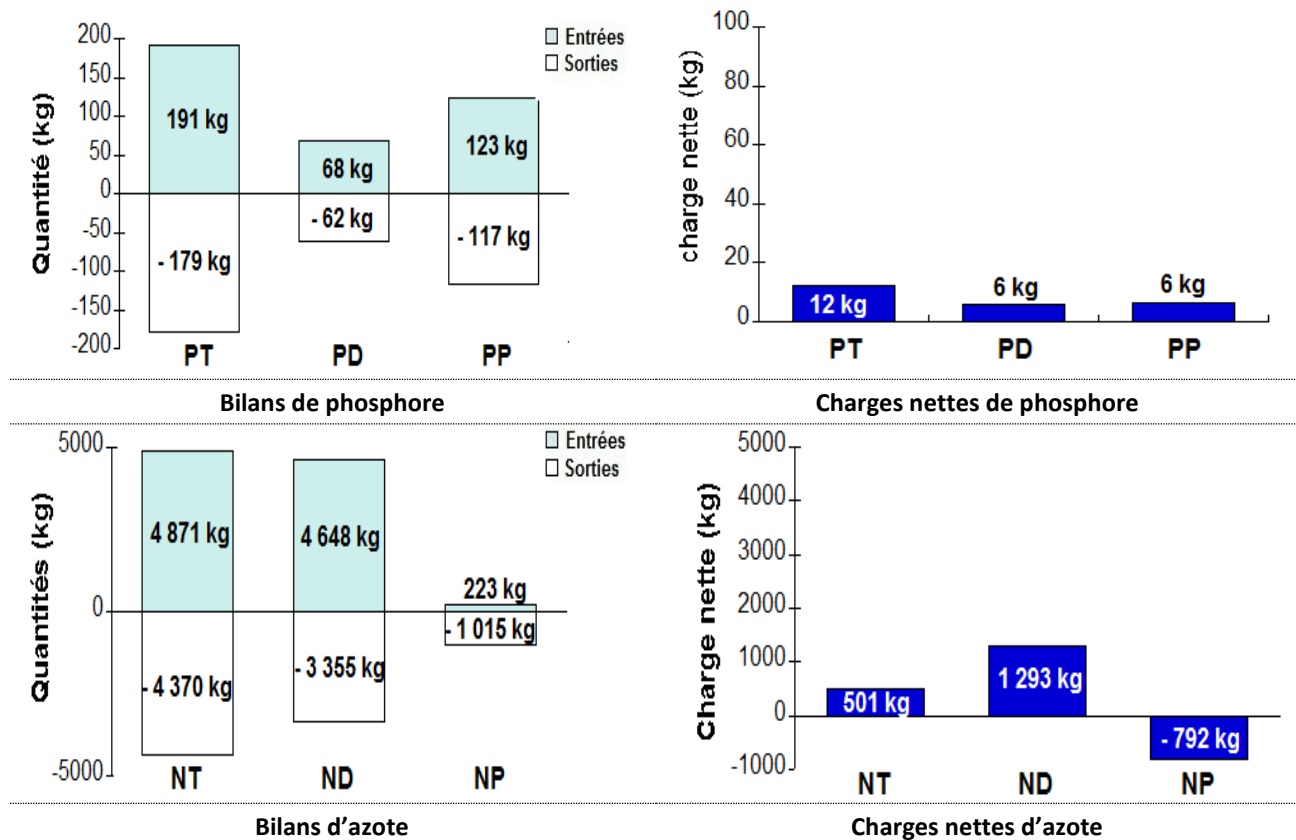


Figure 9 : Bilans et charges nettes de phosphore (PT, PD, PP) et d'azote (NT, ND, NP) pendant la période libre de glace de 2009

Pour la période libre de glace de 2009, les bilans du phosphore sont:

PT : Σ apports: 191 kg > Export: 179kg \Rightarrow 12 kg retenus \Rightarrow le lac est un puits de PT

PD : Σ apports: 68 kg > Export: 62 kg \Rightarrow 6 kg retenus \Rightarrow le lac est un puits de PD

PP : Σ apports: 123 kg > Export: 117 kg \Rightarrow 6 kg retenus \Rightarrow le lac est un puits de PP

Pour la période libre de glace de 2009, les bilans d'azote sont:

NT : Σ apports: 4 871 kg > Export: 4 370 kg \Rightarrow 501 kg retenus \Rightarrow le lac est un puits de NT

ND : Σ apports: 4 648 kg > Export: 3 355 kg \Rightarrow 1 293 kg retenus \Rightarrow le lac est un puits de ND

NP : Σ apports: 223 kg < Export: 1 015 kg \Rightarrow 792 kg sortis \Rightarrow le lac est une source de NP

Ainsi, sur la base de ces résultats⁹, pour la période libre de glace de 2009 :

➡ Les apports en nutriments ont été similaires à ceux de 2008, mais deux fois moindres qu'en 2007.

➡ Comme en 2007 et en 2008, le lac agit comme un puits de phosphore (PT, PD, PP), de NT et de ND, mais il est une source importante de NP.

⁹ Voir le Cahier 2 pour les limites à l'utilisation des bilans de nutriments.

La distribution des nutriments et des cyanobactéries pendant cette période

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 algues 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'eau¹⁰ 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 ainsi 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 nutriments 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 10 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.

