

# **LE PROGRAMME DE RECHERCHE SUR LES CYANOBACTÉRIES AU LAC BROMONT**

## **SYNTHÈSE, CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS**

**Dolors Planas  
Claire Vanier**

## **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](http://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](mailto:info@lacbromont.ca)

[www.lacbromont.ca](http://www.lacbromont.ca)

---

ISBN 978-2-923773-15-5

Dépôt légal-Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2014

## REMERCIEMENTS

Plusieurs personnes ont contribué à la réalisation du Programme de recherche au lac Bromont nous vous en fournissons ici une liste, certes incomplète, ainsi que la liste des organisations qui ont soutenu, financièrement ou d'autres façons, le projet. Bien que nous ne puissions énumérer toutes les personnes qui ont contribué à ce programme, nous tenons à signaler le support sans faille, sur le terrain, en laboratoire et au traitement des données, de Serge Paquet, assistant de recherche de Dolores Planas.

Soulignons aussi le soutien apporté par le Service aux collectivités de l'UQAM tout au long du programme de recherche. Les membres de l'ACBVLB, par le prêt d'équipements et de locaux, leur engagement au sein du comité d'encadrement mais aussi directement sur le terrain, comme au plan de la gestion globale du programme et de la diffusion des résultats, ont été les réels porteurs de ces recherches. Sans la générosité de toutes ces personnes et organisations, le Programme de recherche n'aurait pu être réalisé.

### **STAGIAIRES À HORIZONS SCIENCES**

Annick St-Pierre, Simon Laberge-Godin, Julien Ceré, Elizabeth Vigean, Estelle Lavirotte.

### **STAGIAIRES, ÉTUDIANTES ET ÉTUDIANTS QUI ONT CONTRIBUÉ À LA RÉALISATION DU PROGRAMME DE RECHERCHE AU LAC BROMONT**

**Stagiaires de CEGEP :** Mélanie Chabot, Caroline Dupuis

#### **Stagiaires universitaires:**

Lizette Michel Pêz, Ciências Biológicas Y Ambientales. Universidad De Guadalajara. Mexico  
Andrea Winiarz. Dép. Sciences biologiques, UQAM; stage recherche au baccalauréat en biologie  
Clément Guyot, Institut de Sciences de l'Environnement, UQAM  
Delphine Caumont, DUT Génie Biologique. U. de Nantes, France  
Estelle Campech, École Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse (ENSAT), France  
Talita Müller, DUT Génie Biologique. U. de Nantes, France.  
Yvonnick Favreau, Master M2, mention Écologie et Environnement, U. des Rennes 1, France

#### **Étudiantes et étudiants à la maîtrise :**

Katheleen McMeekin, Maîtrise en Sc. De l'environnement, UQAM  
Mathieu Charland-Faucher, Maîtrise en Sc. De l'environnement, UQAM  
Myriam Jourdain, Maîtrise en Sc. biologiques, UQAM  
Paola-Andrea Cabal Gomez, Maîtrise en Sc. biologiques, UQAM  
Zuzana Hrivnakova, Maîtrise en Sc. biologiques, UQAM (et stagiaire, Baccalauréat en Biologie)

#### **Stagiaire postdoctorale**

Alexandrine Pannard, GRIL - UQAM

## **SOUTIEN FINANCIER**

Il est difficile d'évaluer le soutien financier total qu'a reçu le Programme de recherche au lac Bromont, de la part des différents partenaires et organismes subventionnaires, mais nous considérons qu'il va très probablement au-delà de 350 000 \$. Le Programme de recherche a en effet bénéficié du soutien financier de la municipalité de Bromont pendant 5 années, ainsi que du soutien du Programme d'aide financière à la recherche et à la création de l'UQAM, du programme Études-Travail, du programme Horizons Sciences d'Environnement Canada, du Ministère du développement durable de l'environnement et des parcs (MDDEP), du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG), du Fonds de recherches du Québec - nature et technologies (FQRNT), de l'Organisme de bassin versant de la Yamaska (OBY) et de l'Épicerie Métro de Bromont.

