# LE PROGRAMME DE RECHERCHE SUR LES CYANOBACTÉRIES AU LAC BROMONT

## CAHIER 8

## ÉTUDE PENDANT LA PÉRIODE LIBRE DE GLACE DE 2011

**Dolors Planas**
**Claire Vanier**
**Estelle Lavirotte**

UQÀM | Service aux collectivités
Université du Québec à Montréal

acbvlb

**Comité d'encadrement depuis 2007**

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

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

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

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

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

**Rédaction**
Dolores Planas
Claire Vanier
Estelle Lavirotte, stagiaire

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

**Photographie de la page couverture** : Myriam Jourdain

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

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

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

ISBN 978-2-923773-15-5

Dépôt légal-Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2014

# TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES ..... II
LISTE DES TABLEAUX ..... II
LISTE DES ABRÉVIATIONS ..... II
INTRODUCTION ..... 1
OBJECTIFS DE L'ÉTUDE 2011 ..... 2
MÉTHODOLOGIE SPÉCIFIQUE À L'ÉTUDE 2011 ..... 3
Sites échantillonnés et variables mesurées ..... 3
Échantillonnage dans le lac et mesure du parcours des eaux du R4 dans le lac ..... 3
Traitement des informations ..... 4
PRÉSENTATION ET DISCUSSION DES RÉSULTATS DE L'ÉTUDE 2011 ..... 5
Quelle est la distribution des nutriments et des cyanobactéries dans la colonne d'eau, pendant la période libre de glace de 2011 ? ..... 6
Quel est le trajet de l'eau du ruisseau Wright, une fois dans le lac ? Quel est l'écoulement de l'eau du lac ? ..... 11
PREMIÈRES CONCLUSIONS ET SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE 2011 ..... 12
Premières conclusions ..... 12
Les questions soulevées en 2010 ..... 12
Synthèse de l'étude pendant la période libre de glace de 2011 ..... 13

## LISTE DES FIGURES

**Figure 1 : Localisation des sites d'échantillonnage au lac Bromont en 2011 .....3**

**Figure 2 : Profileur de courant à effet Doppler.....4**

**Figure 3 : Distribution (A : en haut) de la température et (B : en bas) de l'oxygène dans la colonne d'eau du lac pendant la période libre de glace de 2011 .....6**

**Figure 4 : Variation des concentrations en phosphore (PT, PD, PP) dans les trois couches de la colonne d'eau pendant la période libre de glace de 2011 .....9**

**Figure 5 : Distribution de la biomasse des cyanobactéries de la surface au fond du lac, pendant la période libre de glace de 2011.....9**

**Figure 6 : Carte de l'écoulement des eaux du lac Bromont à l'été 2011 .....11**

## LISTE DES TABLEAUX

**Tableau 1 : Fréquences d'échantillonnage dans le lac pendant la période libre de glace de 2011 .....4**

## 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

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

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

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

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

## OBJECTIFS DE L'ÉTUDE 2011

L'étude réalisée en 2011 est la dernière étude du programme de recherche au lac Bromont et visait principalement à vérifier l'hypothèse émise en 2010, suivant laquelle l'eau du ruisseau Wright (R4), principale source externe de nutriments au lac, s'écoulerait le long du littoral jusqu'à la décharge (R5) et ne se mélangerait donc pas, ou très peu, à l'eau du lac.

Ainsi, les objectifs en 2011 étaient :

1. Assurer le suivi de la distribution du phosphore et des cyanobactéries dans la colonne d'eau, bien que le protocole de l'entente établi entre l'ACBVLB et l'UQAM pour l'étude de 2011 ne le comporte pas.

2. Évaluer le trajet de l'eau ruisseau Wright, une fois dans le lac et connaître l'écoulement de l'eau dans le lac.

En effet, l'embouchure du R4 est localisée très près de la décharge. Il est donc possible qu'il y ait peu d'échange entre les eaux de R4 et celles du lac, et donc que le R4 affecte peu l'eau du lac. Puisque ce ruisseau transporte plus de 90% de la charge de la charge externe des nutriments qui arrivent au lac, cette hypothèse doit être testée avant de faire des recommandations en vue de la réduction des sources du phosphore pour le lac. Comme le débit du ruisseau et la température de l'eau (ruisseaux vs lac) peuvent influencer le mélange, le suivi doit se faire 3 fois au cours de la saison libre de glace. Suite à la fonte de la neige (fort débit et eau ruisseau plus chaude que celle du lac), et en été (eau ruisseaux plus froide que l'eau du lac) à deux périodes avec débit différent, fortes pluies et après quelques jours de sècheresse.