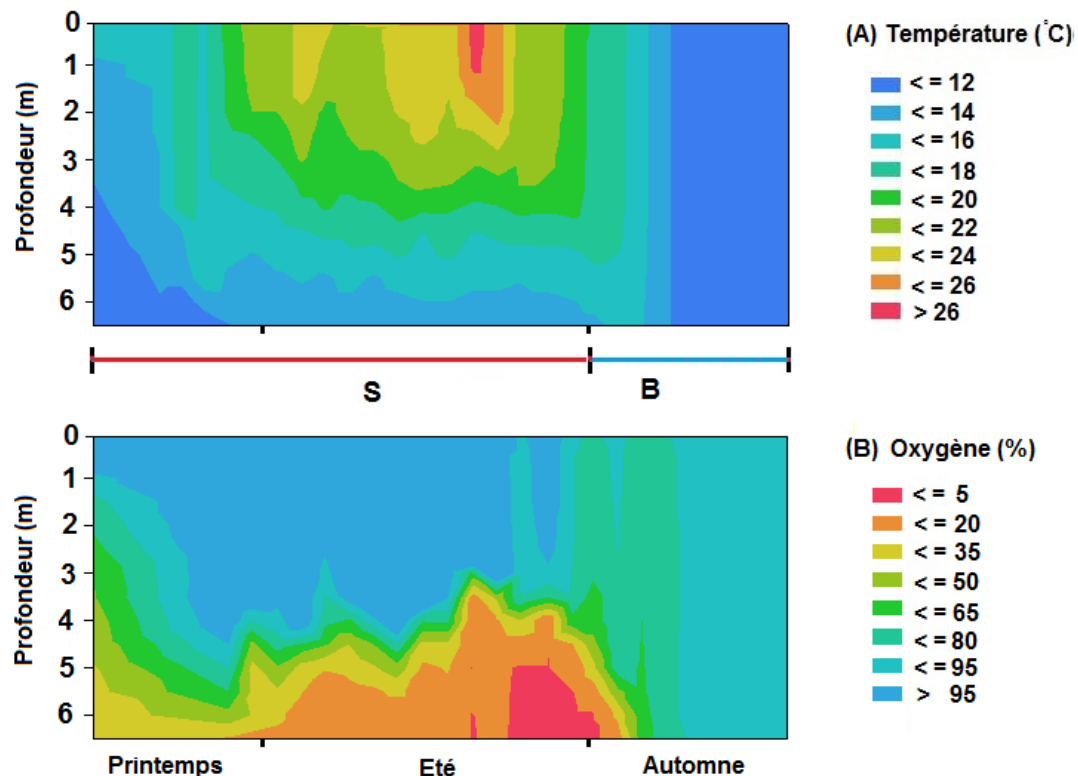


Figure 10 : Distribution (A) de la température et (B) de l'oxygène dans la colonne d'eau du lac pendant la période libre de glace de 2009

¹⁰ Voir le Cahier 2 pour des précisions sur la stratification, le brassage et l'anoxie.

Dans le premier graphique de la Figure 10 (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 basse¹¹. 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 stratification¹² a déjà commencé lors du premier échantillonnage (30 avril) mais est très instable jusqu'au milieu de l'été. Puis elle se stabilise jusqu'au brassage de fin d'été (18 septembre). Vers le milieu de l'automne, la température est approximativement la même sur toute la colonne d'eau (couleur bleue aux alentours de 16°C puis 14 °C puis 12 °C), ce qui indique que la stratification avait totalement disparu le 30 septembre.

Dans le graphique du bas de la Figure 10 (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, les couches supérieures du lac (couleur violet ou bleu foncé) sont sursaturées en oxygène (>100%) jusqu'à la fin de l'été. Cela indique l'activité d'algues, qui rejettent de l'oxygène pendant le jour lors de la photosynthèse¹³. Les couches plus profondes ont des pourcentages en oxygène nettement plus faibles : la teneur en oxygène est inférieure à 20 % à partir de 5 m de profondeur et ce jusqu'au début de l'été et, à partir de 4 m de profondeur, jusqu'à la fin de l'été. Après une courte période d'anoxie (< 5 % : en rouge) à la mi-été, une 2^e période d'anoxie, plus longue, s'installe à la fin de l'été et jusqu'au brassage. L'anoxie est apparue lorsque les eaux de surface étaient plus chaudes et que la stratification était la plus stable.

Lors de la période libre de glace de 2009, la stratification en début d'été est faible et peu stable jusqu'au début de l'été. Elle se stabilise en août, quand les eaux de surface se sont réchauffées, et l'anoxie s'établit jusqu'au brassage des eaux, le 18 septembre

¹¹ Voir le Cahier 3 pour la lecture plus détaillée de ce graphique.

¹² Voir le Cahier 1 pour la définition de la stratification et dans la section les algues et les lacs pour plus de détails.

¹³ Voir le Cahier 1, à la section sur les algues.

LA DISTRIBUTION DES NUTRIMENTS DANS LA COLONNE D'EAU PENSANT CETTE PÉRIODE

La Figure 11 présente les variations des concentrations en phosphore et en azote dans l'épilimnion (prélevés à 1,5 mètres de la surface), le métalimnion (prélevés à 3,5 mètres au printemps, à 4,5 mètres à l'été et l'automne de la surface) et l'hypolimnion (prélevés 1 mètre du fond), telles que mesurées au centre du lac pendant la période libre de glace de 2009.