## **SOUTIEN GLOBAL**

Action conservation du bassin versant du lac Bromont et ses membres

Municipalité de Bromont

Service aux collectivités de l'UQAM

GEOTOP, centre de recherche en géochimie et géodynamique

GRIL Groupe de Recherche Interuniversitaire en Limnologie et en Environnement Aquatique

Fonds québécois de la recherche du Québec sur la nature et les technologies (FQRNT)

Conseil de recherche en sciences naturelles et en génie (CRSNG)

## TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	I
LISTE DES TABLEAUX.....	IV
LISTE DES FIGURES .....	IV
LISTE DES ABRÉVIATIONS .....	V
INTRODUCTION .....	1
Principales caractéristiques du lac Bromont et de ses affluents .....	3
Surface et profondeur du lac.....	3
Ruisseaux d'alimentation et de décharge .....	4
But du programme de recherche au lac Bromont .....	6
Objectifs du document synthèse .....	6
Démarche de recherche au lac Bromont.....	6
SYNTHÈSE DES RÉSULTATS DES ÉTUDES EFFECTUÉES AU LAC BROMONT DE 2007 À 2011.....	11
Quelle est l'importance des apports en nutriments des ruisseaux au lac Bromont?.....	11
Les apports en nutriments de chaque ruisseau au lac .....	11
La somme des apports annuels de nutriments au lac .....	15
Le lac, une source ou un puits de nutriments ? .....	18
Où se rencontrent les cyanobactéries et les nutriments, dans le lac ? .....	20
La stratification thermique .....	20
Où sont les nutriments dans le lac?.....	20
Où sont les cyanobactéries dans le lac ?.....	24
Où et comment se fait la rencontre ..? .....	25
Pourquoi les cyanobactéries se retrouvent-elles en surface, si elles croissent en profondeur ? .....	27
PRINCIPALES CONCLUSIONS.....	29
RECOMMANDATIONS .....	31
BIBLIOGRAPHIE.....	36
Documents cités .....	36
Mémoires de maîtrise de recherche associés au lac Bromont.....	37
Rapports de stages universitaires.....	37
Rapport de stage postdoctoral.....	38
Autres documents sur le lac Bromont .....	38
Cahiers présentant, année par année, les résultats du Programme de recherches au lac Bromont .....	39
ANNEXES .....	40
Quantités annuelles relatives de phosphore et d'azote apportés par chaque ruisseau au lac Bromont.....	40
Apports en phosphore mesurés en continu et aux deux semaines dans les ruisseaux Petit Galop et des Cervidés .....	40
Synthèse des résultats pertinents au cours des 5 étés du Programme de recherche au Lac Bromont....	41
Quelques extraits du rapport de l'étude réalisée par le RAPPEL (2008).....	42

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1 : Quantités annuelles de phosphore et d'azote apportées par chaque ruisseau au cours des 3 années à l'étude .....</b>	<b>11</b>
<b>Tableau 2 : Apports annuels de phosphore et d'azote de chaque ruisseau, par km<sup>2</sup>, au cours des 3 années à l'étude .....</b>	<b>13</b>
<b>Tableau 3 : Somme des apports annuels de phosphore et d'azote au lac par les quatre ruisseaux au cours des 3 années complètes d'étude .....</b>	<b>15</b>
<b>Tableau 4 : Bilan du phosphore et de l'azote : comparaison entre les apports de nutriments au lac par les ruisseaux et les quantités sorties du lac par le R5, au cours des 3 années de l'étude .....</b>	<b>18</b>
<b>Tableau 5 : Moyenne (± écart-type) des concentrations en phosphore et en azote mesurées dans l'épilimnion, le métalimnion et l'hypolimnion, pendant les 5 saisons libres de glace (2007 à 2011).....</b>	<b>21</b>
<b>Tableau 6 : Classes trophiques des lacs, ici présentées uniquement sur la base de la concentration en phosphore total dans les lacs .....</b>	<b>22</b>