# MÉTHODOLOGIE SPÉCIFIQUE À L'ÉTUDE 2011

## Sites échantillonnés et variables mesurées

### SITES ÉCHANTILLONNÉS

- Suivi du ***parcours du ruisseau Wright*** (R4) dans le lac
- Le ***lac*** dans sa partie la plus profonde, au centre, dans les 3 couches de la colonne d'eau (***épilimnion, métalimnion, hypolimnion***)

### VARIABLES MESURÉES [1]

- Les courants à l'embouchure du R4 et dans la colonne d'eau du lac
- Le phosphore (total : PT; dissous : PD)
- L'oxygène et la température dans la colonne d'eau
- Les principaux groupes d'algues et la quantité (biomasse) de cyanobactéries dans le lac et l'identification des efflorescences

## Échantillonnage dans le lac et mesure du parcours des eaux du R4 dans le lac

La Figure 1 présente les sites d'échantillonnage dans le lac en 2011 et le Tableau 1 précise les périodes et les fréquences de ces échantillonnages.

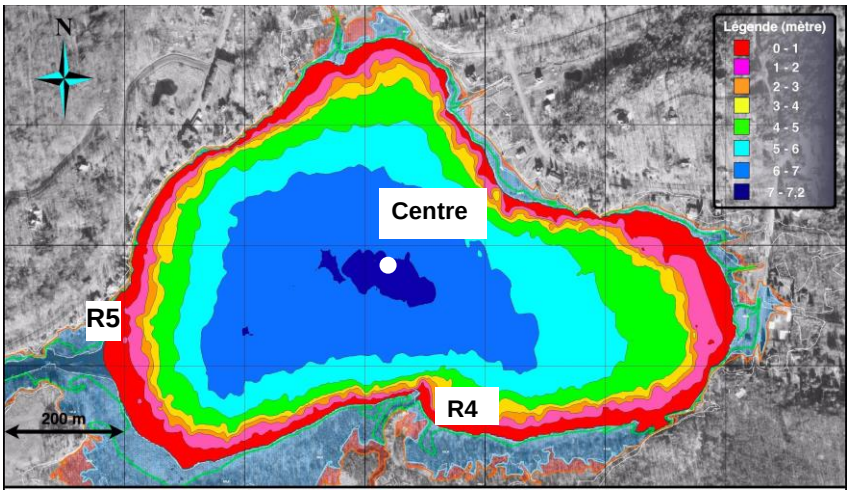



**Figure 1 : Localisation des sites d'échantillonnage au lac Bromont en 2011**

Dans cette figure, 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). Le **carré blanc R4** localise où ont débuté les études de l'écoulement de l'eau au lac Bromont et le carré blanc R5, l'entrée de la décharge.

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

### L'ÉCOULEMENT DE L'EAU DANS LE LAC BROMONT

L'écoulement de l'eau dans le lac a été étudié à l'aide d'un profileur acoustique à effet Doppler (*acoustic Doppler profiler-ADP*[2]; Figure 2). Cet appareil permet de mesurer en 3 dimensions les courants dans le lac. Le lac est sillonné en bateau, sur toute sa surface, avec le profileur ADP, qui prend des mesures de 0,5 m de la surface jusqu'au fond, à tous les 0,5m. À chaque point de mesure, le profileur calcule la direction et la vitesse du mouvement de l'eau et produit un vecteur. Le vecteur donne une direction dans les axes est-ouest et nord-sud, ainsi que sur la direction vers la surface ou vers le fond du lac.

**Figure 2 : Profileur de courant à effet Doppler**
(SONTEK model XR-3000 Argonaut-XR)

**Tableau 1 : Fréquences d'échantillonnage dans le lac pendant la période libre de glace de 2011**

| **LAC** | **Juin et juillet** | |
|---|---|---|
| **CENTRE DU LAC** | | |
| **Température** | **20 mai au 6 octobre :** | En continu |
| **Phosphore, oxygène, Cyanobactéries** | **6 juin au 6 octobre :** | aux semaines |
| **PARCOURS DU R4 DANS LE LAC** | De l'embouchure de R4, puis sur toute la surface du lac | |

## Traitement des informations

### LE CENTRE DU LAC

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

### L'EMBOUCHURE DU RUISSEAU WRIGHT ET L'ÉCOULEMENT DE L'EAU DU LAC

Les mesures effectuées avec le profileur ADP permettent de connaître le devenir de l'eau du R4, une fois dans le lac, et d'obtenir des cartes du **sens de l'écoulement de l'eau** dans le lac Bromont, lors des deux périodes de mesures.