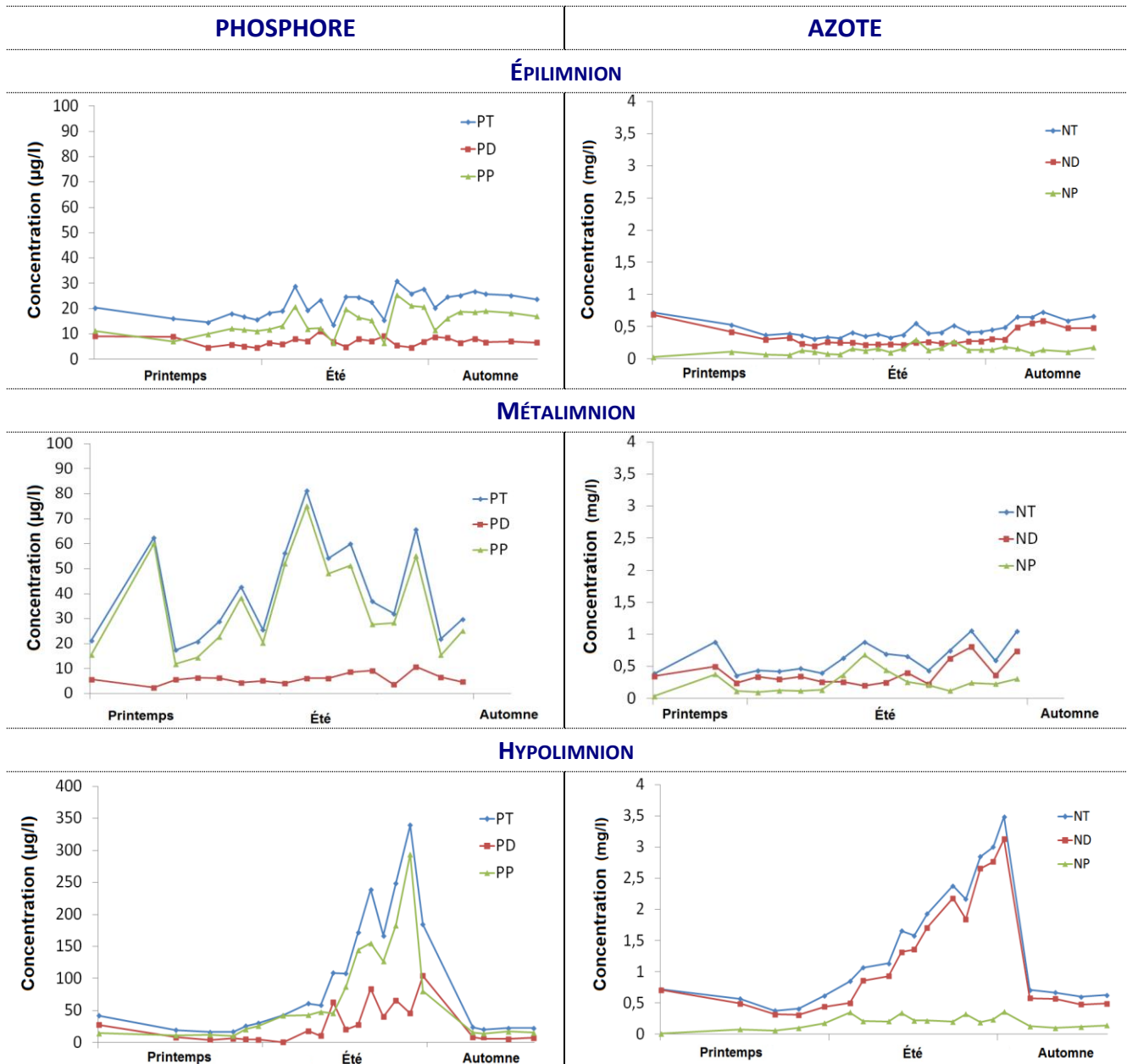


Figure 11 : Variation des concentrations en phosphore (PT, PD, PP) et en azote (NT, ND, NP) dans les trois couches de la colonne d'eau pendant la période libre de glace de 2009

<p>ÉPILIMNION</p> <ul style="list-style-type: none"> • PT (max. 30,8 µg/l), peu élevé au printemps et au début de l'été, augmente en été et en automne. • PD (max. 11,1 µg/l) est faible au printemps puis augmente légèrement au cours de l'été. • PP (max. 25,4 µg/l) représente plus du 2/3 de PT et le suit de près. 	<p>ÉPILIMNION</p> <ul style="list-style-type: none"> • NT (max 0,7 mg/l), légèrement plus élevé au début du printemps et vers la fin de l'été et l'automne, est presque totalement sous forme de ND. • ND (max 0,7 mg/l) suit l'évolution de NT. • NP (max. 0,3 mg/l) évolue inversement de ND. Très faible jusqu'à la fin du printemps, il augmente un peu jusqu'au brassage automnal puis diminue.
<p>MÉTALIMNION</p> <ul style="list-style-type: none"> • PT (max. 81,14 µg/l) oscille beaucoup au cours de la période libre de glace, sa valeur la plus faible étant au début de l'été. • PD (max. 10,7 µg/l) reste très faible : à cette profondeur les algues croissent et le consomment rapidement. • PP (max. à 75 µg/l) reste très près de PT 	<p>MÉTALIMNION</p> <ul style="list-style-type: none"> • NT (max. 1,1 mg/l), assez élevé au printemps et faible en été, augmente à partir du milieu de l'été. • ND (max. 0,8 mg/l) diminue au printemps puis reste faible jusqu'à la fin de l'été, dû à sa consommation par les algues. • NP (max. 0,7 mg/l) varie inversement de ND, car il reflète la croissance des algues
<p>HYPOLIMNION</p> <ul style="list-style-type: none"> • PT (max. 339,6 µg/l) est ~ 10 fois plus élevé qu'en surface. Faible du printemps jusqu'au milieu de l'été, il augmente fortement, à cause de l'augmentation des algues (et donc du PP algal). Après le brassage, il diminue de façon importante. • PD (max. 104,2 µg/l) est ~ 10 fois plus élevé qu'en surface. Relativement faible jusqu'au milieu de l'été, il augmente jusqu'au brassage, dû au relargage de phosphore pendant la période anoxique (voir la Figure 10 B). • PP (max. 294 µg/l) est ~ 12 fois plus élevé qu'en surface. Il constitue la majorité du PT, dont il suit les variations. Il est plus élevé du milieu à la fin de l'été, en raison de la croissance des algues qui a suivi l'augmentation de PD au fond du lac 	<p>HYPOLIMNION</p> <ul style="list-style-type: none"> • NT (max. 3,5 mg/l) augmente très fortement à partir du milieu de l'été jusqu'au brassage en fin d'été. • ND (max. 3,1 mg/l) suit de très près NT • NP (max. 0,4 mg/l) est faible
<p>Dans les 3 couches :</p> <ul style="list-style-type: none"> ♦ L'évolution de PP suit celle de PT ♦ PT est majoritairement constitué de PP, qui est sous forme algale ♦ PD évolue inversement à PP, car il diminue en présence d'algues puisqu'elles s'en nourrissent. PD est donc «transformé» en PP algale. 	<p>Dans les 3 couches :</p> <ul style="list-style-type: none"> ♦ NT est surtout sous forme de ND, assimilable par les algues ♦ L'évolution de ND suit généralement celle de NT ♦ NP évolue en général de façon inverse à ND

PP et NP diminuent, surtout dans le métalimnion et l'hypolimnion, lorsque la croissance des algues décline en raison du brassage de la colonne d'eau.

Dans l'hypolimnion, les 3 formes de phosphore sont beaucoup plus élevées que dans l'épilimnion; NT et ND y sont aussi plus élevés.

Dans l'hypolimnion, les valeurs élevées de PP (algal) en été suggèrent que les algues se sont développées en profondeur pendant la stratification. Les algues absorbent le PD (ce qui explique la diminution de PD), elles croissent dans les couches profondes et y restent jusqu'au brassage.

Ainsi, pendant la période libre de glace de 2009

➔ **En surface, le phosphore est similaire aux valeurs de 2008 pour cette couche (2009 : max. : PT : 30,8 µg/l; PD : 11,1 µg/l; PP : 25,4 µg/l) _ (2008 : max. : PT : 29 µg/l; PD : 14 µg/l; PP : 22 µg/l).**

Dans le métalimnion, PT (max. 81,1 µg/l) et PP (max. à 75 µg/l) sont plus élevés qu'en 2008 (max. : PT : 57,5 µg/l; PP : 54,5 µg/l) alors que PD (max. 10,7 µg/l) est similaire (max. 12 µg/l).

Dans l'hypolimnion, le phosphore est beaucoup plus élevé qu'en 2008 (2009 : max. : PT : 339,6 µg/l; PD : 104,2 µg/l; PP : 294 µg/l) _ (2008 : max. : PT : 103,4 µg/l; PD : 18,3 µg/l; PP : 110 µg/l)

➔ **En surface, l'azote est similaire aux valeurs de 2008 (2009 : max. : NT : 0,7 mg/l; ND : 0,7 mg/l; NP : 0,3 mg/l) _ (2008 : max. NT : 0,6 g/l; ND : 0,5 mg/l) NP : 0,2 mg/l.**

Dans le métalimnion, l'azote est plus élevé qu'en 2008 (2009 : max. : NT : 1,1 mg/l; ND : 0,8 mg/l; NP : 0,7 mg/l) _ (2008 : max. : NT : 0,6 mg/l; ND : 0,4 mg/l; NP : 0,3 mg/l).