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1 : Carte bathymétrique et principales caractéristiques morphométriques du lac Bromont .....</b>	<b>3</b>
<b>Figure 2 : Localisation des sites d'échantillonnage au lac Bromont .....</b>	<b>3</b>
<b>Figure 3 : Topographie, limite des sous-bassins des ruisseaux qui alimentent le lac Bromont (R1 à R4) et décharge du lac (R5) .....</b>	<b>5</b>
<b>Figure 4 : Quantité annuelle relative (%) de phosphore et d'azote (dissous et totaux) apportés par chaque ruisseau, au des cours des 3 années à l'étude .....</b>	<b>12</b>
<b>Figure 5 : Quantités quotidiennes de phosphore apportées au lac par le R1 et quantités quotidiennes de précipitations, entre le 4 juin et le 26 juillet 2010 .....</b>	<b>16</b>
<b>Figure 6 : Schéma des différentes couches d'un lac stratifié et du profil de température en été.....</b>	<b>20</b>
<b>Figure 7 : Classification trophique des lacs de l'Estrie, du Québec, et de l'Europe et États-Unis confondus</b>	<b>22</b>
<b>Figure 8 : Distribution spatio-temporelle de la biomasse des cyanobactéries, pour les saisons libres de glace (2007-2011) .....</b>	<b>24</b>
<b>Figure 9 : Quantités de phosphore total dans l'hypolimnion (kg) et de cyanobactéries (kg) dans le métalimnion pendant les 5 saisons libres de glace (2007 à 2011) .....</b>	<b>25</b>
<b>Figure 10 : Distribution spatio-temporelle de l'oxygène (%), du phosphore dissout (PD) et de la biomasse des cyanobactéries dans la colonne d'eau en 2011. ....</b>	<b>26</b>
<b>Figure 11 : Profondeur de la thermocline, quantité de PT entraînée du métalimnion à l'épilimnion et présence d'efflorescences de cyanobactéries en surface en 2010 .....</b>	<b>27</b>
<b>Figure 12 : Fréquence et durée des efflorescences de cyanobactéries observées en surface aux cours des années d'étude au lac Bromont.....</b>	<b>28</b>

## 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

**NH<sub>4</sub>** : Azote inorganique dissous dans l'eau interstitielle des sédiments

**P** : Phosphore

**PD** : Phosphore dissous dans l'eau

**PP** : Phosphore particulaire dans l'eau

**PT** : Phosphore total dans l'eau

**PO<sub>4</sub>** : Phosphore inorganique dissous dans l'eau interstitielle des sédiments

**SAC** : Service aux collectivités de l'UQAM

**UQAM** : Université du Québec à Montréal



## INTRODUCTION

Les algues sont des plantes microscopiques qui vivent dans l'eau ; elles sont à la base de la chaîne alimentaire et représentent une source de nourriture essentielle pour les animaux microscopiques et le reste de la chaîne alimentaire aquatique, jusqu'aux poissons. Il y a plusieurs classes d'algues<sup>1</sup>, dont les cyanobactéries. Il existe des milliers d'espèces de cyanobactéries et elles sont toujours présentes dans les lacs. Lorsque les conditions leur sont favorables, température, nutriments (phosphore, azote) et lumière, quelques espèces des cyanobactéries peuvent se multiplier en très grand nombre, formant ainsi des accumulations importantes qui peuvent causer des problèmes de toxicité. Parmi les facteurs qui contrôlent leur croissance, la disponibilité du phosphore est certainement l'élément le plus important. Les eaux pauvres en phosphore soutiennent un petit nombre des cyanobactéries : ainsi, une augmentation de l'apport de ce nutriment aura pour conséquence une croissance excessive de ces algues.

Dans l'Est du Canada, les apports naturels de phosphore sont très peu élevés car peu de roches en contiennent. C'est pour cette raison que, en milieu naturel, le phosphore est généralement l'élément qui contrôle la productivité des lacs. Lors d'une surcharge en phosphore, les lacs comme les océans ont normalement la capacité de réguler le phosphore en l'accumulant dans les sédiments. Mais, si la surcharge se maintient, par exemple dans le cas d'apports venant d'activités humaines, les sédiments dépassent leur capacité de stockage et, dans certaines conditions, relarguent le phosphore. La colonne d'eau s'enrichit alors en phosphore, qui devient disponible pour les algues. Les apports en excès du phosphore sont dus aux activités humaines telles que : 1) épandage d'engrais (chimiques, lisier, fumier) dans les champs, les jardins ou les potagers, surtout en absence de bande de végétation protectrice; 2) mauvaise gestion du bassin versant, du régime hydrique, surtout en terrain montagneux : déboisement, entretien et aménagement inadéquat des fossés et chemins, etc. , qui entraînent une plus forte érosion du sol lors de l'utilisation des machineries et par la suite; 3) eaux usées (installations septiques (égouts – fosses septiques) inadéquates, mal entretenues, ou mal utilisées); 4) utilisation de produits ménagers qui contiennent du phosphore, lequel se retrouve à plus ou moins long terme dans les cours d'eau. Signalons que, indépendamment de l'état des installations septiques ou des habitudes de vie des riverains, chaque individu habitant dans le premier 100 mètres autour d'un lac ou d'un ruisseau libère en moyenne une quantité de phosphore équivalente à ce que libère naturellement un hectare de forêt (GRIL, 2009).

