

LE PROGRAMME DE RECHERCHE SUR LES CYANOBACTÉRIES AU LAC BROMONT

CAHIER 4

ÉTUDE EN 2007 - 2008

**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 DE L'ÉTUDE 2007- 2008	2
MÉTHODOLOGIE SPÉCIFIQUE À L'ÉTUDE 2007-2008	3
Sites échantillonnés et variables mesurées	3
Échantillonnage dans les ruisseaux et dans le lac	3
Traitement des données et des informations	4
PRÉSENTATION ET DISCUSSION DES RÉSULTATS DE L'ÉTUDE 2007-2008	5
Combien de nutriments sont entrés dans le lac en 2007-2008 ? Quel ruisseau en a apportés le plus ?	6
Les apports de phosphore	6
Les apports d'azote	7
Comment ont varié les apports de nutriments au lac entre les saisons ?	8
Les débits des 4 ruisseaux d'alimentation selon les saisons	8
Les charges en nutriments selon les saisons	9
Le lac a-t-il agit comme une <i>source</i> ou comme un <i>puits</i> de nutriments ?	11
Le bilan annuel de phosphore	11
Le bilan annuel de l'azote	12
Quelle est la dynamique des nutriments et des algues dans le lac pendant la période libre de glace?	13
Les apports de phosphore et d'azote pendant cette période	13
Les bilans du phosphore et de l'azote pendant cette période	14
La distribution des nutriments dans l'eau du lac pendant cette période	16
L'eau interstitielle des sédiments au centre du lac contient-elle des nutriments ?	20
La distribution des algues dans le lac pendant cette période - Quels sont les groupes d'algues les plus abondants?	21
PREMIÈRES C ONCLUSIONS ET SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE 2007-2008	24
Premières conclusions	24
Les questions issues de l'étude de 2007-2008	24
Synthèse de l'étude 2007-2008	25

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation des sites d'échantillonnage en 2007-2008.....	3
Figure 2 : Quantités (haut) et proportions (bas) de phosphore (PT, PD, PP) apportées par chacun des 4 ruisseaux d'alimentation du lac Bromont (2007 – 2008).....	6
Figure 3 : Quantités (haut) et proportions (bas) d'azote (NT, ND, NP) apportées par chacun des 4 ruisseaux d'alimentation du lac Bromont (2007 – 2008)	7
Figure 4 : Variations des débits des 4 ruisseaux d'alimentation du lac selon les saisons, en 2007-2008.....	8
Figure 5 : Variations des charges en phosphore total (PT) et en phosphore dissout (PD) des ruisseaux d'alimentation du lac selon les saisons de 2007-2008.....	9
Figure 6 : Variations des charges en azote total (NT) et en azote dissout (ND) des ruisseaux d'alimentation du lac selon les saisons de 2007-2008	10
Figure 7 : Bilans et charges nettes annuels de phosphore (PT, PD, PP) au lac Bromont, 2007-2008	11
Figure 8 : Bilans et charges nettes annuels d'azote (NT, ND, NP) au lac Bromont, 2007-2008	12
Figure 9 : Bilans et charges nettes de phosphore (PT, PD, PP) et d'azote (NT, ND, NP) pendant la période libre de glace de 2007	14
Figure 10 : Distribution de (A : en haut) de la température et (B : en bas) du pourcentage d'oxygène dans la colonne d'eau du lac, pendant la période libre de glace.....	16
Figure 11 : Variation des concentrations en phosphore (PT, PD, PP) et en azote (NT, ND, NP) dans l'épilimnion et l'hypolimnion de la colonne pendant la période libre de glace de 2007	18
Figure 12 : Concentrations en phosphore dissout (PO_4) par unité de surface dans l'eau interstitielle des sédiments, en fonction de la profondeur des sédiments au centre du lac	20
Figure 13 : Répartition des grands groupes d'algues à 5 mètres de profondeur dans le lac, entre mai et novembre 2007	21
Figure 14 : Répartition de la biomasse des cyanobactéries, de la surface jusqu'au fond du lac, pendant la période libre de glace.....	22
Figure 15 : Photographie d'un amas vert fluorescent de cyanobactéries observé à l'été 2007	22

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Fréquences d'échantillonnage dans les ruisseaux et dans le lac en 2007-2008	4
Tableau 2 : Proportions des formes de P et de N apportées par les 4 ruisseaux d'alimentation pendant la période libre de glace de 2007.....	13

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 dans l'eau

N : Azote

ND : Azote dissous dans l'eau

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 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 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. Le présent cahier, ainsi que les quatre suivants, 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 maîtrise, 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 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.

OBJECTIFS DE L'ÉTUDE 2007- 2008

L'étude de 2007-2008 au lac Bromont, la première conduite au lac dans le cadre du Programme de recherche avec l'UQAM, visait principalement à connaître les quantités de nutriments (phosphore : P; azote : N) apportés au lac par les ruisseaux et à évaluer la possibilité que ces apports par les ruisseaux puissent expliquer les efflorescences de cyanobactéries dans le lac.

Concrètement, ceci a impliqué de :

1. Évaluer les apports en nutriments au lac par les ruisseaux

L'évaluation de ces apports a été faite sur une année, pour chaque saison et pour la saison libre de glace. Les bilans des nutriments ont été calculés, pour savoir si le lac retient ou rejette des nutriments

2. Étudier la dynamique des nutriments et des algues dans le lac

La dynamique des nutriments et celle des différents groupes d'algues dans le lac, dont celle des cyanobactéries, à été étudiée pendant le période libre de glace. Ceci impliquait aussi d'étudier les distributions de la température et de l'oxygène dans le lac, pour comprendre la dynamique des nutriments et des algues.

MÉTHODOLOGIE SPÉCIFIQUE À L'ÉTUDE 2007-2008

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 la couche de surface (**épilimnion**) et la couche profonde (**hypolimnion**) de la colonne d'eau
- L'**eau interstitielle des sédiments**, dans la zone la plus profonde du lac

VARIABLES MESURÉES ¹

- Les nutriments dans la colonne d'eau : phosphore et azote (total : PT, NT; dissous : PD, ND),
- Le phosphore inorganique dissous dans l'eau interstitielle des sédiments (PO₄)
- Le débit des ruisseaux
- L'oxygène et la température dans la colonne d'eau
- Les principaux groupes d'algues, la biomasse (chlorophylle a) des cyanobactéries dans la colonne d'eau et l'identification des efflorescences

Échantillonnage dans les ruisseaux et dans le lac

La Figure 1 présente les sites d'échantillonnage en 2007 – 2008 et le Tableau 1 précise les périodes et les fréquences de ces échantillonnages.

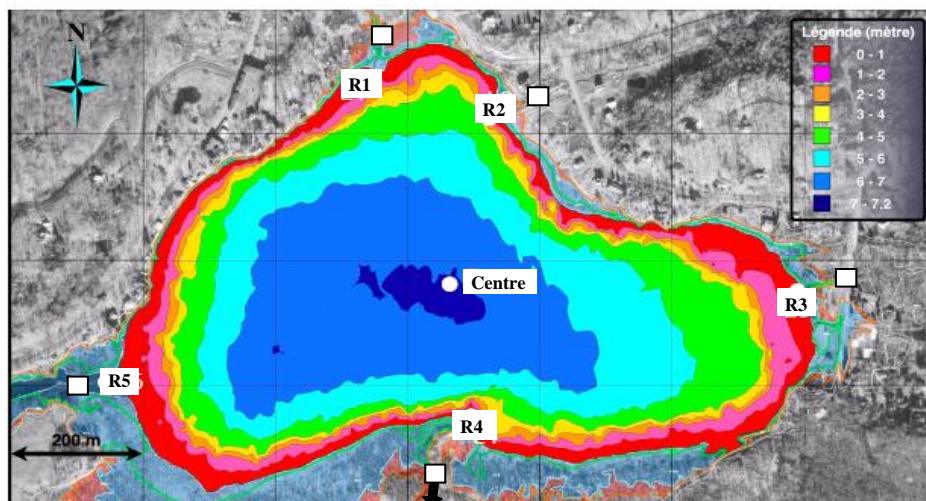


Figure 1 : Localisation des sites d'échantillonnage en 2007-2008

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

Dans la Figure 1, les **carrés blancs** représentent les **sites d'échantillonnage des ruisseaux**; les ruisseaux R1 à R4 ont été échantillonnés en amont dans les ruisseaux, et la décharge (R5) a été échantillonnée à sa sortie, en aval du barrage. Le **cercle blanc**, dans la zone la plus profonde au centre du lac (~ 7 mètres), représente le **site d'échantillonnage du lac et de l'eau interstitielle des sédiments**. Le lac a été échantillonné pendant la période libre de glace, à deux profondeurs, soit en surface (épilimnion) et au fond de l'eau (hypolimnion ~ 6 mètres). **L'eau interstitielle des sédiments** a aussi été échantillonnée dans la zone la plus profonde du lac, à l'aide de dialyseurs² qui sont restés six semaines dans les sédiments.

Tableau 1 : Fréquences d'échantillonnage dans les ruisseaux et dans le lac en 2007-2008

RUISSEAUX	Avril à octobre 2007	Novembre 2007 à janvier à mars 2008
Phosphore, azote	aux 2 semaines	au mois
LAC	Mai à octobre 2007	Novembre 2007
Phosphore, azote Température, oxygène ; algues	aux 2 semaines	au mois
Eau interstitielle des sédiments Phosphore inorganique dissous (PO₄)	Dialyseurs déposés début août, ramassés mi-septembre	

Traitement des données et des informations

LES RUISSEAUX

Les mesures des **concentrations en nutriments** dans les cinq ruisseaux permettent de comparer les quantités apportées par chaque ruisseau au lac et les quantités rejetées par la décharge, ceci en vue de calculer les **bilans** des nutriments³.