Dans l'hypolimnion, NT (max. 3,5 mg/l) et ND (max. 3,1 mg/l) sont plus élevés qu'en 2008 (max. : NT : 1 mg/l; ND : 0,9 mg/l), alors que NP est moindre (max. 2009 : 0,4 mg/l; 2008 : 0,8 mg/l)

➔ **Les concentrations en phosphore, plus élevées dans les couches intermédiaires et profondes en 2009 qu'en 2008, s'expliquent par le phosphore relargué par les sédiments au cours de l'été (estimé à 4851 kg en 2009 et 1793 Kg en 2008).**

LA DISTRIBUTION DES CYANOBACTÉRIES DANS LA COLONNE D'EAU

En 2009 comme les années précédentes, le groupe d'algues majoritaire au lac Bromont était les cyanobactéries (représentant plus de 90% du total des algues à partir de la mi-juillet). La Figure 12 (page suivante) présente la distribution de la biomasse des cyanobactéries (en kg par couches de 0,5 m) dans le lac pendant la période libre de glace de 2009. Sur cette figure, plus la couleur est foncée, plus la quantité de cyanobactéries est importante¹⁴. 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.

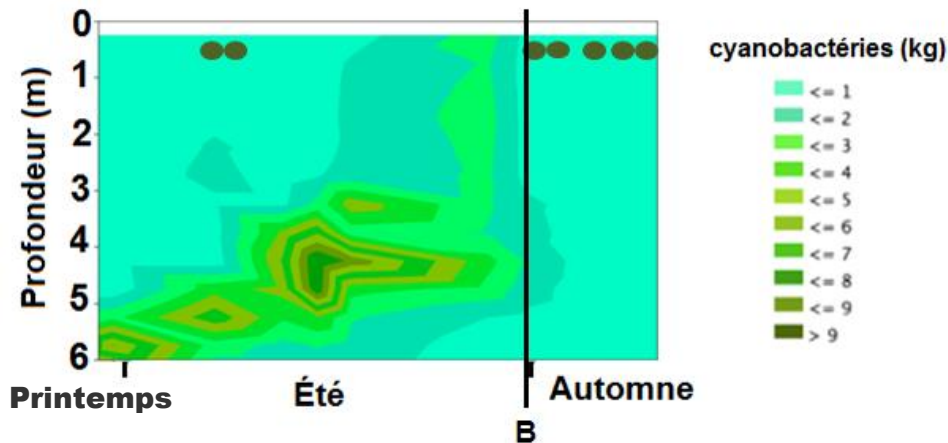


Figure 12 : Distribution de la biomasse des cyanobactéries de la surface au fond du lac, pendant la période libre de glace de 2009

En surface par contre (épilimnion : 0 à 3,5 m de profondeur), la biomasse des cyanobactéries était le (moins de 2 kg) jusqu'à la fin de l'été. Elles se sont surtout développées dans les couches profondes, entre 4 et 6 m de profondeur, de la fin du printemps au début de l'automne (vert foncé, Figure 13). Leur biomasse a augmenté rapidement et s'est maintenue élevée (de 6 kg à plus de 9 kg) au cours de l'été dans les couches profondes et intermédiaires.

Au début de l'été, lorsque la stratification n'était pas très stable, les cyanobactéries sont remontées jusqu'à 3,5 m, puis ont commencé à décliner à la fin de l'été. La biomasse maximale de cyanobactéries (> 9 kg) a été mesurée au milieu de l'été et est restée importante (> 5 kg) jusqu'au début de l'automne. Cette période correspond aux températures les plus chaudes et à l'anoxie.

Au début de l'automne, quand le brassage a commencé (B sur la Figure 12), les cyanobactéries se sont distribuées uniformément dans toute la colonne d'eau et leur biomasse a diminué (2 à 5 kg).

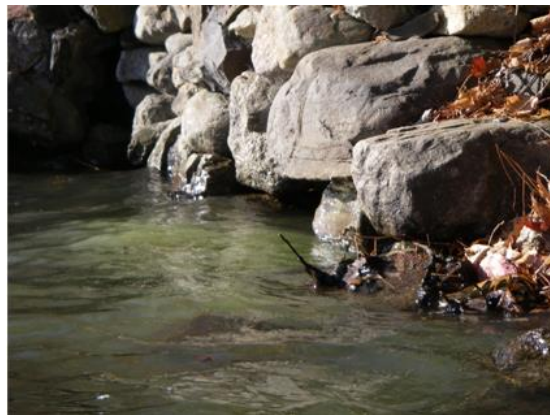
La distribution des cyanobactéries peut être mise en relation avec celle du phosphore (voir la Figure 10) : la présence de nutriments en profondeur a favorisé la croissance des cyanobactéries dans cette zone. En effet, au cours de l'été, lorsque la stratification est stable et que l'anoxie est installée, du phosphore et de l'azote sont relargués des sédiments et diffusent dans la colonne d'eau.

Cette nouvelle source de nutriments est utilisée par les algues qui se trouvent dans les couches intermédiaires. Et, lorsqu'il y a de la turbulence produit par des vents forts, l'eau de surface

¹⁴ Voir le Cahier 3 pour la lecture de ce graphique

pénètre dans le métalimnion, ce qui entraîne une remontée de phosphore et d'algues, des couches intermédiaires vers la surface, produisant ainsi des efflorescences de cyanobactéries en surface. En 2009, les premières efflorescences sont apparues fin juin jusqu'au milieu du mois de juillet, quand la stratification était moins stable. Ces efflorescences estivales, couleur vert-fluo, étaient constituées de l'espèce *Plankthotrix agardhii*.

Suivant les observations faites lors des échantillonnages au lac, il y a eu beaucoup d'efflorescences entre le 21 septembre et le 16 novembre (dernière journée d'échantillonnage au lac). Ces efflorescences automnales, d'aspect poudreux (Figure 13), sont constituées de l'espèce *Aphanizomenon flos-aquae*. Cette espèce 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. *Plankthotrix agardhii* comme *Aphanizomenon flos-aquae* sont considérées potentiellement toxiques.



(Photographie de Zuzana Hrivnakova)

Figure 13 : Photographie d'efflorescences automnale d'*Aphanizomenon flos-aquae* (2009).