Les lacs qui ont reçu beaucoup de phosphore d'origine anthropogénique peuvent ainsi, dans des conditions particulières (par exemple lors d'étés très chauds), produire un relargage du phosphore des sédiments vers la colonne d'eau (charge interne de phosphore), ce qui enrichi l'eau du lac en phosphore. Cette situation peut se produire même quand les apports externes sont réduits.

Le présent rapport synthétise les résultats de l'ensemble des études qui ont constitué le Programme de recherche au lac Bromont, réalisé par Dolores Planas et Béatrix Beisner, de l'Université du Québec à Montréal (UQAM), en partenariat avec Action conservation du bassin versant du lac Bromont (ACBVLB) et soutenu par le Service aux collectivités de l'UQAM. Dès 2007,

---

<sup>1</sup> Voir le Cahier 1 pour les différentes classes d'algues

la Municipalité de Bromont s'est jointe au comité d'encadrement du Programme de recherche, a collaboré à son financement et a soutenu la démarche.

Le 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, ces nutriments étant responsables des efflorescences de cyanobactéries (i.e. *bloom* de cyanobactéries).

Huit Cahiers précèdent ce document synthèse. Les trois premiers portent respectivement sur les caractéristiques du lac Bromont et les objectifs du programme de recherche (Cahier 1), sur les connaissances générales sur les lacs (Cahier 2), et sur les méthodologies générales employées dans les études au lac Bromont (Cahier 3). Les cinq autres cahiers 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 seulement 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.

Les différentes méthodologies utilisées ne seront pas toutes reprises ici, non plus que l'ensemble des résultats obtenus. Le lecteur pourra se référer aux cahiers concernés (Voir dans la bibliographie, la liste des titres des autres cahiers). Nous présenterons toutefois ici la démarche globale du programme de recherche, qui s'apparente à une recherche-action, au sens où les objectifs de recherche étaient en constant réajustement, suivant les résultats antérieurs ainsi que les préoccupations de l'ACBVLB et des autres membres du comité d'encadrement du projet.

Par ailleurs, en lien avec la problématique des cyanobactéries au lac Bromont, un deuxième projet a été réalisé, en collaboration avec l'ACBVLB et la Municipalité de Bromont, avec le soutien du Service aux collectivités de l'UQAM. Ce projet avait pour objectifs de : (i) caractériser l'évolution des perceptions et de l'engagement des principaux acteurs locaux, ainsi que les limites et obstacles à leur participation active dans la lutte aux cyanobactéries et (ii) mettre en place un processus favorisant l'établissement d'une vision commune pour agir dans le dossier.

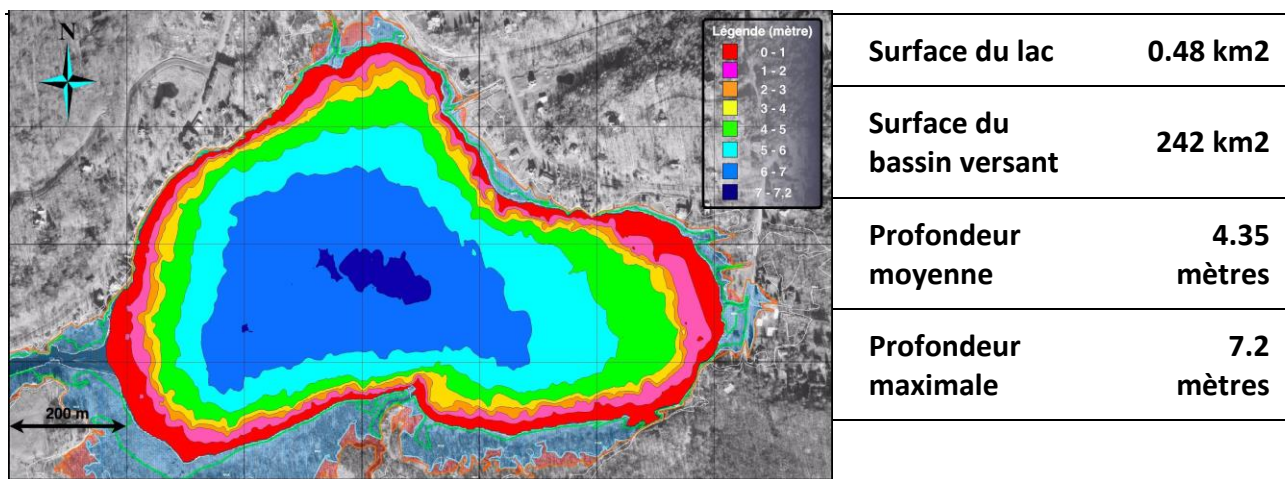
Cinq mémoires de maîtrise sont liés à la recherche au lac Bromont, ainsi que plusieurs rapports de stage, plan d'action et autres formes de rapport. Ces documents sont répertoriés dans la bibliographie, en fin du présent cahier.