LE LAC

Les mesures des **concentrations en nutriments** dans le lac permettent de connaître la variation de ces concentrations en fonction du temps, en la surface (épilimnion) et en profondeur (hypolimnion). **Les mesures de température et d'oxygène** permettent d'établir leur distribution en fonction du temps et de la profondeur de l'eau : ces deux variables 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.

L'EAU INTERSTITIELLE DES SÉDIMENTS

La mesure de **concentrations en phosphore inorganique dissous (PO₄)** contenu dans l'eau interstitielle des sédiments⁴ permet d'estimer les quantités de phosphore relarguées des sédiments vers l'eau du lac et donc les **apports internes de phosphore** au lac.

² Voir le Cahier 3 pour des précisions sur le fonctionnement d'un dialyseur

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

⁴ Voir le Cahier 3 pour plus de précisions

PRÉSENTATION ET DISCUSSION DES RÉSULTATS DE L'ÉTUDE 2007-2008

Les sections qui suivent ont pour but de répondre aux questions posées pour cette première année d'étude au lac Bromont, soit :

- Combien de nutriments entre dans le lac ? Quel ruisseau en apporte le plus?
- Comment varient les apports de nutriments au lac entre les saisons ?
- Le lac agit-il comme une source ou comme un puits de nutriments ? Les bilans annuels
- Quelle est la dynamique des nutriments (apports, distribution dans le lac) et des algues pendant la période libre de glace de 2007 ?
 - Quels sont les bilans pour la période libre de glace
 - Comment se distribuent les nutriments dans l'eau, au centre du lac ? Quels sont les liens avec la stratification du lac ?
 - L'eau interstitielle des sédiments, au centre du lac, relâche-t-elle du phosphore vers la colonne d'eau ?
 - Comment se distribuent les algues dans le lac? Quels sont les groupes d'algues les plus abondants ? Quelles espèces de cyanobactéries forment les efflorescences en surface ?

Combien de nutriments sont entrés dans le lac en 2007-2008 ? Quel ruisseau en a apportés le plus ?

Cette section présente les quantités de phosphore et d'azote apportées par les 4 ruisseaux d'alimentation du lac Bromont, du printemps 2007 au printemps 2008.

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 – ou PTD) et de phosphore particulaire (PP) apportées au cours de l'année 2007-2008 par les 4 ruisseaux d'alimentation du lac Bromont (Petit Galop : R1; Coulée du Rocher : R2; des Cervidés : R3; Wright : R4).

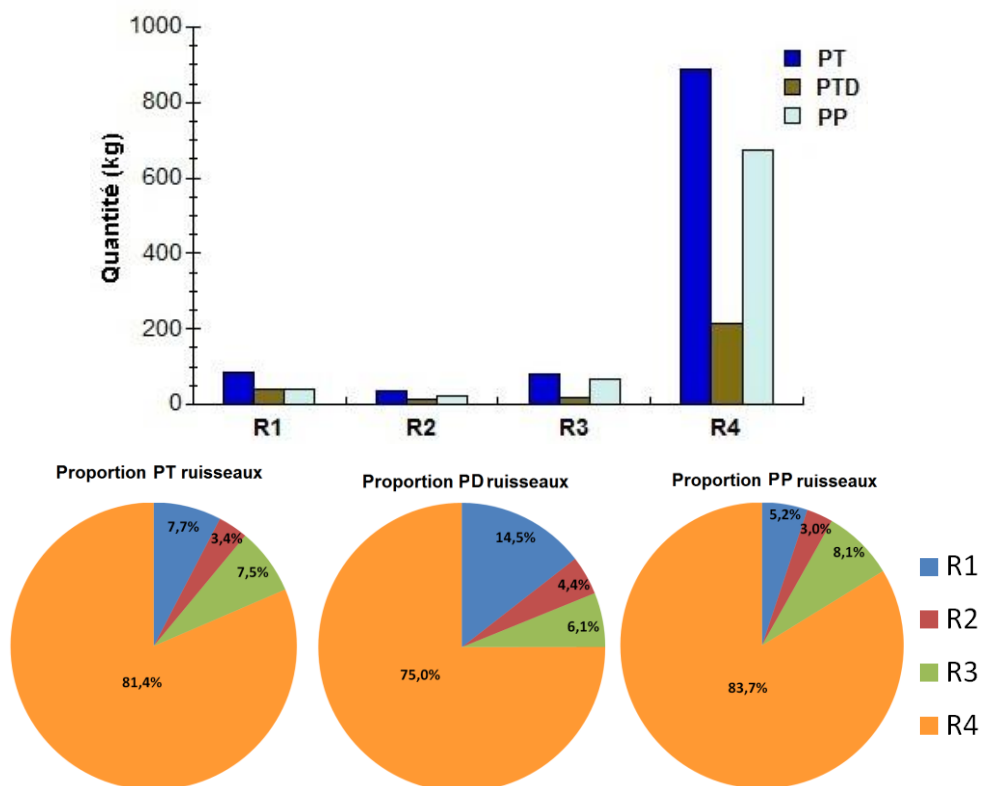


Figure 2 : Quantités (haut) et proportions (bas) de phosphore (PT, PD, PP) apportées par chacun des 4 ruisseaux d'alimentation du lac Bromont (2007 – 2008)

La Figure 2 illustre l'importance relative des apports en phosphore en 2007-2008, soit :

- R4 apporte la majorité du phosphore (PT : 81.4%; PD : 75.0%; PP : 83.7%).
- R1 est le 2^e en apport de PT et PD et le 3^e en apport de PP (PT : 7.7%; PD : 14.5 %; PP : 5.2%).
- R3 est le 3^e en apport de PT et PD et le 2^e en apport de PP (PT : 7.5 %; PD : 6.1%; PP : 8.1%).
- R2 apporte la plus petite quantité de P au lac (PT : 3.4 %; PD : 4.4%; PP : 3.0%).

Les quantités de phosphore apportées par le ruisseau Wright (R4) sont beaucoup plus importantes que celle des autres ruisseaux :

Les apports d'azote

La Figure 3 présente les quantités (kg) et les proportions (%) d'azote (NT, ND, NP) apportées par les ruisseaux au lac Bromont, du printemps 2007 au printemps 2008.

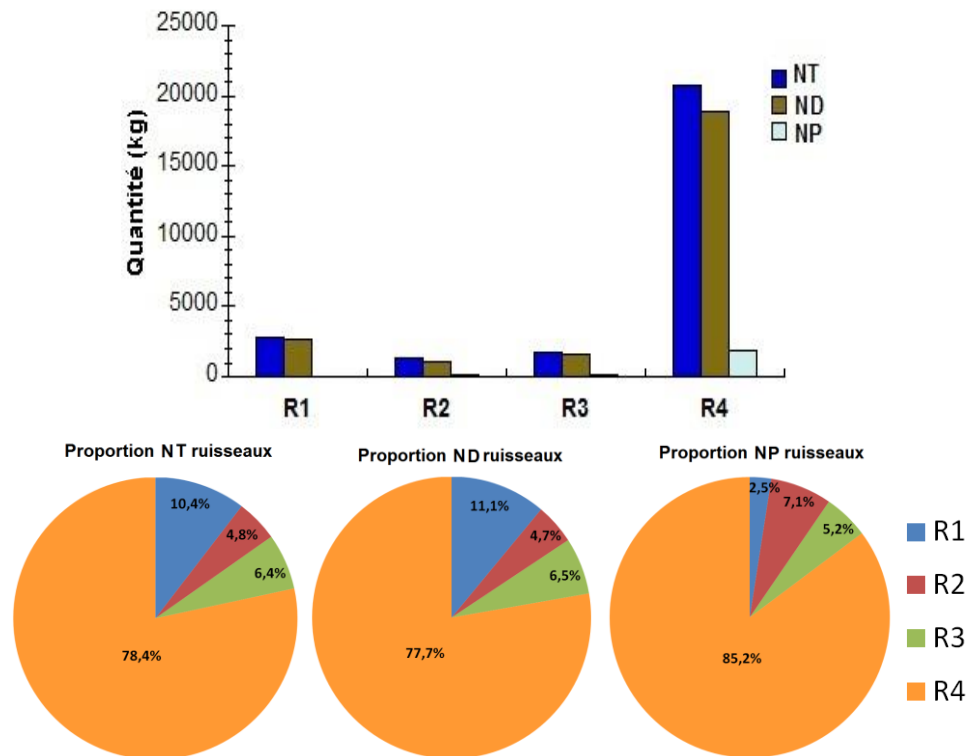


Figure 3 : Quantités (haut) et proportions (bas) d'azote (NT, ND, NP) apportées par chacun des 4 ruisseaux d'alimentation du lac Bromont (2007 – 2008)

La Figure 3 illustre l'importance relative des apports en azote en 2007-2008, soit :

- R4 apporte la majorité du N (NT : 78.4%; ND : 77.7%; NP : 85.2%)
- R1 est le 2^e en apport de NT et ND, le 4^e en apport de NP (NT : 10.4%; ND : 11.1 %; NP : 2.5%).
- R3 est le 3^e en apport d'azote (NT : 6.4 %; ND : 6.5%; NP : 5.2%).
- R2 est celui qui apporte la plus petite quantité de NT et ND mais est le 2^e en apport de NP (NT : 4.8%; ND : 4.7% ; NP : 7.1%).