- ➔ **Les cyanobactéries se sont développées entre 4 et 6 m de profondeur, vu la disponibilité du PD, et ont augmenté rapidement.** La stratification du lac ne leur permettant pas de remonter à la surface, sauf lors de turbulences de l'eau dues au vent, leur présence en surface a été peu fréquente, jusqu'au brassage automnal.
- ➔ **La répartition des cyanobactéries a suivi celle du P.** Elles se sont développées en profondeur, alors que le P et la lumière étaient disponibles.
- ➔ **Lors de la stratification, qui a entraîné l'anoxie au fond du lac, le P contenu dans les sédiments a été relargué, ce qui a permis aux algues des couches intermédiaires de croître.**
- ➔ **La population de cyanobactéries commence à décliner et se distribue dans toute la colonne d'eau lors du brassage automnal.**

Les zones habitées, en bordure du lac, sont-elles une autre source externe de nutriments pour le lac?

Certaines zones en bordure du lac Bromont ont une haute densité de résidences, 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 étude des nutriments inorganiques dissous (phosphore : PO_4 ; azote: NH_4) accumulés dans l'eau interstitielle des sédiments dans deux de ces zones, a été réalisée afin d'obtenir un aperçu de l'enrichissement des sédiments des zones habitées par rapport à des zones sans habitation.

La Figure 1 localise les sites échantillonnés pour cette étude : 2 stations sont situées près de zones habitées (P3 : près du R3 ; P5 : près du R5) et 2 stations servent de sites témoins hors des zones habitées (P3-4 : entre le R3 et le R4 ; P4 : près du R4). Des dialyseurs ont été implantés dans les sédiments de ces 4 sites pendant 15 jours: ces appareils mesurent et comptabilisent les molécules inorganiques dissoutes, telles que le PO_4 et le NH_4 , accumulées dans les eaux interstitielles les sédiments.

Le Tableau 4 présente les résultats de cette étude, pour les stations localisées dans les zones habitées et pour les stations témoins. On ne note aucune tendance claire dans ces résultats : le PO_4 mesuré dans les eaux porales des stations des zones de villégiature est moins élevé que dans les stations témoins et, dans le cas de NH_4 , les valeurs les plus élevées ont été mesurées à une station témoin (P4, suivi de la station de villégiature P5). Ces résultats mériteraient d'être confirmés, étant donné la grande variabilité entre les répliqués d'une même station, dans les zones habitées (voir les coefficients de variation - % CV, au Tableau 4).

Tableau 4 : Concentrations en phosphore et en azote dissous (PO_4 ; NH_4) mesurées dans l'eau interstitielle des sédiments, entre 17 août et le 1 septembre 2009

Stations des zones habitées	PO_4 (CV) ($mg.m^{-2}$) %	NH_4 (CV) ($mg.m^{-2}$) %
Station P3	34,7 (41,0)	359,5 (54,0)
Station P5	80,9 (44,0)	573,5 (41,0)
Stations témoins		
Station P3-4	42,2 (4,3)	295,1 (12,4)
Station P4	97,8 (5,0)	590,0 (15,0)

L'étude comparative des nutriments inorganiques dissous (PO_4 , NH_4) dans l'eau interstitielle des sédiments près de zones résidentielles *versus* les zones non habitées n'a pas mis en lumière d'apports importants des zones résidentielles, étant donné les grands écarts entre les répliqués dans les stations des zones habitées.

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

Depuis 2007, les ruisseaux sont échantillonnés à quelques centaines de mètres avant leur arrivée au lac (amont : voir Figure 1) et, pour évaluer si ces mesures reflètent bien les apports réels des ruisseaux au lac, une étude comparative entre ces mesures et des mesures effectuées à l'arrivée des ruisseaux au lac (embouchure) a été faite entre le 19 mai et le 21 septembre 2009. Pour la décharge (R5), les mesures à un nouveau site localisé directement au début du ruisseau a été comparé à celles faites au site antérieur, plus en aval¹⁵.

La présente section compare ainsi les bilans des nutriments, établis à partir des mesures faites en amont des ruisseaux et de celles faites à leur embouchure. Chaque bilan, par exemple celui du PT, représente le résultat de la somme du PT apporté par les 4 ruisseaux au lac (R1 à R4), d'où est soustraite la quantité de PT rejetée du lac par la décharge (R5).

Les bilans de phosphore des ruisseaux suivant le site d'échantillonnage

Les Figures 14 et 15 sont construites de façon similaire aux figures précédentes qui présentaient les bilans et les charges de nutriments. Toutefois, ici on compare les résultats des deux sites d'échantillonnage (amont, embouchure) et seuls PT et PD (Figure 14) et NT et ND (Figure 15) sont présentés.