[2] SonTek, ADP-Acoustic Doppler Profiler, <http://www.sontek.com/adp-adcp.php>

# PRÉSENTATION ET DISCUSSION DES RÉSULTATS DE L'ÉTUDE 2011

Pour assurer le suivi de la dynamique des nutriments et des algues dans le lac pendant la période libre de glace, ainsi que pour rencontrer répondre à la question spécifique à l'étude 2011, le Cahier 8 est structuré suivant les questions suivantes :

- Comment se distribuent le phosphore et les cyanobactéries dans la colonne d'eau du lac, pendant la période libre de glace de 2011 ?

- Quel est le trajet de l'eau qui arrive au lac par le ruisseau Wright? Quel est l'écoulement de l'eau du lac ?

  Ces dernières questions sont abordées après le suivi de la distribution du phosphore et des cyanobactéries dans le lac.

## Quelle est la distribution des nutriments et des cyanobactéries dans la colonne d'eau, pendant la période libre de glace de 2011 ?

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'eau[3] 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 de 2011, soit de 20 mai à 6 octobre. Les variations des concentrations du phosphore dans l'épilimnion, le métalimnion et l'hypolimnion, au centre du lac, sont par la suite présentées.

### LES DISTRIBUTIONS DE LA TEMPÉRATURE ET DE L'OXYGÈNE DANS LE LAC

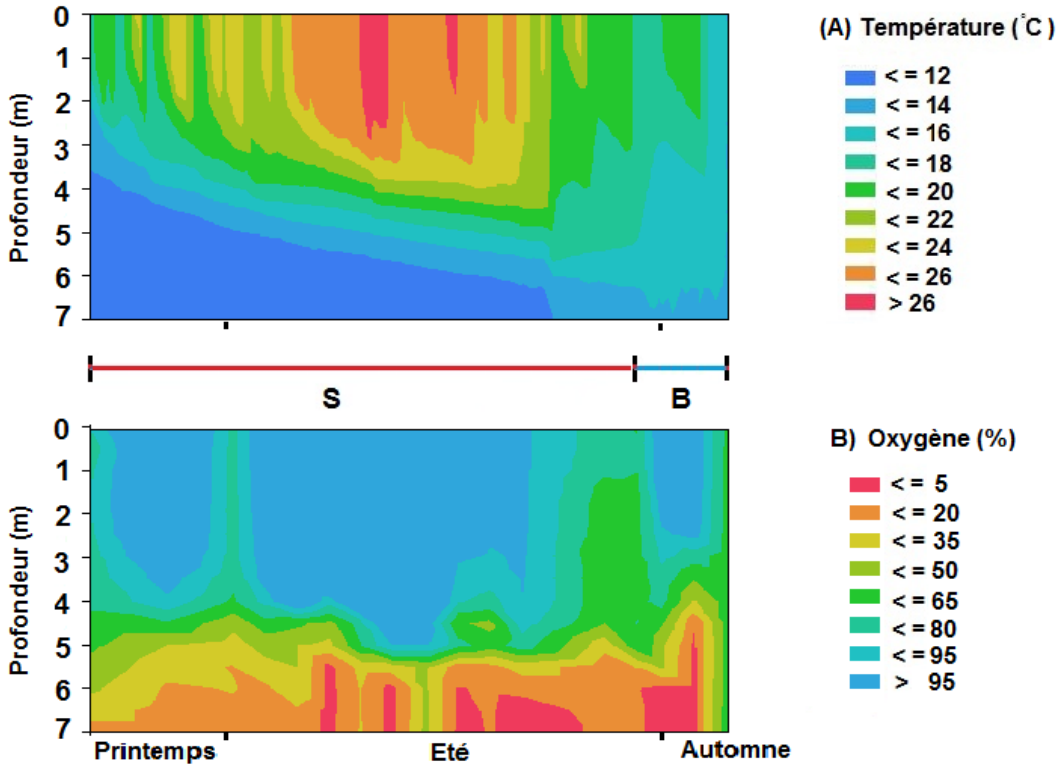



**Figure 3 : Distribution (A : en haut) de la température et (B : en bas) de l'oxygène dans la colonne d'eau du lac pendant la période libre de glace de 2011**

Dans le premier graphique de la Figure 3 (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