## Principales caractéristiques du lac Bromont et de ses affluents <sup>2</sup>

Le lac Bromont est un petit lac situé dans la région de l'Estrie, au Québec. Ce lac connaît depuis quelques années des proliférations de cyanobactéries. Dans ce lac, la stratification estivale apparaît au printemps et disparaît lors de la prise des glaces. Ce phénomène affecte la qualité de l'eau et de l'environnement de manière importante et perturbe fortement les activités récréatives et touristiques

### Surface et profondeur du lac

La Figure 1 présente la carte bathymétrique du lac Bromont et un aperçu des caractéristiques morphométriques du lac Bromont, alors que la Figure 2 fournit la carte de lac, où sont indiqués les sites d'échantillonnage des ruisseaux et au centre du lac.



Serge Paquet, UQAM (2008)

Figure 1 : Carte bathymétrique et principales caractéristiques morphométriques du lac Bromont

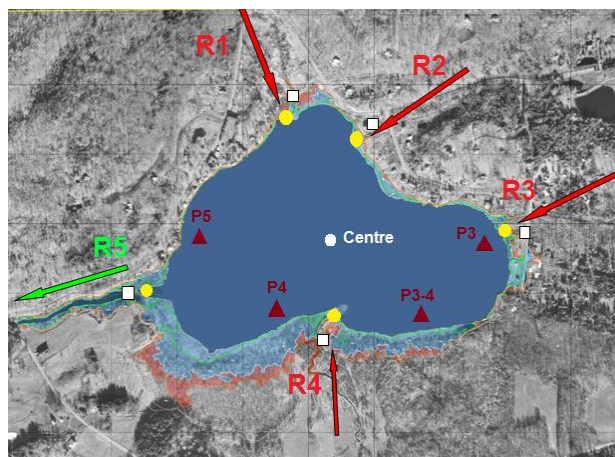


Figure 2 : Localisation des sites d'échantillonnage au lac Bromont

Dans la carte bathymétrique (Figure 1), on peut noter qu'une grande partie du lac a une profondeur égale ou supérieure à 5 mètres. Dans la carte du lac (Figure 2), les **carrés blancs**

<sup>2</sup> Voir le Cahier pour plus de détails sur les caractéristiques du lac Bromont

représentent les, sites d'échantillonnage des ruisseaux depuis 2007, soit en amont des ruisseaux; les **cercles jaunes** représentent les sites d'échantillonnage à l'embouchure des ruisseaux, là où ils se jettent dans le lac (Étude de 2009-2010 et 2010-2011). 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 de la colonne d'eau du lac.

Les **triangles rouges** représentent les **sites du littoral** où ont été installés des dialyseurs pour mesurer les concentrations en phosphore et en azote inorganiques dissous dans les eaux interstitielles des sédiments (2008-2009 ; 2009-2010; 2010)<sup>3</sup>; en 2004, les dialyseurs ont été installés à la station au centre du lac.

## Ruisseaux d'alimentation et de décharge

Le lac Bromont est alimenté tout au long de l'année par quatre ruisseaux et se déverse dans un cinquième ruisseau (la décharge du lac). La Figure 3 (page suivante) présente ces cinq ruisseaux, soit :

Le **ruisseau Petit Galop (R1)** draine le Pic du Chevreuil et une partie du mont Gale, ainsi qu'une zone agricole et une zone urbanisée. Il a une longueur de 3,18 km et son bassin versant est de 3,66 km<sup>2</sup>.