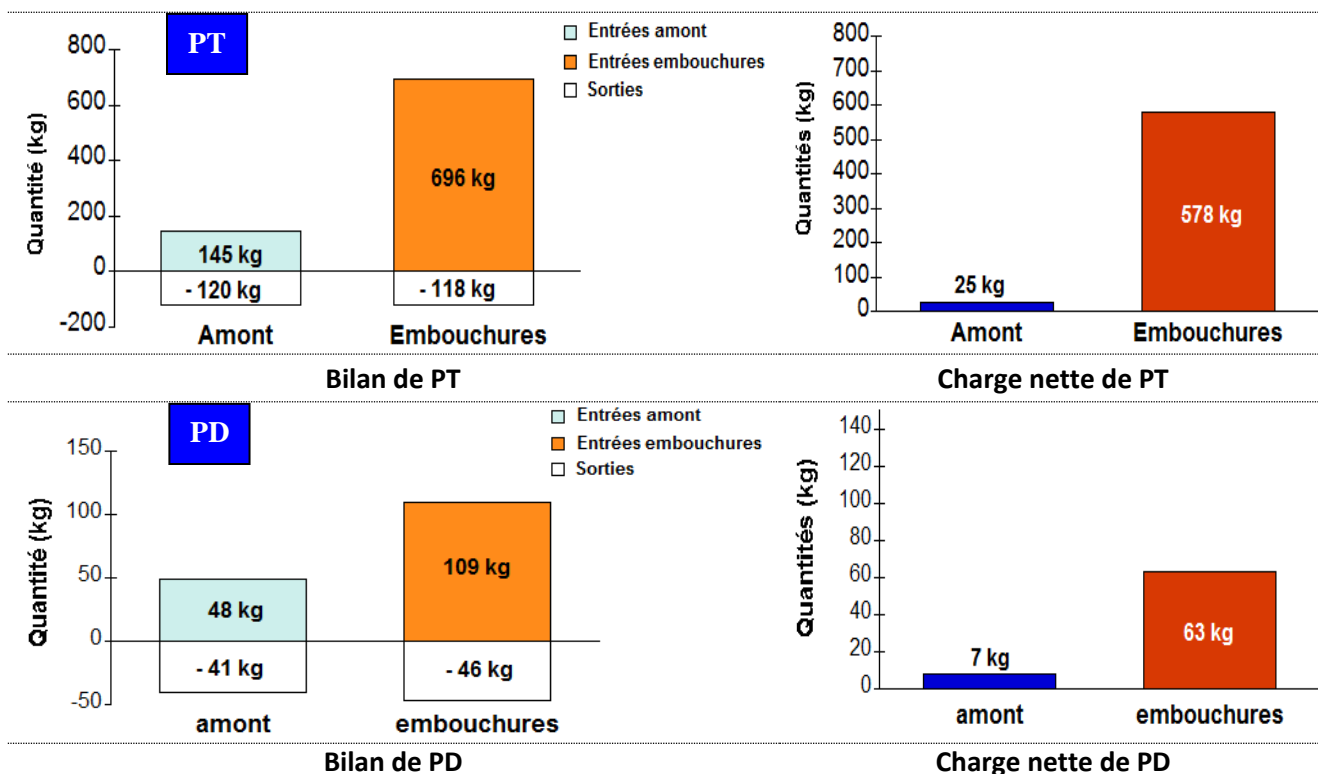


Figure 14 : Bilans et charges nettes de phosphore (PT et PD) en amont des ruisseaux et à leur embouchure, de mai à septembre 2009

¹⁵ Se référer à la Figure 1 du présent document et au texte qui l'accompagne pour une meilleure compréhension des sites d'échantillonnage.

Dans la Figure 14, le graphique du haut à gauche présente le bilan du PT calculé à partir de la somme des entrées de PT mesurées en amont des ruisseaux (colonne de gauche, en bleu) et mesurées à leur embouchure (colonne de droite, en orange); les colonnes blanches représente les sorties de PT mesurées respectivement à ces sites (amont, embouchure). Ainsi, de mai à septembre 2009, l'apport total de PT au lac, tel que mesuré en amont des 4 ruisseaux, était de 145 kg ; il était toutefois beaucoup plus élevé (696 kg) lorsque mesuré à l'embouchure des ruisseaux. Les mesures de sortie de PT à la décharge varient peu, que ces mesures soient prises à l'ancien site en aval (120 kg) ou à l'entrée de la décharge (118 kg). Le graphique du haut à droite de la Figure 14 présente la charge nette du PT, encore ici calculé à partir des données mesurées en amont des ruisseaux et à leur embouchure, et à l'entrée de la décharge et en aval. Les graphiques du bas de la Figure 14 représentent les mêmes calculs, mais pour le phosphore dissous (PD).

Suivant les résultats présentés dans cette figure, les apports des ruisseaux sont beaucoup plus élevés lorsque mesurés à leur embouchure. Toutefois, tel que dit précédemment, pour ce qui est de la décharge (R5), le site d'échantillonnage a peu changé les quantités de nutriments rejetées du lac, que ce soit pour le phosphore (Figure 14) ou l'azote (Figure 15).

Les bilans du phosphore selon les sites d'échantillonnage sont:

PT :

Amont : PT : Σ apports : 145 kg > Export: 120 kg \Rightarrow 25 kg retenus \Rightarrow le lac est un puits de PT

Embouchure : PT : Σ apports : 696 kg > Export: 118 kg \Rightarrow 578 kg retenus \Rightarrow le lac est un puits de PT

PD :

Amont : PD : Σ apports: 48 kg > Export: 41 kg \Rightarrow 7 kg retenus \Rightarrow le lac est un puits de PD

Embouchure : PD : Σ apports: 109 kg > Export: 46 kg \Rightarrow 63 kg retenus \Rightarrow le lac est un puits de PD

Suivant ces résultats, quelque soit le site d'échantillonnage, le lac agit comme un puits de phosphore. Toutefois, les mesures aux embouchures montrent des apports des ruisseaux et des quantités retenues dans le lac beaucoup plus élevées que ce qui a été calculé à partir des anciens sites d'échantillonnage. Ainsi, dans le cas du phosphore dissout, disponible pour les algues, suivant les mesures aux sites en amont des ruisseaux, 7 kg de PD auraient été retenus dans le lac, alors que suivant les mesures à leur embouchure, 9 fois plus de PD (63 kg) apporté par les ruisseaux a été retenu dans le lac (et plus de 20 fois plus de PT : $578 \text{ kg} / 25 \text{ kg} = 23$).

Ces résultats montrent par ailleurs un apport important de phosphore, entre les sites en amont des ruisseaux et ceux à l'embouchure, ce qui suggère un apport de nutriments venant des terrains localisés sur le bord de ces ruisseaux, entre les sites en amont et leur embouchure. En effet, les sections des ruisseaux entre les sites en amont et les embouchures, ont apporté au total 551 kg de PT (mesure en amont : 145 kg, mesures aux embouchures : 696 kg; différence : $696 \text{ kg} - 145 \text{ kg} = 551 \text{ kg}$). Pour PD, ce calcul conduit à un apport de ces zones de 61 kg ($109 \text{ kg} - 48 \text{ kg}$).

Les bilans d'azote des ruisseaux suivant le site d'échantillonnage

La Figure 15 (page suivante) donne des informations similaires à la précédente, mais ici pour les valeurs d'azote (NT et ND) : le graphique du haut à gauche présente le bilan du NT pour les mesures en amont des ruisseaux (colonne de gauche, en bleu) et celles à leur embouchure

(colonne de droite, en orange), et les colonnes blanches représente les sorties de NT pour chaque site. Le graphique du haut à droite présente la charge nette du NT pour chaque site (amont, embouchure) et les graphiques du bas représentent les mêmes calculs pour l'azote dissous (ND).