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

basse[4]. La lettre **S** sous le graphique représente la période de stratification et la lettre **B** le brassage automnal de la colonne d'eau. Selon ce graphique, la stratification[5] a déjà commencé lors du premier enregistrement de la température par les chaînes de senseurs (thermistors[6]), le 20 mai. À la différence des autres années, le métalimnion est plus mince (environ 2 m d'épaisseur) et l'hypolimnion est plus épais (environ 3 m d'épaisseur). La stratification est très instable du début de l'échantillonnage jusqu'au 10 juillet, puis elle se stabilise à la mi-août. À la fin août, un brassage important affecte les 4 premiers mètres de la colonne d'eau, qui se stratifie à nouveau par la suite. À la fin de l'échantillonnage (1ère semaine d'octobre), le brassage est presque complété.

Dans le graphique du bas de la Figure 3 (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, en général le pourcentage d'oxygène est inférieur à 50 % à partir de 4,5 m de profondeur. Un faible % (environ 60%) dans la concentration en oxygène affecte toute la colonne d'eau, à la fin du printemps/début de l'été, et après le brassage de la fin août. On observe cinq périodes d'anoxie (< 5 %, en rouge), au fond de l'eau. Les deux premières, relativement courtes, ont pris place tôt dans l'été, à 5,5 m de profondeur. Les deux suivantes, dans la deuxième partie de l'été, ont été plus longues et à plus de 6 m de profondeur. La dernière période d'anoxie a débuté à la fin de l'été, après le brassage partielle de la fin août, et a persisté jusqu'au brassage automnal; débutant sous plus de 6 m de profondeur, elle s'est élevée jusqu'à 5 m de profondeur en début d'automne.

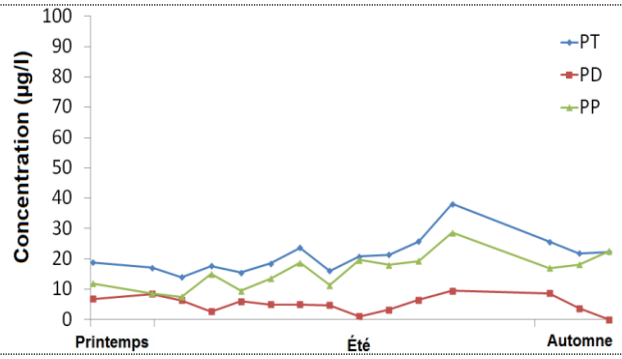
- **La stratification a été très particulière en 2011 : elle a été plus instable dans l'épilimnion et, à la différence des autres années, plus mince dans le métalimnion et plus épaisse et plus stable dans l'hypolimnion.**
- **La distribution du % d'oxygène dissous dans la colonne a été similaire à celle de 2010. L'instabilité de la colonne d'eau et la faible épaisseur du métalimnion ont probablement donné lieu à des échanges plus directs entre l'hypolimnion et l'épilimnion. Ceci expliquerait l'alternance entre les épisodes d'anoxie et les périodes avec des % d'oxygène plus élevé (entre 20 et 35 %).**

[4] Voir le Cahier 3 pour la lecture plus détaillée de ce graphique.
[5] Voir Cahier 1 pour plus de détails sur la stratification; voir aussi la section sur les algues et les lacs.
[6] Voir le cahier pour l'usage des chaînes de senseurs

## LA DISTRIBUTION DU PHOSPHORE DANS LA COLONNE D'EAU PENDANT CETTE PÉRIODE

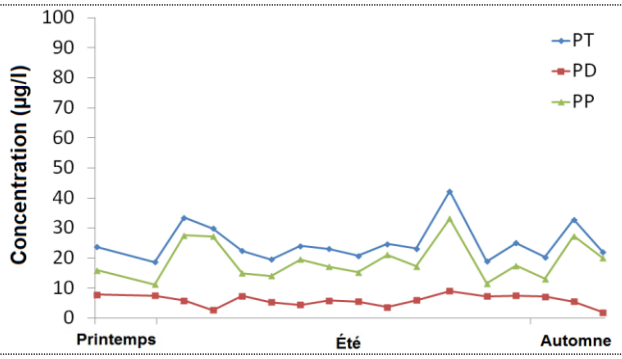
La Figure 4 présente les variations des concentrations en phosphore dans l'épilimnion (1,5 mètres de la surface), le métalimnion (3,5 mètres de la surface) et l'hypolimnion (1 mètre du fond), telles que mesurées au centre du lac pendant la période libre de glace de 2011.