Encore ici, c'est R4 qui apporte le plus d'azote au lac

Ainsi, en 2007-2008 :

- 1 092 kg de phosphore total sont entrés dans le lac par les 4 ruisseaux.
- 26 423 kg de d'azote total sont entrés dans le lac par les 4 ruisseaux.
- C'est le ruisseau Wright (R4) qui apporte la majorité des nutriments au lac

Comment ont varié les apports de nutriments au lac entre les saisons ?

Les quantités de nutriments apportés par chaque ruisseau varient selon les saisons. En effet, deux principaux facteurs influencent la quantité de nutriments apportée par les ruisseaux : la superficie du bassin versant⁵ et le débit de l'eau dans le ruisseau. Le débit dépend des précipitations et de la fonte des neiges et est donc fonction des saisons.

Les débits des 4 ruisseaux d'alimentation selon les saisons

La Figure 4 présente les variations des débits⁶ des 4 ruisseaux d'alimentation du lac selon les saisons de 2007 – 2008.

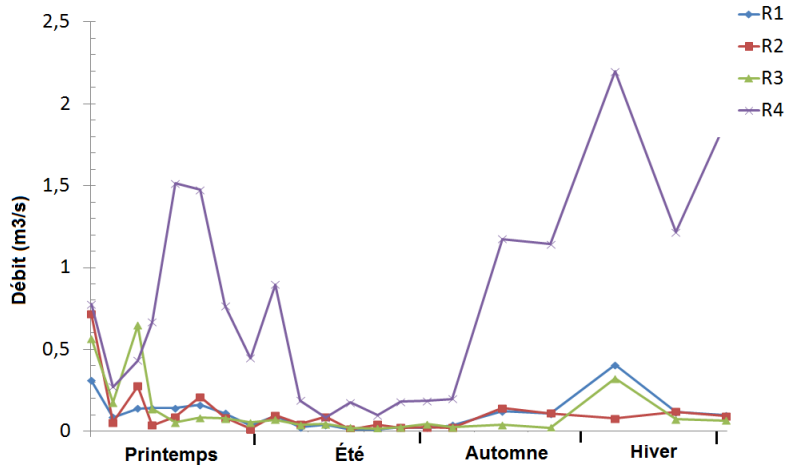


Figure 4 : Variations des débits des 4 ruisseaux d'alimentation du lac selon les saisons, en 2007-2008

On observe quatre phases dans cette figure :

- Au début du printemps, les débits des 4 ruisseaux suivent une tendance similaire. Cette période correspond à la fonte des glaces.
- De la mi-printemps au début de l'été, le débit du R4 augmente de manière très importante pour atteindre 1.5 m³/sec, soit un débit 3 fois plus élevé qu'au début du printemps. Le débit des autres ruisseaux ne dépasse pas 0.2 m³/sec pendant cette période. Les 2 pics de débit du printemps, plus marqués dans le R4, sont probablement dus aux importantes précipitations tombées le jour des échantillonnages.
- Du milieu de l'été au début de l'automne, les débits des 4 ruisseaux ne sont pas très élevés. On observe un pic début août, dû à de fortes précipitations.
- De l'automne 2007 à la fin de l'hiver 2008, les débits mesurés sont les plus élevés de l'année, ce qui correspond aux précipitations automnales puis à la fonte des neiges. Le débit du R4 est particulièrement élevé durant toute cette période, soit entre 5.5 et 10 fois plus important que celui des autres ruisseaux.

La période de la mi-été au début de l'automne est celle où les débits sont les moins élevés. R4 est le ruisseau qui a les débits les plus élevés, tout au long de l'année.

⁵ Voir le Cahier 1 pour le détail des bassins versants des ruisseaux

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

Les charges en nutriments selon les saisons

Comme les variations de débit affectent directement la charge de nutriments (quantité par jour⁷) apportée par chaque ruisseau, sont ici présentées les variations de la charge en nutriments des 4 ruisseaux d'alimentation selon les saisons de 2007-2008.

La Figure 5 présente les variations de charges du phosphore (PT, PD) et la Figure 6 les variations de la charge en azote (NT, ND). Signalons que, dans ces figures, les pics de charges correspondent aux jours où de fortes précipitations ont été enregistrées (données issues de la station météorologique de Granby, non présentées). Ainsi, à la Figure 5, on observe quatre principaux pics des charges : à la mi-mai, la mi-juillet, la mi-novembre et la mi-janvier. Ces pics sont particulièrement évidents dans le cas du R4 puisque ce ruisseau présente les apports et le débit les plus importants.

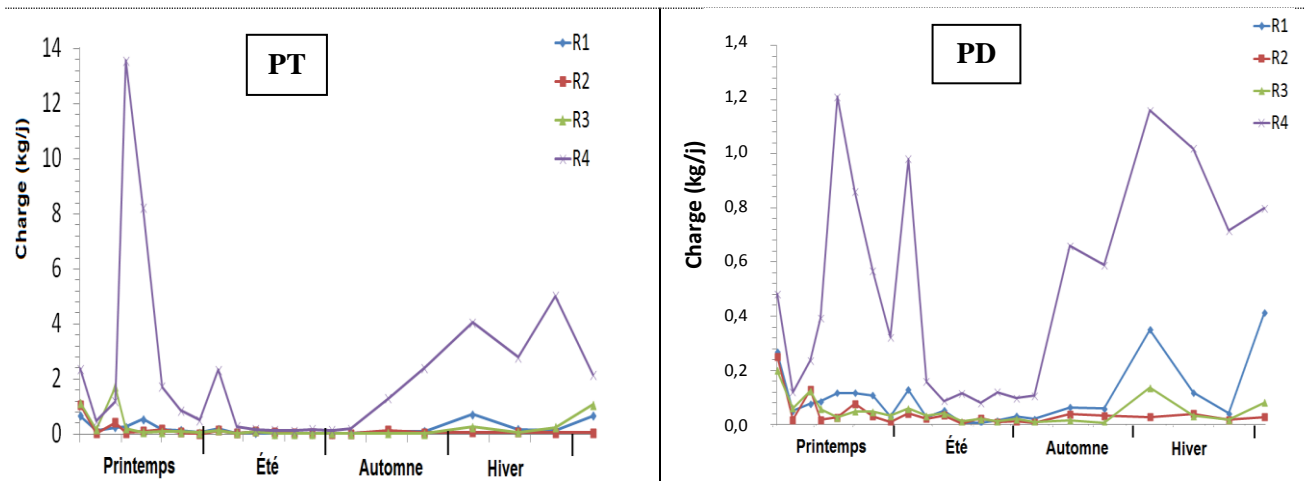


Figure 5 : Variations des charges en phosphore total (PT) et en phosphore dissout (PD) des ruisseaux d'alimentation du lac selon les saisons de 2007-2008

- **PT** montre au printemps les valeurs les plus élevées de l'année (max. 14 kg/l).
- Au milieu du printemps, le R4 montre un pic important de **PT**, puis les valeurs diminuent rapidement pour devenir très faibles à la fin du printemps.
- Pendant l'été, **PT** est très faible.
- De l'automne 2007 à l'hiver 2008, **PT** augmente dans tous les ruisseaux, en lien avec les précipitations (2007) et la fonte des neiges (2008).

- **PD** est 10 fois moins levé que **PT** (max. **PD** : 1,4 kg/l).
- **PD** en fin d'automne et en hiver a des charges similaires à celles du printemps.
- **PD** du R1 en hiver est relativement important par rapport à R3 et R2.

Les apports en PT au lac ont été élevés lors de la fonte des neiges de 2007
 Près de 90 % des apports de PT sont sous forme particulaire (PP, non présenté ici)
 R4 présente les charges de phosphore les plus élevées pour toutes les saisons

⁷ Voir le Cahier 3 pour le calcul de la charge

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

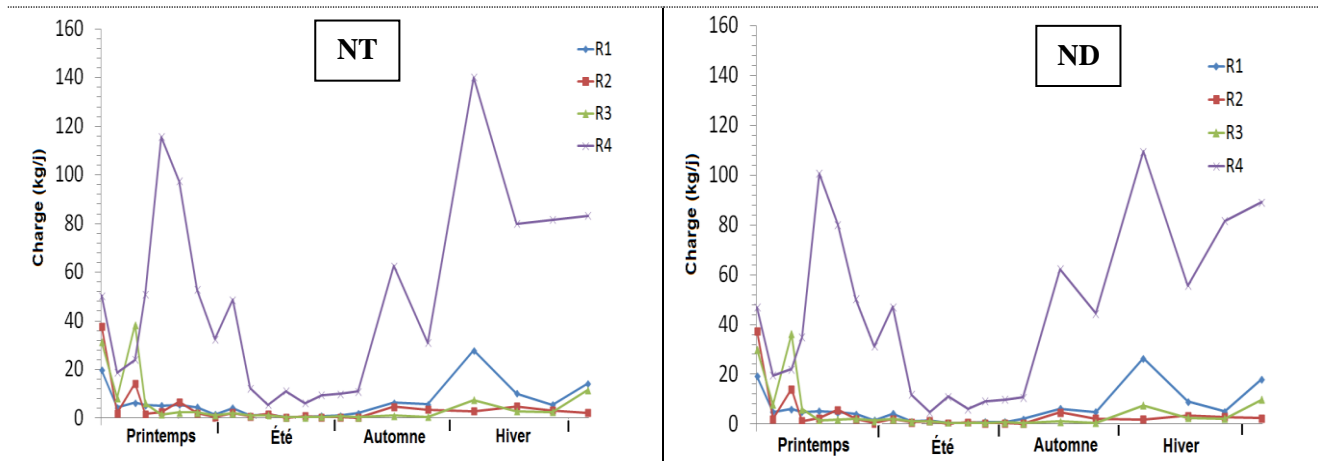


Figure 6 : Variations des charges en azote total (NT) et en azote dissout (ND) des ruisseaux d'alimentation du lac selon les saisons de 2007-2008

Les variations de NT et de ND suivent à peu près les mêmes tendances que celles du phosphore.