Le **ruisseau Coulée du Rocher (R2)** prend sa source dans le Mont Brome, où on retrouve un fort développement touristique dans la montagne (pistes de ski, sentiers et résidences), ainsi que plusieurs étangs artificiels. Le R2 a une longueur de 2,78 km et son bassin versant est de 3,19 km<sup>2</sup>. Une importante partie de ses eaux est déviée vers le R3, dû à l'aménagement et la gestion d'un barrage construit sur le dernier et le plus important de ces étangs (voir en annexe les modifications du bassin versant du lac).

Le **ruisseau des Cervidés (R3)**, qui peut avoir un débit très réduite, draine une zone d'urbanisation récente et reçoit de plus une partie des eaux issues du Coulée du Rocher (R2), via le dernier de la série des étangs artificiels aménagés le long du ruisseau R2. La longueur du R3 est de 0,55 km et son bassin versant naturel est de 1,26 km<sup>2</sup>. Ces données ne prennent pas en compte le territoire réellement drainé par le R3 via les étangs artificiels du R2 (voir en annexe les modifications du bassin versant du lac).

Le **ruisseau Wright (R4)** draine la plus grande partie du bassin versant (plus de 60 %; RAPPEL 2008); il traverse une zone surtout composée de pâturages, a une longueur de 7,63 km; son bassin versant est de 15,36 km<sup>2</sup>.

Le **ruisseau Beaver Meadow (R5)**, dans lequel se jette le lac, constitue la décharge du lac.

---

<sup>3</sup> Respectivement, Cahier 5, Cahier 6 et Cahier 7.