### ÉPILIMNION



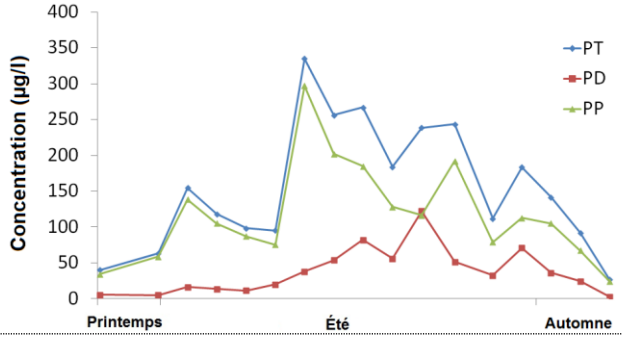

- **PT** (max. 38 µg/l) varie jusqu'au milieu de l'été, puis augmente de 1,5 fois pour commence à diminuer vers la fin de l'été et jusqu'en automne.
- **PD** (max. 10 µg/l) est relativement élevé au printemps (8 µg/l) si on compare aux autres années[7]. Il diminue jusqu'au milieu de l'été puis augmente jusqu'au début de l'automne.
- **PP** (max. 29 µg/l) suit PT de près. L'augmentation de **PP** (et de PT) à partir du milieu de l'été est due à la remontée des algues vers la surface (voir efflorescences, Figure 5) lors périodes d'instabilité de l'épilimnion et du métalimnion.

### MÉTALIMNION




- **PT** (max. 42 µg/l) diminue vers la fin du printemps, augmente puis revient aux valeurs printanières en été. Il présente un pic à la fin de l'été (max. 42 µg/l) lors d'un brassage partiel. En automne, **PT** revient aux valeurs du printemps-début été.
- **PD** se maintient autour de 9 µg/l, avec de fortes diminutions ponctuelles (2 µg/l) au cours de l'été et au début de l'automne.
- **PP** (max. 38 µg/l) suit PT. L'augmentation de PP (et de PT) à partir du milieu de l'été est due au phosphore dans les algues du métalimnion et de l'hypolimnion.

### HYPOLIMNION




- **PT** (max. 335 µg/l) est jusqu'à 9 fois plus élevé qu'en surface et près de 8 fois plus élevé que dans le métalimnion. Plus faible au printemps, **PT** augmente en début d'été et double au milieu de l'été. Il diminue à la fin de l'été et chute à 27 µg/l lors du brassage au début de l'automne.
- **PD** (max. 122,4 µg/l), très faible à la fin printemps, augmente jusqu'à la fin de l'été, dû au relargage de phosphore par les sédiments pendant la plus longue période d'anoxie.
- **PP** (max. 299 µg/l), qui suit PT de près, est jusqu'à 10,4 fois plus élevé qu'en surface et 8 fois plus élevé que dans le métalimnion. **PP est** plus important du milieu à la fin de l'été, lors du maximum de biomasse algale dans l'hypolimnion.

[7] Voir les Cahiers 4, 5, 6 et 7

**DANS LES 3 COUCHES**

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

**Figure 4 : Variation des concentrations en phosphore (PT, PD, PP) dans les trois couches de la colonne d'eau pendant la période libre de glace de 2011**

**Ainsi, pendant la période libre de glace de 2011, la majorité du PT était sous forme de PP, lequel a très fortement augmenté dans l'hypolimnion, suite à la premier période d'anoxie.**
**PD, assimilable par les algues, est resté faible en début de stratification mais a augmenté au fond du lac pendant les 4 premières périodes d'anoxie, dû au relargage du phosphore par les sédiments.**

## LA DISTRIBUTION DES CYANOBACTÉRIES DANS LA COLONNE D'EAU

En 2011 comme les années précédentes, le groupe d'algues majoritaire au lac Bromont était les cyanobactéries (environ 80%). La Figure 5 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 2011. Sur cette figure, plus la couleur est foncée, plus la quantité de cyanobactéries est importante[8] Les efflorescences de cyanobactéries sont présentées par les cercles pleins verts foncés, à la surface.