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • NT est élevé au printemps, ainsi qu'en automne et en hiver. • NT du R1 en hiver sont relativement importantes, par rapport au R3 et au R2 | <ul style="list-style-type: none"> • ND est élevé au printemps, ainsi qu'en automne et en hiver • ND du R1 en hiver sont relativement importantes, par rapport au R3 et au R2 |
|--|---|

Les charges de ND sont relativement similaires à celles de NT, ce qui signifie que les apports en azote au lac sont essentiellement sous la forme dissoute

R4 présente les charges d'azote les plus élevées pour toutes les saisons

Ainsi, en 2007-2008 :

- ➔ **Pour tous les nutriments, l'été a été la saison où les apports ont été les moindres.**
- ➔ **Les apports de PT les plus élevés de l'année ont été au printemps, lorsque les cyanobactéries sont en période de dormance.** Ce PT, principalement composé de PP non directement assimilable par les algues, a probablement sédimenté pour s'accumuler dans les sédiments. Cette accumulation de PP pourrait représenter une *bombe de phosphore à retardement* puisqu'il peut se recycler en PD et constituer une source interne très importante pour la croissance des cyanobactéries, par exemple lors d'étés très chauds avec une forte stratification du lac⁸.
- ➔ **Le PD, qui représentait 10 % des apports de PT, montraient des apports élevés au printemps et à l'automne**
- ➔ **L'azote (NT et ND) montrait un patron de variation similaire à celui du PD.** Le NT était principalement composé de ND, directement disponible pour les algues.

⁸ Voir le Cahier 2 pour les liens entre la stratification et le relargage de phosphore

Le lac a-t-il agit comme une *source* ou comme un *puits* de nutriments ?

Le calcul des bilans de nutriments⁹ 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 $\Sigma \text{apports nutriment} > \text{Export nutriment} \Rightarrow \text{nutriment retenu} \Rightarrow \text{charge nette positive} = \text{le lac est un puits du nutriment}$

Si $\Sigma \text{apports nutriment} < \text{Export nutriment} \Rightarrow \text{nutriment sorti du lac} \Rightarrow \text{charge nette négative} = \text{le lac est une source du nutriment}$

Les bilans de phosphore et d'azote ont été calculés au lac Bromont pour déterminer si, en 2007-2008, 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 de phosphore

La Figure 7 présente les bilans et les charges nettes de phosphore (PT, PD, PP) au lac Bromont, du printemps 2007 au printemps 2008. Le graphique de gauche présente les bilans : les parties de colonne de couleur bleu pâle représentent la somme des quantités du nutriment apportées au lac par les 4 ruisseaux; les parties de colonne sans couleur représentent les quantités du nutriment sorties du lac par la décharge (R5). Ainsi, il est entré 1092 kg de PT au lac et il en est sorti 901 kg, entre le printemps 2007 et le printemps 2008.

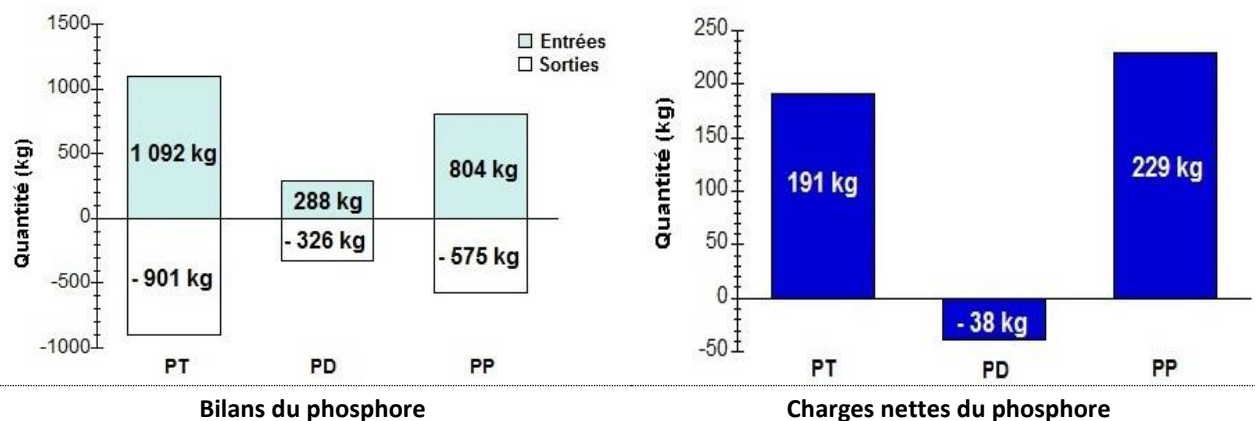


Figure 7 : Bilans et charges nettes annuels de phosphore (PT, PD, PP) au lac Bromont, 2007-2008

Dans la Figure 7, le graphique de droite présente les charges nettes des nutriments. Par exemple, dans le cas du PT : la quantité de PT entrée dans le lac (1092 kg) moins la quantité sortie (901 kg)

⁹ Voir les Cahiers 2 et 3 pour plus de détails sur le concept de bilan, son calcul, son utilisation et ses limites.

donne une charge nette positive de 191 kg et indique que le lac a agit comme un puits et a accumulé ce PT. Dans le cas du PD, le lac a agit comme une source, rejetant du lac par la décharge 38 kg de PD.

Sur une base annuelle, les bilans de phosphore sont :

PT : Σ apports : 1 092 kg > Export : 901 kg \Rightarrow 191 kg retenus (17 %) \Rightarrow le lac est un puits de PT

PD : Σ apports : 288 kg < Export: 326 kg \Rightarrow 38 kg sortis (+ 13 %) \Rightarrow le lac est une source de PD

PP : Σ apports: 804 kg > Export: 575 kg \Rightarrow 229 kg retenus (28 %) \Rightarrow le lac est un puits 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 2007 au printemps 2008. Ces graphiques s'interprètent comme ceux du phosphore (Figure 7). Ainsi, le graphique sur les charges nettes montre que le lac a agit comme une source de NT et de NP en 2007-2008.

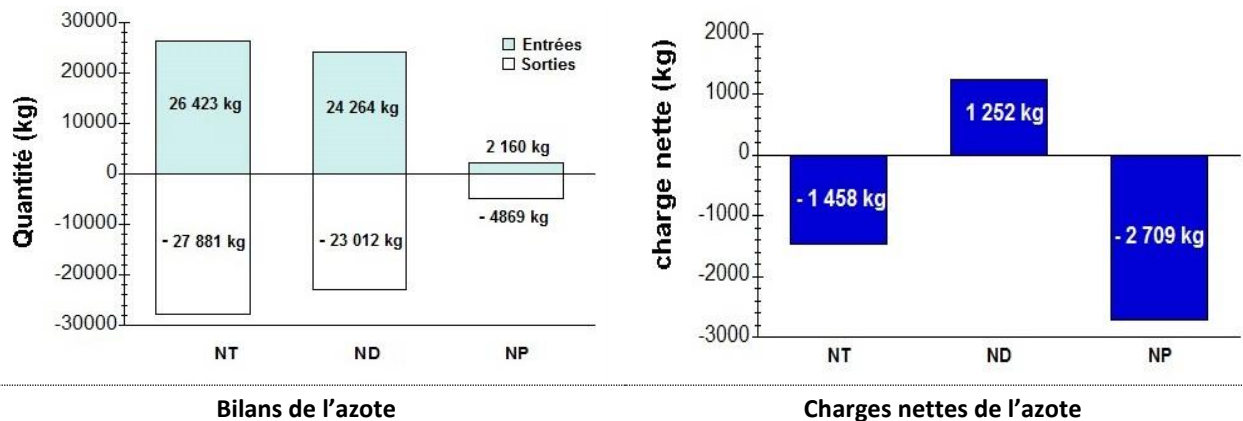


Figure 8 : Bilans et charges nettes annuels d'azote (NT, ND, NP) au lac Bromont, 2007-2008

Sur une base annuelle, les bilans d'azote sont :

NT : Σ apports: 26 423 kg < Export: 27 881 kg \Rightarrow 1 458 kg sortis (+ 6 %) \Rightarrow le lac est une source de NT

ND : Σ apports: 24 264 kg > Export: 23 012 kg \Rightarrow 1 252 kg retenus (5 %) \Rightarrow le lac est un puits de ND

NP : Σ apports: 2 160 kg < Export: 4 869 kg \Rightarrow 2 709 kg sortis (+125 %) \Rightarrow le lac est une source de NP

Ainsi, sur la base de ces résultats et à l'échelle de l'année 2007-2008:

➡ Le lac aurait agit comme une source de PD et un puits de PT et de PP

➡ Le lac aurait agit comme un puits de ND et comme une source de NT et surtout de NP

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 cyanobactéries, les températures plus chaudes favorisant leur croissance.

Quels sont les apports en nutriments, leur distribution dans le lac et celle des algues pendant cette période ? En 2007, cette période s'est étendue du 24 avril (départ de la glace) au 14 novembre (début de la glace).