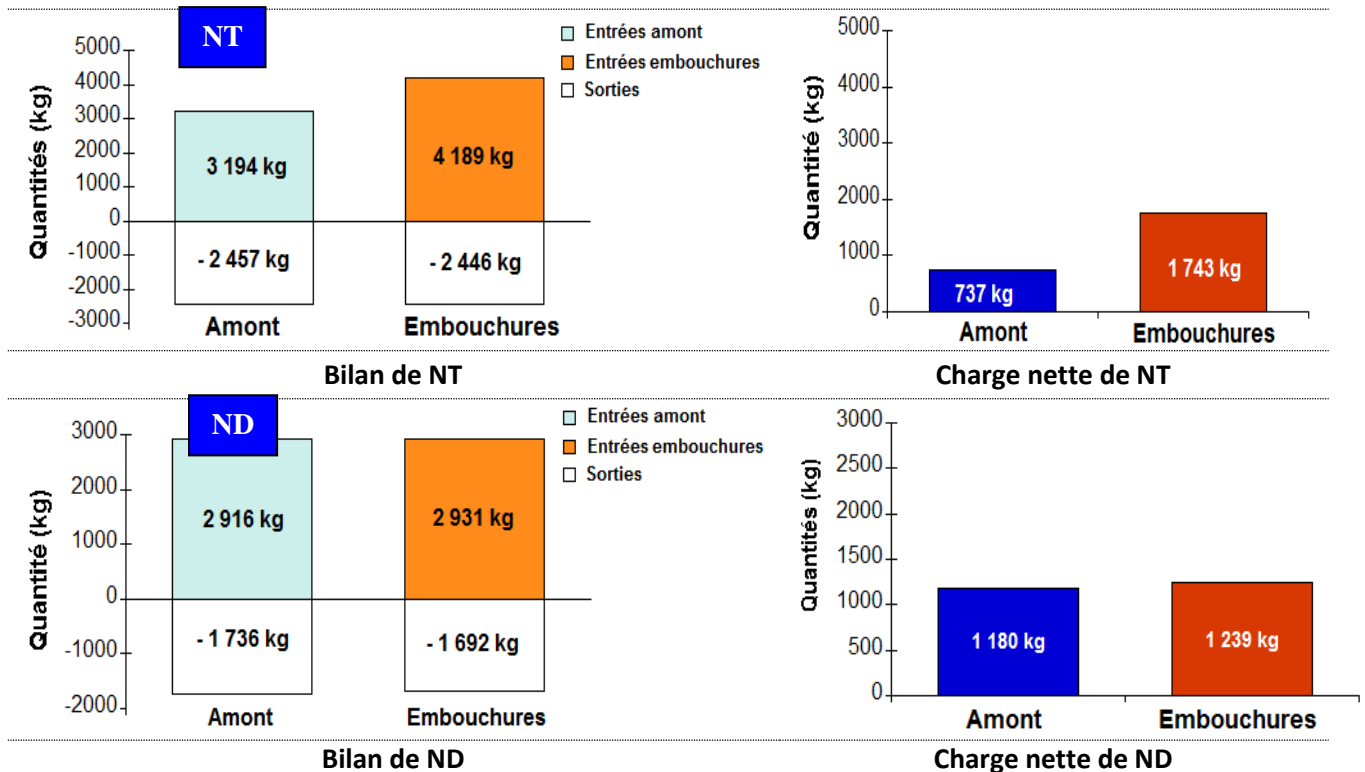


Figure 15 : Bilans et charges nettes de l'azote (NT et ND) en amont des ruisseaux et à leur embouchure, de mai à septembre 2009

Les bilans de l'azote selon les sites d'échantillonnage sont:

NT :

Amont : NT : Σ apports: 3 194 kg > Export: 2 457 kg => 737 kg retenus => le lac est un puits de NT

Embouchure: NT : Σ apports: 4 189 kg > Export: 2 446 kg => 1 743 kg retenus => le lac est un puits de NT

ND :

Amont : ND: Σ apports: 2 916 kg > Export: 1 736 kg => 1 180 kg retenus => le lac est un puits de ND

Embouchure: ND: Σ apports: 2 931 kg > Export: 1 692 kg => 1 239 kg retenus => le lac est un puits de ND

Comme pour le phosphore, le statut du lac par rapport à l'azote est le même quelque soit le site d'échantillonnage : le lac a agi comme un puits d'azote, entre le 19 mai et le 21 septembre 2009. Toutefois, contrairement au phosphore, il y a peu de différences dans le total des apports d'azote calculés à partir des mesures aux embouchures, par rapport aux mesures en amont des ruisseaux. De même, il y a peu de différences dans les quantités d'azote retenues dans le lac, entre les deux types de site, sauf dans le cas du NT, où les mesures à l'embouchure donnent une quantité retenue (1 743 kg) d'un peu plus du double de celle obtenue à partir des mesures en amont (737 kg).

Ainsi, dans le cas de l'azote, les terrains localisés dans les secteurs des ruisseaux entre les sites en amont et les sites à l'embouchure apporteraient peu d'azote aux ruisseaux, sauf pour NT. Dans ce

dernier cas, ces terrains auraient apportés 995 kg de NT aux ruisseaux (mesures en amont : 3 194 kg; mesures aux embouchures : 4 189 kg; différence : 995 kg). Tel que dit précédemment, dans le cas du ND, ces terrains auraient eu de faibles apports (2 931 kg – 2, 916 kg = 15 kg).

Les présents résultats suggèrent que les mesures de nutriments effectuées les années précédentes en amont des 4 ruisseaux sous-estimaient les apports de PT (63% R1; 61% R2; 67% R3 ; 78% R4), de PD (48% R1; 86% R2; 61% R3; 50% R4) et de NT (53% les R1 et R2; 55% le R3 et R4).

En ce sens, les terrains en rives localisés entre les sites d'échantillonnage en amont des ruisseaux et leur embouchure ont contribué de façon importante aux apports de phosphore (PT, PD) et de NT au lac, en 2009.

PREMIÈRES CONCLUSIONS ET SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE 2009-2010

Premières conclusions

En 2009-2010, les apports de nutriments au lac ont été plus importants en été qu'en hiver, contrairement aux résultats de 2007-2008 et de 2008-2009, où les apports maximaux ont eu lieu vers la fin de l'hiver¹⁶. Ceci peut s'expliquer par les débits des ruisseaux, qui ont été beaucoup plus faibles vers la fin de l'hiver 2010 (max 0,9 m³/s) qu'à la fin de l'hiver de 2008-2009 (~ 1,5 m³/s) ou de l'hiver 2007-2008 (~ 1,4 m³/s).

En été, les débits ont été relativement faibles (max 0,8 m³/s), comme les années précédentes. On observe toutefois un petit pic pour le R3, dans la 2^e partie de l'été 2010. Ce pic peut être dû aux perturbations liées aux travaux réalisés rue de Bosquet pendant l'été.

La majorité des nutriments ont été apportés par le ruisseau Wright (R4), suivi par les ruisseaux Petit Galop (R1) et des Cervidés (R3). La Coulée du Rocher (R2) est le ruisseau qui a apporté le moins de nutriments. Au total, les 4 ruisseaux ont apporté 356 kg de phosphore et 9 247 kg d'azote au lac. Ces valeurs sont très inférieures à celles des années précédentes¹⁵. Le phosphore apporté au lac était majoritairement composé de PP tandis que l'azote était principalement sous forme dissoute. Pendant la période libre de glace, 53,7 % du PT et 52,7 % du NT ont été apportés au lac : ces pourcentages sont plus élevés qu'en 2007-2008 et qu'en 2008-2009¹⁷.