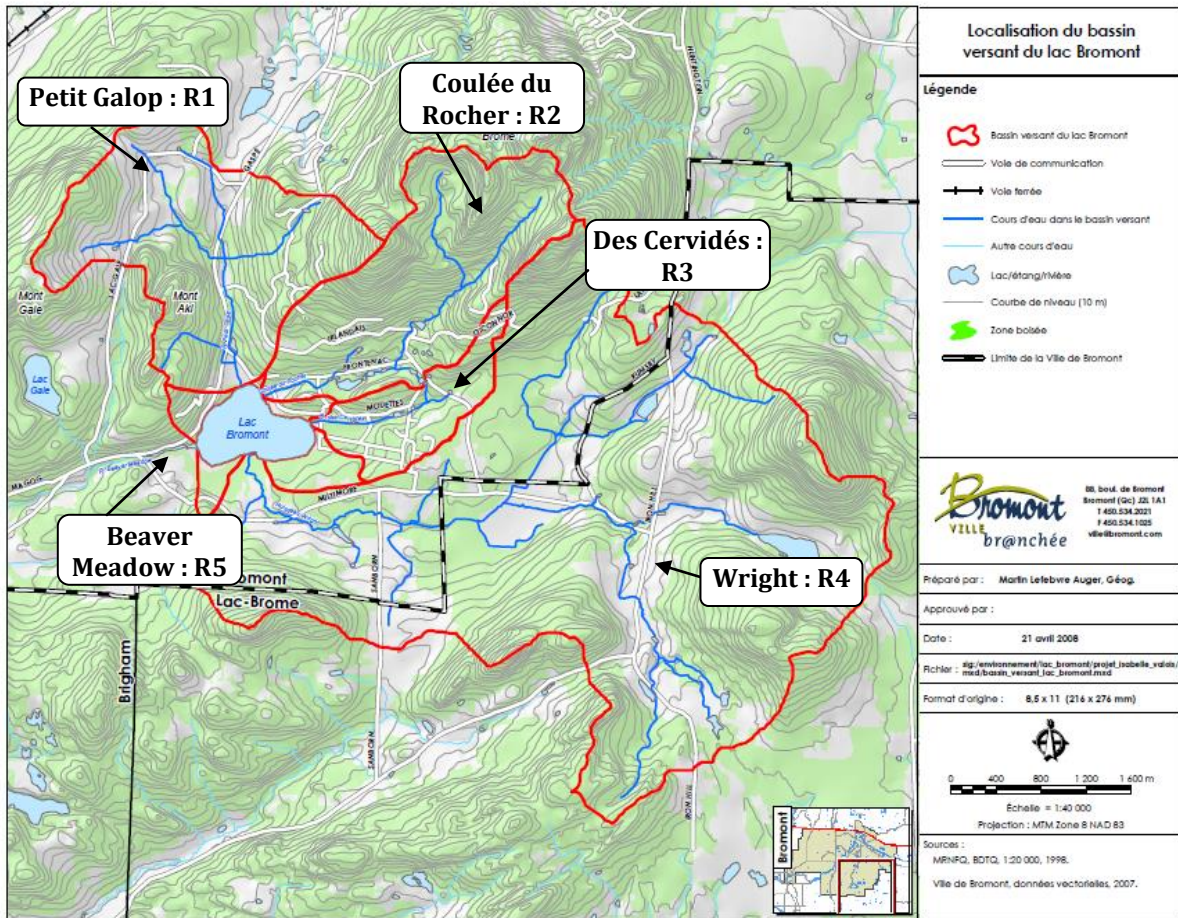


Figure 3 : Topographie, limite des sous-bassins des ruisseaux qui alimentent le lac Bromont (R1 à R4) et décharge du lac (R5)

## But du programme de recherche au lac Bromont

Le **but de la recherche menée au lac Bromont depuis 2007** était de comprendre la provenance des nutriments responsables de la croissance et de la prolifération des cyanobactéries dans le lac, en vue de la meilleure restauration possible du lac Bromont.

## Objectifs du document synthèse

Les objectifs du présent document sont de regrouper et de synthétiser les résultats les plus pertinents obtenus entre 2007 et 2011 au lac Bromont, puis d'émettre des conclusions sur les mécanismes responsables de la prolifération des cyanobactéries dans le lac, ainsi que des recommandations et des conseils sur les actions prioritaires à effectuer et les mesures à mettre en œuvre pour la meilleure restauration possible du lac Bromont.

## Démarche de recherche au lac Bromont

Considérant que le principal facteur affectant la croissance des algues est la disponibilité des nutriments, en particulier le phosphore, le but de la recherche se traduit par la question suivante :

### ***Quelle est la principale source de nutriments pour les cyanobactéries au lac Bromont ?***

Or, fondamentalement, il existe deux sources de nutriments pour les algues des lacs : les apports externes (ruisseaux, berges, etc.) et les apports internes (sédiments du lac).

Compte tenu du budget initial limité et des coûts élevés des analyses de laboratoire, la démarche utilisée pour répondre à la question en a été une du *pas à pas* afin d'éviter des dépenses superflues. La démarche a ainsi pris la forme d'une recherche-action, au sens où, régulièrement, l'équipe de recherche, les membres de l'ACBVLB et les autres partenaires regardaient les résultats de l'année en cours, les comparaient à ceux des années précédentes puis décidaient des sujets de recherche pour l'année suivante.

Les paragraphes qui suivent présentent brièvement chaque phase du programme de recherche réalisé au lac Bromont. Les principaux résultats sont présentés dans les sections suivantes.

### ***(A) Quelle est la contribution des apports externes de nutriments au lac Bromont?***

Pour répondre à cette question, il fallait déterminer les sources externes de nutriments. Globalement, ce sont les quatre ruisseaux qui alimentent le lac, soit les ruisseaux Petit Galop, Coulée du Rocher, des Cervidés et Wright (R1, R2, R3 et R4), ainsi que les berges du lac (ruissellement, percolation à partir des fosses septiques). En effet, comme les berges des ruisseaux, les berges du lac peuvent aussi rejeter des nutriments au lac, à cause de fosses septiques non efficaces ou par le ruissellement sur les terrains des propriétés riveraines, notamment s'ils sont enrichis d'engrais ou lors de travaux. L'étude s'est d'abord penchée sur les apports des ruisseaux au lac.