Les apports de phosphore et d'azote pendant cette période

Le Tableau 2 présente, pour les différentes formes de phosphore (PT, PD, PP) et d'azote (NT, ND, NP), les apports annuels de 2007-2008 (en kg) des 4 ruisseaux au lac, ainsi que leurs apports (en kg) pendant la période libre de glace de 2007 et leurs proportions des apports annuels (en %).

Tableau 2 : Proportions des formes de P et de N apportées par les 4 ruisseaux d'alimentation pendant la période libre de glace de 2007

	Apport annuel (kg)	Apport pendant période libre de glace (kg)	Pourcentage
PD	288	103	36 %
PP	804	327	41 %
PT	1 092	431	39 %
ND	24 264	7 922	33 %
NP	2 160	814	38 %
NT	26 423	8 736	33 %

Dans ce tableau, on note que, pendant la période libre de glace de 2007 :

- Les apports des **3 formes de phosphore représentent plus du 1/3** des apports annuels de phosphore au lac.
- Les apports des **3 formes d'azote représentent environ 1/3** des apports annuels d'azote au lac.

Ainsi, pendant la période libre de glace de 2007 :

- ➡ Les % des apports de phosphore au lac sont d'environ 1/3 des apports annuels et les % des apports d'azote sont aussi d'environ 1/3 des apports annuels.
- ➡ **Donc, les plus importantes quantités de nutriments (environ 2/3) sont apportées au lac en dehors de la période libre de glace, c'est-à-dire en dehors de la période de croissance des cyanobactéries.**

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

La Figure 9 présente les bilans et les charges nettes (quantités retenues ou sorties du lac) de phosphore (PT, PD, PP) et d'azote (NT, ND, NP) pendant la période libre de glace de 2007.

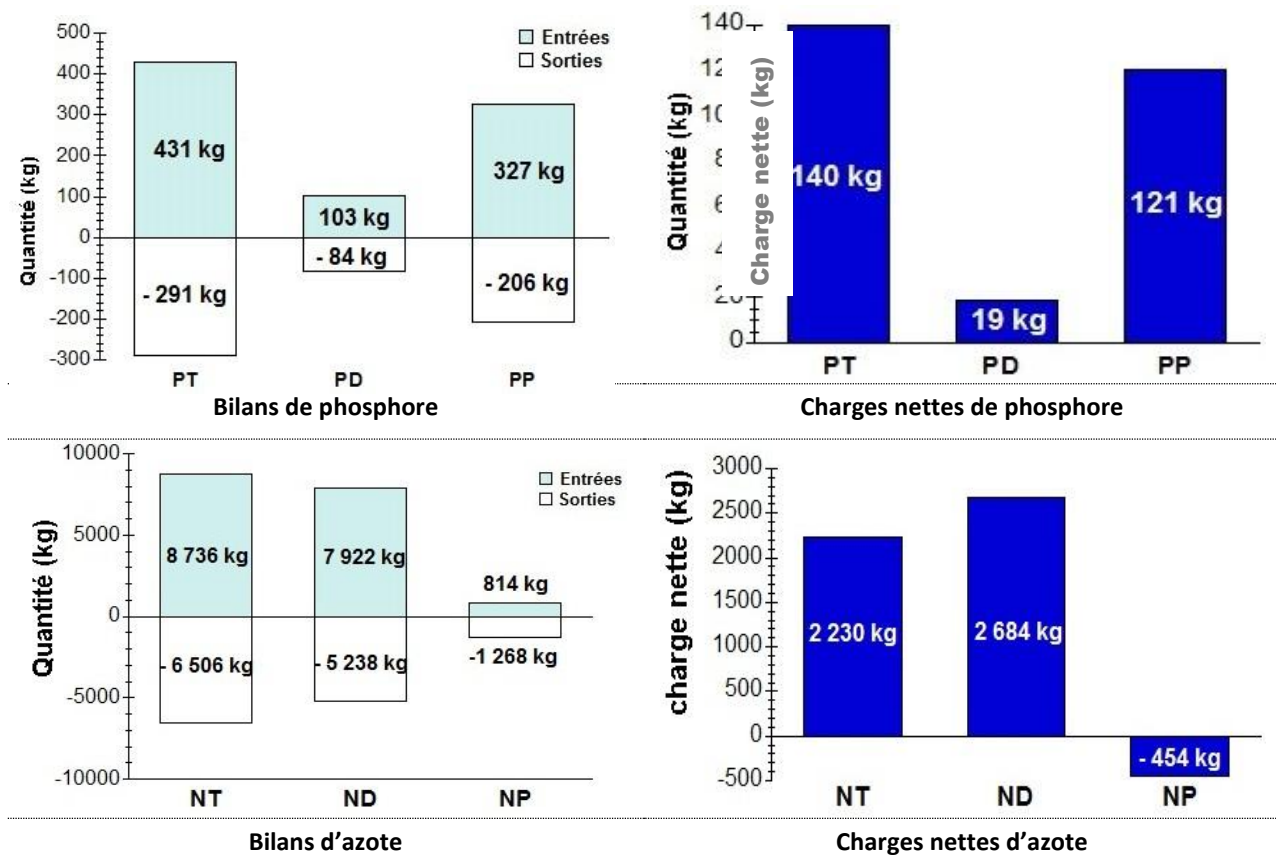


Figure 9 : Bilans et charges nettes de phosphore (PT, PD, PP) et d'azote (NT, ND, NP) pendant la période libre de glace de 2007

Pendant la période libre de glace de 2007, la charge nette pour les 3 formes de phosphore est positive : il y a donc eu rétention de phosphore par le lac, qui a agi comme un *puits* pour cette période. Dans le cas de l'azote pendant la même période, il y a aussi eu rétention d'une partie de NT et de ND dans le lac, qui a donc aussi agi comme un *puits* pour ces nutriments, alors qu'il a agi comme une *source* dans le cas du NP.

Pour la période libre de glace de 2007, les bilans du phosphore sont:

PT : Σ apports: 431 kg > Export: 291 kg \Rightarrow 140 kg retenus \Rightarrow le lac est un *puits* de PT

PD : Σ apports: 103 kg > Export: 84 kg \Rightarrow 19 kg retenus \Rightarrow le lac est un *puits* de PD

PP : Σ apports: 327 kg > Export: 206 kg \Rightarrow 121 kg retenus \Rightarrow le lac est un *puits* de PP

Pour la période libre de glace de 2008, les bilans d'azote sont:

NT : Σ apports: 8 739 kg > Export: 6 506 kg \Rightarrow 2 230 kg retenus \Rightarrow le lac est un *puits* de NT

ND : Σ apports: 7 922 kg > Export: 5 238 kg \Rightarrow 2 684 kg retenus \Rightarrow le lac est un *puits* de ND

NP : Σ apports: 814 kg < Export: 1 268 kg \Rightarrow -454 kg sortis \Rightarrow le lac est une *source* de NP

Ainsi, sur la base de ces résultats¹⁰, pour la période libre de glace de 2007 :

- ➡ Le lac aurait agi comme un *puits* de phosphore (PT, PD, PP)
- ➡ Le lac aurait agi comme un *puits* de NT et de ND et une *source* de NP
- ➡ Les apports des différentes formes de phosphore et d'azote représentent plus ou moins **1/3 des apports annuels de ces nutriments**. Donc, tel que dit précédemment, la majorité des apports de nutriments (environ 2/3) sont en dehors de la période de croissance des cyanobactéries.

¹⁰ Voir le Cahier 2 pour les limites à l'utilisation des bilans de nutriments.

La distribution des nutriments dans l'eau du lac 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'eau¹¹ 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. Sont par la suite présentées les variations des concentrations en nutriments dans l'épilimnion et l'hypolimnion au centre du lac.

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 la distribution de l'oxygène (B) mesurés dans la colonne d'eau, au centre du lac, pendant la période libre de glace.

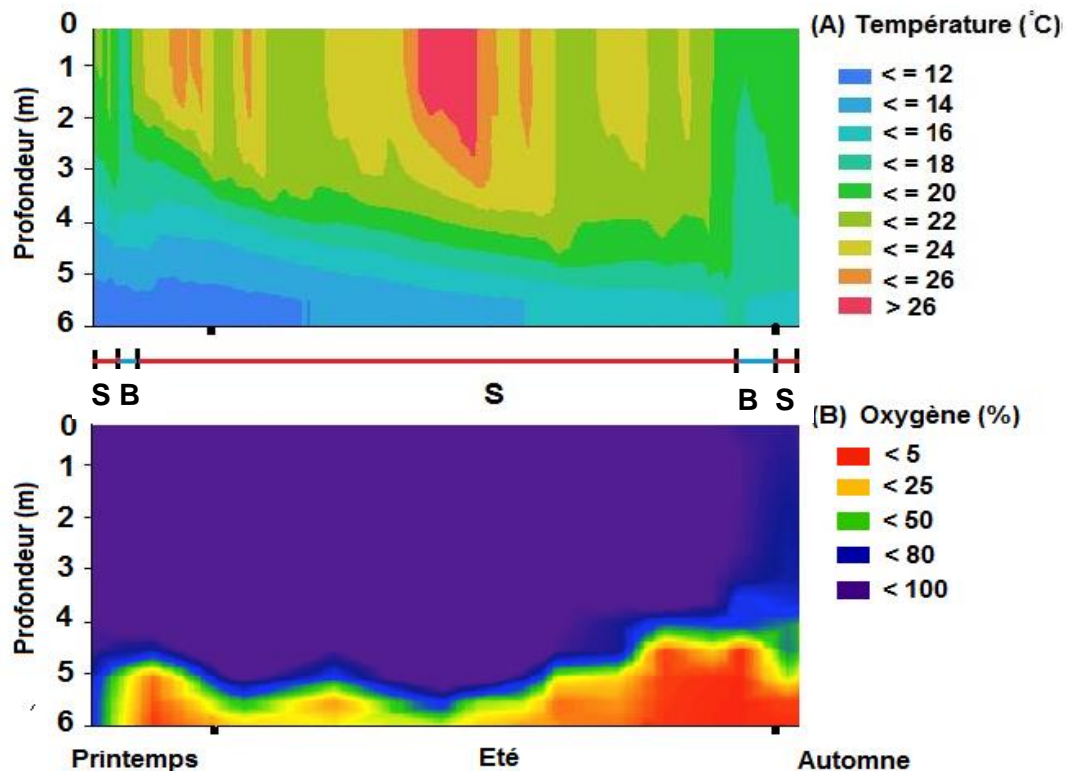


Figure 10 : Distribution de (A : en haut) de la température et (B : en bas) du pourcentage d'oxygène dans la colonne d'eau du lac, pendant la période libre de glace

¹¹ Voir le Cahier 2 sur les concepts et connaissances, pour des précisions sur la stratification et sur l'anoxie.