La stratification, qui avait déjà commencé lors du premier échantillonnage, s'est achevée au début de l'automne, lors du brassage. Le fond du lac a été anoxique de la fin de l'été jusqu'au début de l'automne.

Les questions soulevées en 2008-2009

Tel que présenté en introduction au présent document, deux questions supplémentaires ont été abordés en 2009-2010 :

1. Les zones de villégiature sont-elles des sources de nutriments pour le lac?

La comparaison entre les mesures de nutriments dissous (PD, ND) dans l'eau interstitielle des sédiments du littoral du lac près de zones de villégiature, avec des mesures dans des zones non résidentielles n'a pas mis en lumière des apports plus importants des zones résidentielles versus les zones non habitées. Cependant, ces résultats ne sont pas concluants et mériteraient d'être confirmés, puisqu'il y avait beaucoup de variabilités entre les répliques des deux stations des zones habitées

¹⁶ Pour les données de 2007-2008, voir le Cahier 4; pour les données de 2008-2009, voir le Cahier 5.

¹⁷ Voir les Synthèse de ces études, à la fin des Cahiers 4 et 5.

2. 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 ?

Les mesures des nutriments à l'embouchure des 4 ruisseaux montrent des apports beaucoup plus élevés de phosphore et d'azote totaux (différences : PT : 551 kg; NT : 995 kg) et, dans une moindre mesure, de phosphore et d'azote dissous (différences : PD : 61 kg; ND : 15 kg), que lorsque les mesures ont été effectuées en amont des ruisseaux. Ceci suggère un apport important des terrains localisé entre les sites en amont et l'embouchure des ruisseaux et, d'autres parts, suggère aussi une sous-estimation des apports réels des ruisseaux au lac en 2007-2008 et 2008-2009, puisque jusqu'ici les mesures étaient toujours effectuées aux sites en amont des ruisseaux.

Les questions issues de l'étude de 2009-2010

1- Une deuxième étude permettra-t-elle de confirmer ou infirmer le rôle des zones habitée en bordure du lac, dans les apports de nutriments au lac?

2- Au plan méthodologique et dans la poursuite de la validation des échantillonnages de nutriments en ruisseaux :

- ♦ Les échantillonnages bimensuels dans les ruisseaux sont-ils représentatifs des apports réels de nutriments qui arrivent au lac?

Compte tenu que les périodes de fortes précipitations peuvent être moins pris en compte par les échantillonnages bimensuels, une évaluation en continu des apports des ruisseaux permettrait de prendre en compte les différentes conditions météorologiques au cours de la période libre de glace et de valider ces mesures bimensuelles. En effet, les débits des ruisseaux qui alimentent le lac sont grandement influencés par les précipitations ou la fonte de la neige.

- ♦ L'enrichissement de l'eau des ruisseaux observé entre les sites d'échantillonnage en amont et ceux aux embouchures peut-il être confirmé par de nouvelles mesures?

Il est important de confirmer, ou non, cet enrichissement, puisque, outre de valider ou ajuster les données antérieures, les résultats seront utiles pour une meilleure gestion des apports par les terrains jouxtant les secteurs compris entre les sites en amont et l'embouchure des ruisseaux.

Synthèse de l'étude 2009-2010

Combien de nutriments entrent dans le lac et quel ruisseau en apportent le plus ?

	Quantités totales (proportion de PT)			Quantités totales (proportion de NT)	
	(kg)	(% du PT)		(kg)	(% du NT)
PT	356	-	NT	9 247	
PD	131	(37 %)	ND	8 926	(97 %)
PP	225	(63 %)	NP	321	(3 %)

C'est le ruisseau Wright (R4) qui apporte le plus de nutriments au lac mais les apports annuels totaux sont beaucoup moindres qu'en 2007 et 2008

Comment varient les apports de nutriments selon les saisons?

	Printemps	Début été	Mi été	Fin été-hiver 2010	Fin hiver 2010
Débit	Élevé (surtout R4)	Faible	Élevé	Faible	Élevé
PT	Élevé pour R4	Élevé pour R4	Faible	Faible	Élevé
PD	Faible sauf R4	Faible sauf R4	Faible	Faible	Très élevé (surtout R4)
NT	Élevé pour R4	Faible	Très élevé (surtout R4)	Peu élevé	R4 élevé; R1 à R3 : très élevé
ND	Élevé pour R4	Faible	Très élevé (surtout R4)	Peu élevé	R4 élevé; R1 à R3 : très élevé

Le lac agit-il comme une *source* ou comme un *puits* de nutriments ? Les bilans annuels 2009-2010

PT	le lac est une <i>source</i>	NT	le lac est une <i>source</i>
PD	le lac est un <i>puits</i>	ND	le lac est une <i>source</i>
PP	le lac est une <i>source</i>	NP	le lac est une <i>source</i>

Le lac agit-il comme une *source* ou comme un *puits* de nutriments pendant la période libre de glace de glace 2008? Les bilans pendant cette période

PT	le lac est un <i>puits</i>	NT	le lac est un <i>puits</i>
PD	le lac est un <i>puits</i>	ND	le lac est un <i>puits</i>
PP	le lac est un <i>puits</i>	NP	le lac est une <i>source</i>

Pendant la période libre de glace, 54 % du PT et 53 % du NT annuels sont apportés au lac

Comment se distribuent les nutriments dans l'eau, au centre du lac ?

La stratification du lac a commencé au printemps puis s'est stabilisée en été. Le lac était en anoxie du milieu de l'été jusqu'au brassage automnal

PD et ND ont diminué de la fin du printemps au début de l'été, inversement au PP et au ND, dû à la croissance des algues.

Quelle est la répartition des algues pendant la période libre de glace?

Les cyanobactéries se sont développées dans les couches profondes et s'y sont maintenues jusqu'au début de l'automne. Des efflorescences de *Plankthotrix agardhii* sont observées en été, comme les autres années, et d'*Aphanizomenon flos-aquae* en automne.

Les zones de villégiatures sont-elles des sources de phosphore et d'azote pour le lac ?

Les résultats obtenus suggèrent que les stations de villégiature n'apportent pas de nutriments au lac mais des études plus élaborées seraient nécessaires, étant donné la variabilité des résultats.

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

Les mesures aux embouchures des ruisseaux montrent des apports plus élevés de nutriments au lac que lorsque calculés à partir des mesures aux sites des années antérieures, en amont des ruisseaux.