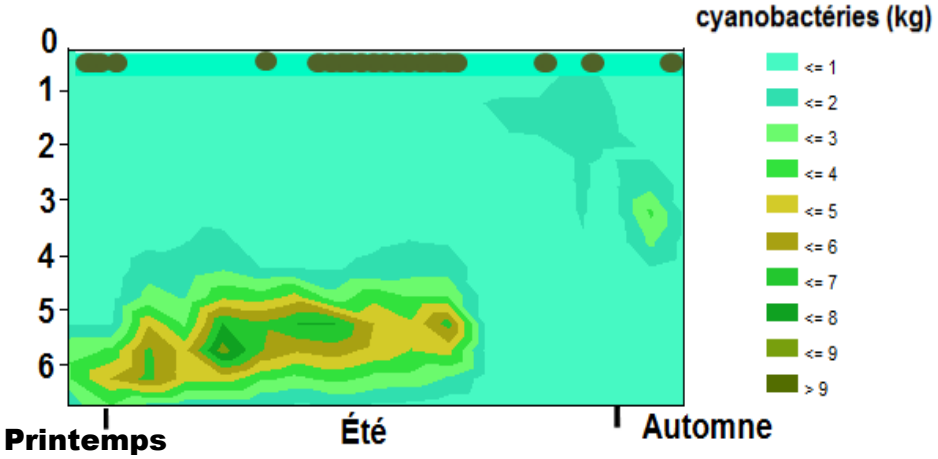



**Figure 5 : Distribution de la biomasse des cyanobactéries de la surface au fond du lac, pendant la période libre de glace de 2011**

En 2011 comme les années précédentes, les cyanobactéries se sont développées dans les couches profondes, entre 4,5 et 7 m de profondeur, du printemps à la fin août. Dès le début de l'été, la biomasse de cyanobactéries a été supérieure à celles mesurées à la même période les autres années, et elle s'est maintenue élevée (entre 5 et 7 kg) jusqu'au le mélange partiel de l'épilimnion avec le méta-hypolimnion, à la fin du mois d'août. Ce mélange a enrichi les couches supérieures du lac en PD, ce qui a favorisé en fin d'été la croissance dans l'épilimnion des cyanobactéries, jusque-là plutôt présentes au fond du lac. Au début de l'automne, les cyanobactéries étaient assez

[8] Voir le Cahier 3 pour la lecture de ce graphique

présentes (3 à 4 kg) dans le métalimnion, ce qui correspond à l'augmentation du PP et à la diminution du PD dans le métalimnion au début de l'automne (voir la Figure 4).

Des **efflorescences** de *Plankthotrix agardhii* sont observées de la fin mai au début de l'été, mais plus au mois d'août, alors elles ont été plus intenses et ont perduré plus longtemps. Suite à l'augmentation des cyanobactéries dans les premiers 4 m de la colonne d'eau en septembre, et au maintien des concentrations assez élevées de PD dans l'épilimnion et le métalimnion, d'autres efflorescences, dues à l'espèce automnale *Aphanizomenon flos-aque*, sont apparues et ont persisté au moins jusqu'au 28 novembre. Le nombre de ces efflorescences automnales en dehors de notre période d'échantillonnage régulière, a probablement été sous-estimé.

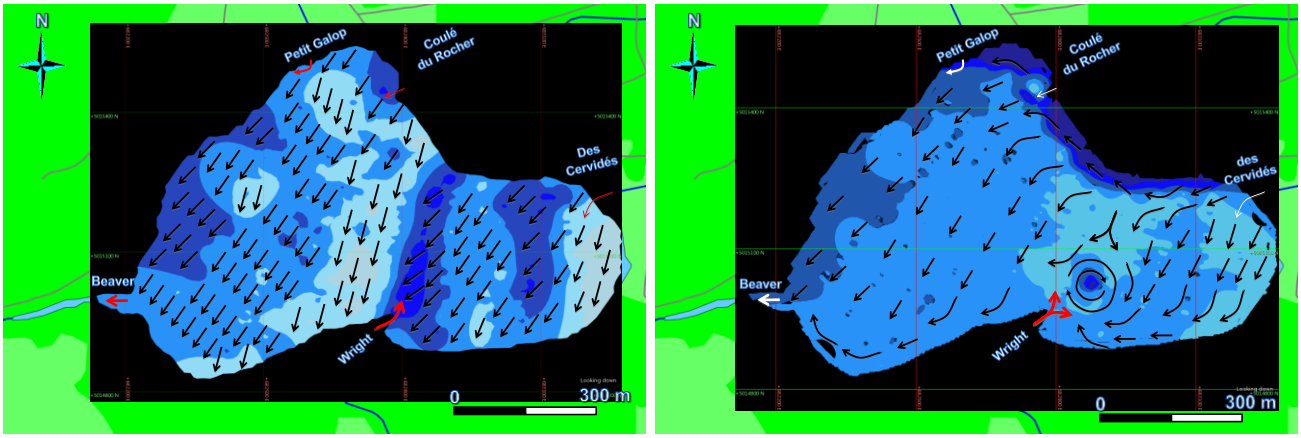
**Ainsi, pendant la période libre de glace de 2011 :**