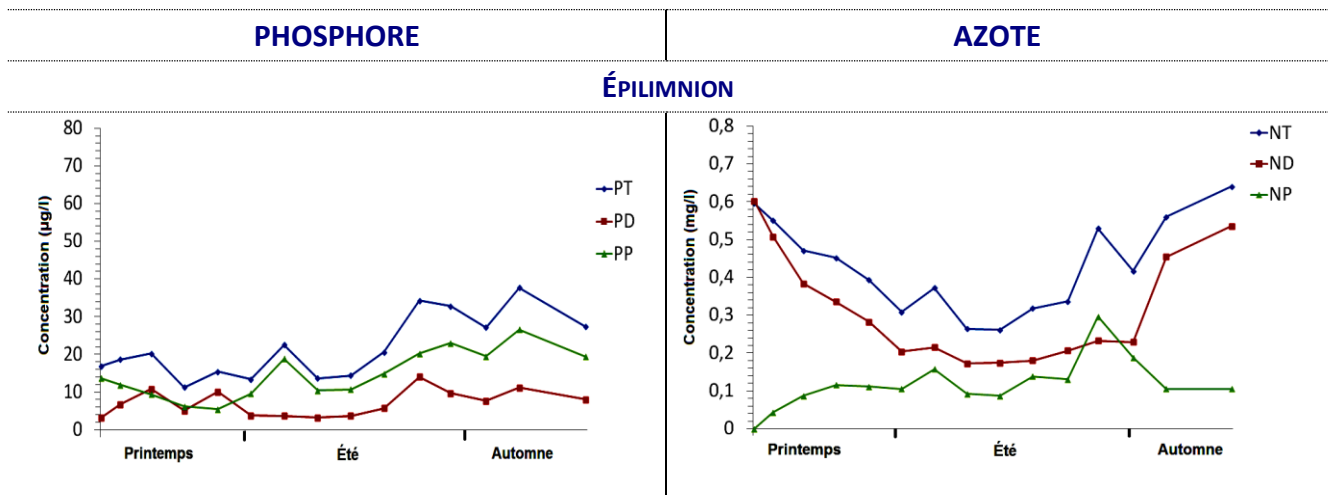
Dans le premier graphique de la Figure 10 (A : Température de l'eau), plus la couleur tire vers le rouge, plus les températures sont élevées; plus la couleur tire sur le bleu foncé, plus les températures sont basses¹². La lettre **B** sous le graphique représente la période de brassage de la colonne d'eau et la lettre **S**, la période de stratification. Dans ce graphique, on constate que la stratification était déjà présente au début de l'échantillonnage, bien que peu stable jusqu'au début juin. Le brassage du lac a débuté à la fin de l'été (le 16 septembre).

Dans le graphique du bas de Figure 10 (B : % oxygène), plus la couleur tire vers le rouge, moins les % d'oxygène sont élevés; plus la couleur tire sur le bleu foncé, plus les % d'oxygène sont élevés. Ainsi, on constate que les couches d'eau en surface étaient parfaitement oxygénées (100%). Les couches plus profondes montrent des % en oxygène nettement plus faibles et on observe 2 périodes d'anoxie (< 5 % ; en rouge), la première du début à la mi-juin, et la deuxième de la mi-août à la mi-octobre. Cette 2^e période d'anoxie a débuté lors des températures les plus chaudes de l'année, quand la stratification était la plus stable, et a continué jusqu'au brassage automnal.

Lors de la période libre de glace de 2007, la stratification a débuté avant le 24 avril et a persisté pendant l'été. Le mélange des eaux a eu lieu au début de l'automne. Les épisodes d'anoxie au fond du lac correspondent aux périodes de début et de fin de la stratification.

LA DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN NUTRIMENTS DANS LE LAC PENDANT CETTE PÉRIODE

La Figure 11 présente les variations des concentrations en phosphore et en azote dans l'épilimnion (prélevés à 2,5 mètres de la surface) et dans l'hypolimnion (prélevés à 1 mètre du fond), telles que mesurées au centre du lac pendant la période libre de glace, soit du 24 avril au 14 novembre 2007.



¹² Voir Cahier 3. Méthodologies générales, la section traitement des données pour la lecture plus détaillée de ce graphique.

HYPOLIMNION

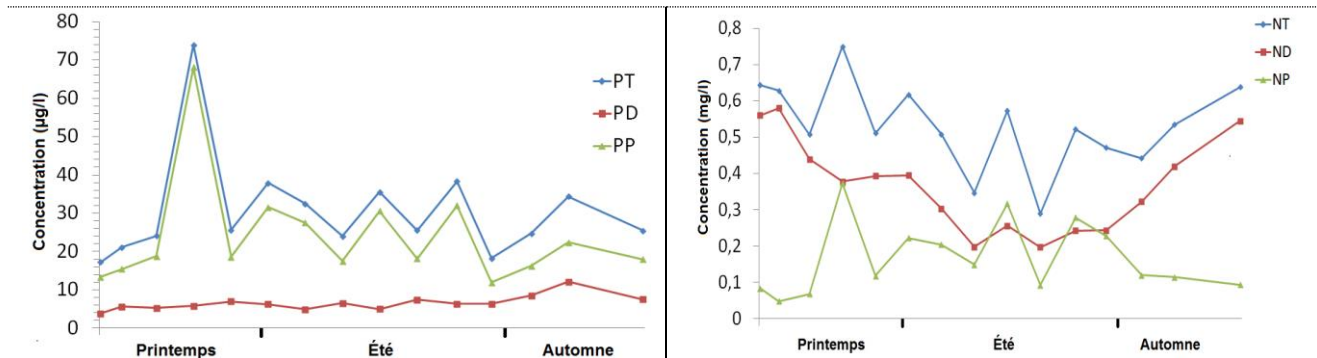


Figure 11 : Variation des concentrations en phosphore (PT, PD, PP) et en azote (NT, ND, NP) dans l'épilimnion et l'hypolimnion de la colonne pendant la période libre de glace de 2007

ÉPILIMNION

- **PT** est peu élevé du printemps jusqu'au milieu de l'été (max. 22 µg/l) puis augmente jusqu'à presque doubler à la mi-automne (38,00 µg/l).
- **PD** est peu élevé, sauf à la fin août (17 µg/l); cette dernière valeur peut être due à un apport interne de PD accumulé au fond du lac et qui remonte lors du brassage automnal.
- **PP** représente la majorité du PT et ses variations suivent de près celles du PT. En été, PP augmente quand PD diminue, ce qui suggère la présence d'algues en surface, qui se nourrissent du PD et, en croissant, augmentent la quantité de PP. Vers la mi-octobre, les algues, et donc le PP qui les compose, commencent à décliner.

HYPOLIMNION

- **PT** (max. 74,0 µg/l) (et PP) est presque 2 fois plus élevées qu'en surface.
- **PD** (max. 12,0 µg/l) est assez faible, comme en surface, ce qui suggère une rapide consommation du PD par les algues du fond. Pendant l'anoxie (fin été/début automne), PD augmente légèrement, suggérant un relargage du PD par les sédiments supérieur à sa consommation par les algues.
- **PP** (max. 69,0 µg/l) représente la majorité du PT et ses variations suivent de près celles du PT.

ÉPILIMNION

- **NT** (environ 0,5 mg/l) est majoritairement sous forme de ND (environ 400 mg/l), assimilable par les algues
- Au printemps, **NT** et **ND** sont relativement élevés, puis diminuent fortement en été, puis augmentent en automne (max. 0,6 mg/l)
- **NP** (max. 0.16 mg/l) évolue de façon inverse à ND : très faible au printemps, il augmente progressivement jusqu'à la fin de l'été, ce qui suggère que NP augmente avec les algues (NP est contenu dans les algues) et ND diminue car les algues le consomment.

HYPOLIMNION

- Les valeurs d'azote au fond du lac sont similaires à celles en surface, mais les patrons de variations diffèrent légèrement. Ainsi :
- **NT** (environ 0,6 mg/l) diminue moins qu'en surface, à la fin du printemps et au début de l'été, probablement à cause des valeurs élevées de NP (et donc d'algues) au fond du lac par rapport à la surface.
 - **ND** (0,24 à 0,56 mg/l) varie de façon relativement similaire au fond du lac et en surface. La diminution de ND du printemps jusqu'à la fin de l'été pourrait être due à sa consommation par les algues, comme le démontre l'évolution inverse du NP.
 - **NP**, très bas au printemps (environ 0,05 mg/l) augmente en été (jusqu'à 0,317 mg/l).