- **Les cyanobactéries se sont développées entre 4,5 m et 7 m de profondeur du printemps à la fin août. La quantité les cyanobactéries étaient encore présentes en automne, dans le métalimnion, dû à l'abondance de PD dans la colonne d'eau.**
- **Pendant l'été, les efflorescences *de Plankthotrix agardhii* ont été très fréquentes et ont persisté davantage que les autres années. Des efflorescences d'aspect poudreux ont également été observées en automne, liées à l'espèce *Aphanizomenon flos aquae*.**

## Quel est le trajet de l'eau du ruisseau Wright, une fois dans le lac ? Quel est l'écoulement de l'eau du lac ?

La possibilité que l'eau qui arrive au lac par le ruisseau Wright (R4) s'écoule le long du littoral jusqu'au la décharge (R5) et ne se mélange pas, ou très peu, à l'eau du lac, a été étudiée en juin et en juillet 2011, à l'aide du profileur acoustique à effet Doppler (ADP).

La Figure 6 présente les résultats de ces études. On y retrouve la carte du lac Bromont, avec les 4 ruisseaux qui l'alimentent (R1, R2, R3, R4) et sa décharge (R5), ainsi que le sens d'écoulement de l'eau des ruisseaux (flèches rouges). Pour un point donné, une flèche noire représente la moyenne des directions dans la colonne d'eau. Finalement, les différentes teintes de bleu représentent les endroits où la direction de l'eau est identique.




Carte de l'écoulement de l'eau en juin 2011 | Carte de l'écoulement de l'eau en juillet 2011

**Figure 6 : Carte de l'écoulement des eaux du lac Bromont à l'été 2011**
Cartes : Serge Paquet Géotop-UQAM 2011

Au printemps, après avoir pénétré dans le lac, l'eau plus froide du R4 s'enfonce (observation faite lors du premier essai de mesure de l'écoulement avec le sel; en effet, plus l'eau est froide, plus elle est dense et plus elle est lourde). L'eau de R4 se mélange rapidement avec l'eau provenant du côté Est du lac, tel que l'illustre la carte présentée à gauche, dans la Figure 6. Ainsi, l'eau de R4 n'influence pas la circulation générale du lac à cette période.

En été, l'eau du R4, plus chaude (et moins dense) que l'eau du lac, reste en surface. Elle se divise, une branche va vers le nord (bleu pâle) et l'autre vers l'Est, où elle se mélange avec les eaux du R3 (tourbillon). Ce tourbillon, en se mélangeant avec l'eau provenant de R3, semble être entraîné vers la décharge par le courant provenant de l'Est.

**Lors des mesures de juin et de juillet, l'eau du R4 ne semblaient pas influencer l'ensemble du lac, mais plutôt les côtés est et sud-est. Toutefois,** confirmer la contribution des apports en nutriments du R4 au lac, nécessiterait de répéter l'expérience. En effet, en 2011, la fonte de la glace a été très différente de celles des années antérieures, en particulier au côté Sud du lac (communication personnel, Yves Gosselin). Or, nous n'avons pas de mesure de l'écoulement du R4 suite au dégel.

# PREMIÈRES CONCLUSIONS ET SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE 2011

## Premières conclusions

L'étude de 2011 portait sur la dynamique du phosphore et des cyanobactéries dans le lac pendant la période libre de glace, ainsi que sur le suivi des caractéristiques thermiques du lac et de la distribution du phosphore et des cyanobactéries dans la colonne d'eau en période libre de glace. Pour ce qui est du phosphore, le charge interne à l'hypolimnion a été la plus élevée mesurée pendant les 5 années de l'étude, autant dans le cas du PT (max 335 µg/l) que du PP (229 µg/l) et du PD (max 112 µg/l). Ces maximums ont eu lieu au mois de juillet, en même temps que le maximum de biomasse des cyanobactéries entre 5 et 6 mètres de profondeur. Par contre le maximum de PD a suivi la troisième période d'anoxie, pour diminuer de moitié avec le brassage partiel de la fin août, en le redistribuant sur toute la colonne d'eau.

En 2011, la stratification du lac était déjà bien établie le 21 mai, mais elle a été très instable jusqu'à la mi-juillet. De plus, la distribution de la température en profondeur a été très différente des autres années : le métalimnion était plus mince, et l'hypolimnion était plus épais et plus stable. Cinq périodes d'anoxie (<5% de d'oxygène dissous) ont été mesurées, deux courtes en début d'été, deux plus longues en fin d'été et une 5$^{e}$ qui a persisté jusqu'au début de l'automne.

Les cyanobactéries se sont développées entre 4,5 et 7 m de profondeur, du printemps à la fin du mois d'août. Elles se sont distribuées sur toute la colonne d'eau à la fin août, suite à un mélange partiel entre l'épilimnion et le métalimnion, où elles se sont par la suite développées lors d'une légère stratification à la fin de l'été. Le relargage de phosphore tout au long de l'été et au début de l'automne a permis de maintenir cette population, et l'instabilité de la colonne d'eau vers le milieu de l'été a produit des efflorescences constantes qui ont persisté jusqu'au brassage de la fin août. Au total, dix-neuf (19) épisodes d'efflorescences ont été rapportés, surtout au milieu de l'été (fin juillet à la mi-août), bien que d'autres efflorescences aient été observées au printemps, à la fin d'été et à l'automne. Comme les autres années, les efflorescences estivales étaient principalement constitués de *Plankthotrix agardhi*, et celles du printemps et l'automne, respectivement d'*Anabaena flos-aquae* et d'*Aphanizomenon flos-aquae.*

## Les questions soulevées en 2010

Tel que présenté en introduction au présent document, l'étude de 2011 visait principalement à éclaircir les questions concernant le parcours de l'eau venant du R4, entre son embouchure et l'entrée de la décharge (R5), et son niveau de mélange avec l'eau du lac.

Suivant les cartes de l'écoulement de l'eau dans le lac, l'eau qui arrive du R4 ne semble pas se mélanger à celles du lac au printemps. En été elle pénètre vers l'est pour revenir près du littoral sud, vers la décharge.

Le prochain et dernier cahier, **le Cahier 9**, présente la synthèse des résultats des recherches effectuées au cours des cinq années d'étude au lac Bromont et émet des recommandations quant aux mesures et aux aménagements nécessaires à l'amélioration des problèmes de prolifération de cyanobactéries au lac Bromont.

## Synthèse de l'étude pendant la période libre de glace de 2011

| **Comment se distribue le phosphore dans la colonne d'eau au centre du lac, pendant la période libre de glace de 2011 ? Quels sont les liens avec la stratification du lac ?** |
|---|
| La stratification du lac a été très particulière et la thermocline moins stable que les années précédentes. Le métalimnion était peu épais (moins de 3 mètres) alors que l'hypolimnion était plus épais (3 mètres en moyenne). L'instabilité de la stratification a entraîné 5 périodes d'anoxie au fond du lac, qui ont alterné avec des périodes où les % d'oxygène étaient supérieurs à 20 %.<br>Les concentrations en **PT** et en **PP** ont très fortement augmenté à partir du début de l'été dans l'hypolimnion et se sont maintenues jusqu'au début de l'automne. **PD** a augmenté vers la fin d'été et a persisté à des concentrations assez élevées jusqu'à l'automne dans l'épilimnion et le métalimnion, ce qui a favorisé la croissance des algues dans ces couches d'eau. Dans l'hypolimnion, **PD** a augmenté à partir du milieu de l'été et s'est maintenu élevé jusqu'au début de l'automne, dû au relargage de phosphore en période d'anoxie. |
| **Quelle est la distribution des cyanobactéries pendant la période libre de glace?** |
| Les cyanobactéries se sont développées dans les couches profondes (entre 4,5 et 7 m), du printemps à la fin août. Fin août, après un brassage partielle de l'eau jusqu'à 4,5 m, elles se sont distribuées sur toute la colonne d'eau pour croître à nouveau dans les couches superficielles et intermédiaires, après une légère stratification du lac. Cette année, des efflorescences d'*Aphanizomenon flos-aquae* ont également été observées en automne et semblent avoir persisté jusqu'au 28 novembre. |
| **Les eaux du ruisseau Wright (R4) se mélangent-elles à celles du lac ou coulent-elles le long du littoral vers la décharge ?** |
| L'eau qui arrive au lac par le R4 se mélange à l'eau du lac mais ne semble influencer que le sud-est du lac, pour revenir près du littoral sud en direction de la décharge. |