<p>Dans les 2 couches (épilimnion et hypolimnion) :</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. ♦ Lors du brassage automnal, PP diminue car les algues commencent à décroître. ♦ PD évolue inversement à PP, car il est consommé par les algues. Ce PD est ainsi «transformé» en PP algale. <p>Dans l'hypolimnion :</p> <ul style="list-style-type: none"> ♦ Les fortes concentrations en PP au pic du printemps pourraient être dues aux apports ponctuels élevés de matière en suspension par le R4, qui sédimentent par la suite. 	<p>Dans les 2 couches (épilimnion et hypolimnion):</p> <ul style="list-style-type: none"> ♦ NT suit généralement l'évolution de ND ♦ NT est majoritairement sous forme de ND, assimilable par les algues ♦ NP évolue inversement à ND, car, comme pour PP, NP est sous forme algale
--	---

Ainsi, pendant la période libre de glace :

- ➔ **Les concentrations en **PT** et en **PP** au printemps, en surface, sont assez faibles (Figure 11) et ne reflètent pas l'importance des apports de phosphore venant des 4 ruisseaux à cette période (Figures 5 et 6). Ces apports, principalement constitués de **PP**, se reflètent plutôt dans le pic printanier de la couche profonde du lac (Figure 11). Ce pic, qui ne peut pas être associé à la présence d'algues au fond puisque à cette période leur biomasse est très petite (voir Figure 14, plus loin), reflète plutôt très probablement la sédimentation rapide du **PP** qui arrive au lac.**
- ➔ **En surface comme au fond du lac, le **PD**, assimilable par les algues, a diminué de la fin du printemps jusqu'à la fin de l'été.** Cette baisse de **PD** est due à la consommation du **PD** par les algues au cours de l'été.
- ➔ **Les augmentations de **PD** en fin d'été en profondeur correspondent aux périodes d'anoxie prolongée, laquelle favorise généralement le relargage du PO_4 par les sédiments (charge interne).**
- ➔ **Le **ND** suit une tendance similaire au **PD** : consommé par les algues, il diminue en été alors que le **NP** (algal) augmente.**

L'eau interstitielle des sédiments au centre du lac contient-elle des nutriments ?

Les résultats présentés précédemment suggèrent un relargage de phosphore inorganique dissout (PO_4) par les sédiments du lac. Pour évaluer le potentiel de relargage de phosphore par les sédiments, la quantité de PO_4 contenu dans l'eau interstitielle des sédiments a été évaluée à l'été 2007, à l'aide de dialyseurs implantés dans les sédiments pendant 6 semaines. La Figure 12 présente les concentrations en PO_4 par unité de surface (axe horizontal : $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$) en fonction de la profondeur des sédiments (axe vertical), au centre du lac Bromont.

Dans cette figure, la couche bleue représente la couche d'eau au-dessus des sédiments (10 cm) et la couche grise représente la couche de sédiment (50 cm). Les bâtonnets horizontaux placés à chaque point de mesure représentent les écarts-types des concentrations.

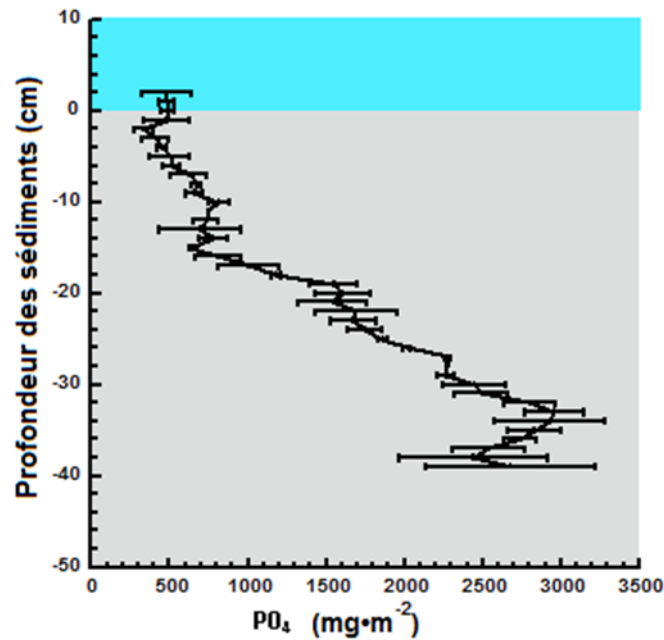


Figure 12 : Concentrations en phosphore dissout (PO_4) par unité de surface dans l'eau interstitielle des sédiments, en fonction de la profondeur des sédiments au centre du lac

À la Figure 12, on constate que la quantité de PO_4 dans l'eau interstitielle des sédiments a augmenté de 300 à 3000 mg/m^2 , de la surface des sédiments jusqu'à 40 cm de profondeur.

Ainsi :

- ➔ Les concentrations de PO_4 augmentent avec la profondeur, suggérant des apports plus importants dans le passé
- ➔ Les sédiments du lac contiennent beaucoup de PO_4 . En situation d'anoxie, ces sédiments peuvent être une source interne importante de phosphore pour les algues du lac

La distribution des algues dans le lac pendant cette période - Quels sont les groupes d'algues les plus abondants?

LES GOUPE D'ALGUES

L'identification et le comptage des algues effectués en 2007 ont permis de calculer leur abondance au cours du temps et en profondeur. Cette abondance relative (%) est obtenue en divisant le nombre d'algues d'un groupe par le nombre total d'algues présentes dans le lac.

La Figure 13 présente la répartition des grands groupes d'algues à 5 m de profondeur, de mai à novembre 2007¹³ au lac Bromont. On y note au printemps les diatomées et les algues brunes (Cryptophycées) sont dominantes. Toutefois, au début du mois de juillet les cyanobactéries deviennent dominantes, représentant 80 à 90 % des algues du lac pendant l'été. La population des cyanobactéries commencent à décliner à la fin de l'été et au début de l'automne.

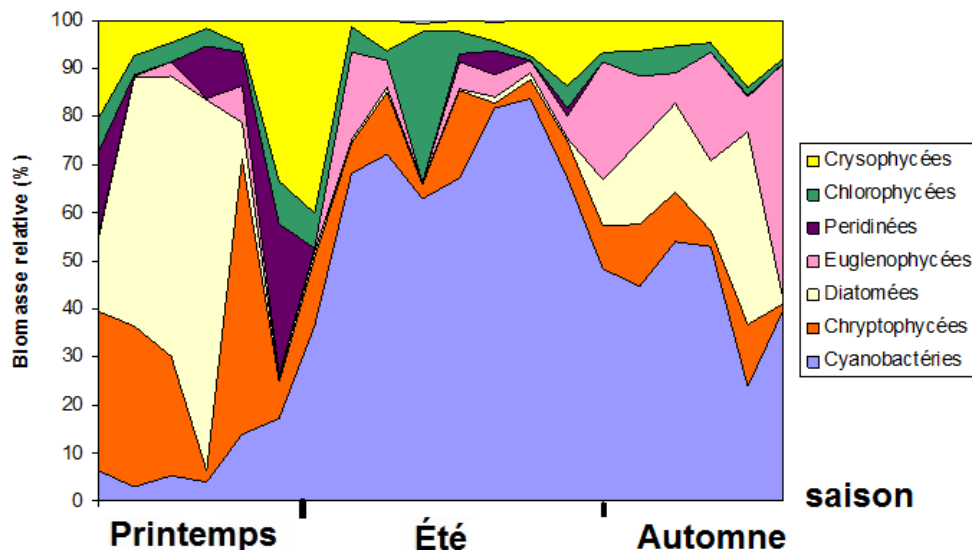


Figure 13 : Répartition des grands groupes d'algues à 5 mètres de profondeur dans le lac, entre mai et novembre 2007

Ainsi, pendant la période libre de glace de 2007 :

- ➔ Les diatomées et les algues brunes sont relativement abondantes au printemps et à la fin de l'automne.
- ➔ Les cyanobactéries dominent toutefois pendant l'été et une partie de l'automne

¹³ Voir le Cahier 2 sur les concepts et connaissances, pour la description des groupes d'algues

LES CYANOBACTÉRIES

La Figure 14 présente la distribution spatiale (axe vertical) et temporelle (axe horizontal) de la biomasse des cyanobactéries (en kg par couches de 0,5 m) dans le lac Bromont en 2007, pendant la période libre de glace. Sur cette figure, plus la couleur est foncée, plus la quantité de cyanobactéries est importante¹⁴.

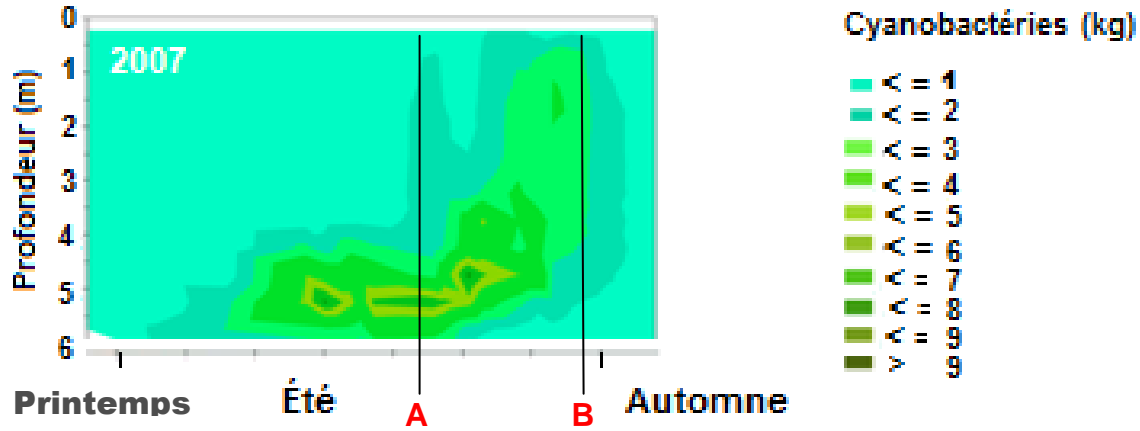


Figure 14 : Répartition de la biomasse des cyanobactéries, de la surface jusqu'au fond du lac, pendant la période libre de glace

Dans cette figure, à la fin du printemps la masse de cyanobactéries était très faible dans toute la colonne d'eau (< 1 kg). Toutefois, à la fin du mois de juin les cyanobactéries ont commencé à croître dans les couches profondes (7 m). Leur biomasse a augmenté rapidement et s'est maintenue élevée au cours de l'été dans les couches profondes et intermédiaires (entre 6 et 9 kg et jusqu'à plus de 9 kg).

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 (A sur la figure). Ceci produit **des efflorescences de cyanobactéries en surface**, qui apparaissent parfois sous forme d'amas verts fluorescents. La Figure 15 présente la photographie de ce type d'amas, prise lors des efflorescences de 2007.



Figure 15 : Photographie d'un amas vert fluorescent de cyanobactéries observé à l'été 2007

¹⁴ Voir Cahier 3 : méthodologie générale, section traitement des données pour la lecture de ce graphe

En 2007, les efflorescences de cyanobactéries les plus importantes ont été observées début août, associées au mélange de l'eau suite à des pluies intenses. Vers la fin de l'été, quand le brassage a commencé, la biomasse des cyanobactéries s'est distribuée uniformément dans toute la colonne d'eau (**B** sur la Figure 14). En période de brassage complet, on retrouve les biomasses de cyanobactéries du printemps (<1 kg).

À noter que la biomasse élevée de cyanobactéries enregistrée pendant l'été 2007 correspond à une concentration moins élevée du PD et ND et, inversement, à des concentrations plus élevées de PP et NP. **Comme les algues se nourrissent de PD et de ND, ces nutriments se transforment en PP et en NP dans les algues et diminuent dans l'eau. Comme la quantité d'algues augmente en se nourrissant, leur contenu en PP et en NP augmentent, ce qui explique l'augmentation des concentrations de PP et de NP (et donc de PT, NT) dans l'eau.**

Ainsi, pendant la période libre de glace de 2007 :

- ➔ **Les cyanobactéries ont commencé à croître à la fin du printemps au fond du lac**, probablement à partir des formes de résistance qui hivernent dans les sédiments. Les résultats suggèrent que ces algues se sont surtout alimentées du phosphore déjà présent à l'interface eau-sédiments et qui aurait été relargué dans l'eau, et non de celui venant des apports en surface, et ce pour le printemps et l'été 2007.
- ➔ **Au milieu de l'été, les cyanobactéries sont entraînées dans les eaux superficielles et peuvent occasionner des efflorescences**, suite aux mélanges partiels des eaux de surface et des eaux intermédiaires.
- ➔ **Les cyanobactéries ont commencé à décliner au début de l'automne** quand le brassage automnal a eu lieu.

PREMIÈRES CONCLUSIONS ET SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE 2007-2008

Premières conclusions

Cette première étude réalisée au lac Bromont, du printemps 2007 au printemps 2008, a montré que les apports de nutriments au lac par les 4 ruisseaux qui l'alimentent étaient plus importants au printemps et en hiver, due à des précipitations abondantes et à la fonte des neiges. La majorité de ces nutriments sont apportés par le ruisseau Wright (R4) suivi des ruisseaux Petit Galop (R1) et des Cervidés (R3). La Coulée du Rocher (R2) est le ruisseau qui a apporté le moins de nutriments.

Le calcul des bilans de nutriments a permis de déterminer leurs quantités, leur composition et leur devenir après leur entrée dans le lac. Ainsi, en 2007-2008, 1 092 kg de phosphore et 26 423 kg d'azote ont été apportés au lac par les ruisseaux, et donc par leurs bassins versants. Le phosphore était principalement sous forme particulaire (PP) tandis que l'azote était principalement sous forme dissoute (NT). Environ 2/3 du phosphore et de l'azote apportés au lac par les ruisseaux l'ont été pendant la période où le lac est couvert par la glace et les cyanobactéries sont en dormance.

Suivant les résultats de distribution de température, à partir de la fonte de la glace, la température s'est élevée en surface, entraînant la stratification de la colonne d'eau qui a persisté jusqu'à l'automne. Pendant cette période, l'eau au fond du lac a été isolée de celle en surface par le métalimnion, empêchant les échanges de gaz et de nutriments entre le fond et la surface. En conséquence, l'oxygène au fond du lac a fortement diminué, entraînant une déficience en oxygène (anoxie). Cette anoxie a favorisé le relargage du phosphore des sédiments vers la colonne d'eau, permettant aux algues de se développer en profondeur, où elles ont persisté jusqu'au brassage automnal.

La quantification des algues a démontré que les cyanobactéries ont dominé dans le lac une bonne partie de la période libre de glace, représentant 80 à 90% de la population d'algues du lac de la mi-juillet à la fin septembre dans les couches profondes.

Les questions issues de l'étude de 2007-2008

Les résultats de l'étude préliminaire de 2007- 2008 ont conduit à de nouvelles questions qui feront l'objet de recherches subséquentes.

- 1- Pourquoi y a-t-il eu peu d'efflorescences en 2007 et pourquoi leur étendue n'a pas été très importante,** contrairement à l'année 2006, où le lac avait été fermé pendant un mois?
- 2- Est-ce que la charge externe est toujours aussi faible en été ?** Pendant l'été 2007, il n'y a pas eu beaucoup des précipitations et, en conséquence, les débits des ruisseaux ont été très bas.
- 3 - L'apport important de PP par le ruisseau Wright au mois de mai est-il dû à des travaux sur son bassin versant, qui auraient remis en suspension beaucoup de sédiments?**
- 4 - La rapide sédimentation du PP transporté par les ruisseaux soulève l'inquiétude de riverains sur les étangs artificiels construits le long de quelques ruisseaux alimentant le lac. Les étangs sont-ils des bombes à retardement pour l'enrichissement du lac en phosphore ?** Ces étangs peuvent en effet agir comme des puits de PP et, quand les habitants les nettoient en les déversant dans les ruisseaux, ils peuvent devenir alors des sources de PP.

Synthèse de l'étude 2007-2008

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

	Quantités totales (proportion de PT) (kg) (% de PT)			Quantités totales (proportion de NT) (kg) (% de NT)	
PT	1 092	-	NT	26 423	-
PD	288	(26 %)	ND	24 264	(92 %)
PP	804	(74 %)	NP	2 160	(8 %)

C'est le ruisseau Wright (R4) qui apporte le plus de nutriments au lac

Comment varient les apports de nutriments selon les saisons ? Pendant la période libre de glace?

	Printemps	Fin printemps-mi été	Mi été-Automne	Fin automne-Hiver
PT	Très élevé : R1 à R4	Faible : R1 à R3 . R4 élevé	Faible : R1 à R4	Élevé : R1 à R4
PD	Élevé : R1 à R4	Faible : R1 à R3. R4 élevé	Faible : R1 à R4	Élevé : R1 à R4
NT	Élevé : R1 à R4	Faible : R1 à R3. R4 élevé	Faible : R1 à R4	Très élevé : R1 et R4
ND	Élevé : R1 à R4	Faible : R1 à R3. R4 élevé	Faible : R1 à R4	Très élevé : R1 et R4

39 % du PT et 33 % du NT sont apportés pendant la période libre de glace

Le lac agit-il comme une *source* ou comme un *puits* de nutriments ? Les bilans annuels 2007-2008

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

Le lac agit-il comme une *source* ou comme un *puits* de nutriments pendant la période libre de glace de 2007 ?

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>

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 a débuté avant le 24 avril et a persisté pendant l'été. Le mélange des eaux a eu lieu au début de l'automne. Les épisodes d'anoxie au fond du lac correspondent aux périodes de début et de fin de la stratification.

PD et ND diminuent de la fin du printemps à la fin de l'été, à la surface et au fond du lac, à cause de leur consommation par les algues. Mais PD augmente au fond du lac à la fin de l'été, ce qui suggère un relargage de PD par les sédiments en période d'anoxie.

PP et NP varient de façon inverse de PD et ND car ils correspondent à la croissance des algues.

L'eau interstitielle des sédiments, au centre du lac, contient-elle des nutriments ?

Les quantités de PO₄ sont relativement élevées dans l'eau interstitielle des sédiments, ce qui représente un risque potentiel de relargage dans la colonne d'eau de ce phosphore assimilable par les algues.

Quelle est la distribution des algues pendant la période libre de glace ? Quels sont les groupes d'algues les plus abondants?

Les cyanobactéries étaient les plus abondantes en été et au début de l'automne (90%), et les diatomées, avec les Cryptophytes au printemps et avec les Euglenophytes en automne