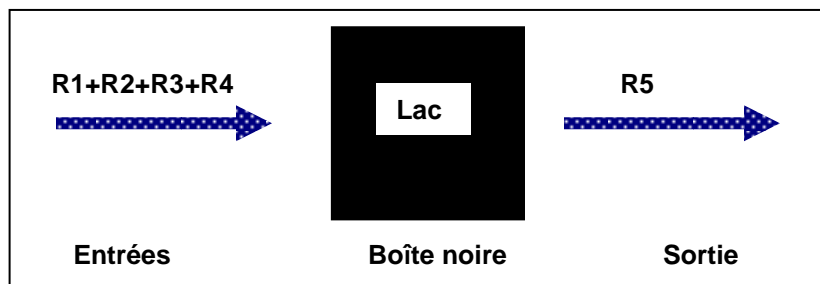
➤ Importance des apports en nutriments de chaque ruisseau au lac et bilan des nutriments

Pour connaître la quantité de nutriments que chaque ruisseau apporte au lac Bromont, des mesures régulières des concentrations de phosphore et d'azote ont été faites dans l'eau des ruisseaux, en amont de l'arrivée des ruisseaux au lac. Ces mesures ont été réalisées durant trois années complètes (d'avril à mars), soit en 2007-2008, en 2008-2009 et en 2009-2010, une fois par mois, de novembre à avril, et aux 2 semaines pendant la période libre de glace. Les résultats, brièvement présentés ici, sont détaillés dans les cahiers de chaque année d'étude<sup>4</sup>.

Mais, ces nutriments apportés au lac, y restent-ils ? Sont-ils rapidement rejetés du lac par la décharge (R5) ? Ne viennent-ils que s'ajouter à des nutriments relâchés par les sédiments ?

Rappelons que les sédiments, au fond du lac, peuvent aussi représenter une source de nutriments pour les algues. Mais, mesurer la quantité de nutriments relâchés par les sédiments demande un investissement en temps et en ressources relativement important. Donc, dans un premier temps, il est apparu plus judicieux de vérifier si la quantité de nutriments qui entre dans le lac est plus élevée (ou non) que la quantité qui en sort par la décharge (ruisseau Beaver Meadow : R5).

Ceci nous amène au concept de **bilan des nutriments**<sup>5</sup>. Suivant ce concept, un lac est défini comme une boîte noire : on y calcule le bilan d'un nutriment en le mesurant, à un temps donné, à l'entrée et à la sortie de la boîte noire, peu importe ce qui se passe dans cette boîte.



Si on transfère ceci au calcul du bilan de nutriments au lac Bromont :

- lorsque la quantité totale de nutriments qui entre par les 4 ruisseaux est supérieure à la quantité qui en sort par le R5, ceci implique qu'une partie des nutriments est retenue dans le lac (le lac agit alors un *puits* même si, dans les faits, le phosphore apporté au lac ne se déposera pas automatiquement mais pourra être absorbé rapidement par les algues présentes).
- si la quantité de nutriments qui sort du lac par le R5 est supérieure à la quantité totale de nutriments qui entre par les 4 ruisseaux, ceci suggère qu'une partie des nutriments qui sort du lac ne vient pas des ruisseaux mais très probablement des sédiments du lac (le lac est alors une *source* de nutriments pour le territoire en aval, mais aussi pour les algues dans le lac).

Le calcul du bilan de nutriments nécessite de faire un suivi des ruisseaux et de la décharge sur au moins une année complète. Pour faire ce calcul, les nutriments doivent aussi être mesurés dans le R5, en même temps que dans les 4 autres ruisseaux.

<sup>4</sup> Respectivement, Cahiers 4, 5 et 6

<sup>5</sup> Voir le Cahier 3

Signalons que, de façon générale, il est considéré normal que les nutriments apportés à un lac par les ruisseaux qui l'alimentent demeurent dans le lac et que le calcul du bilan conduise au statut de *puits* pour un lac (Valentyne, 1978). C'est l'inverse (i.e. plus de phosphore exporté que de phosphore amené au lac) qui est plus rare, quoique de moins en moins, compte tenu des perturbations des bassins versants des lacs.

Mais cette approche, bien qu'intéressante, n'est pas toujours concluante quant au rôle des ruisseaux comme source de nutriments, par rapport aux autres sources, comme les sédiments. En effet, les nutriments relargués par les sédiments peuvent être rapidement assimilés par les algues qui vivent en profondeur dans le lac. Dans ce cas, il y aura peu de nutriments rejetés dans l'eau de la décharge. Une telle situation ferait en sorte que le calcul du bilan conduirait à caractériser le lac comme un puits, alors qu'il aurait agi comme une source de nutriments.

À la fin de la première année d'étude (2007-2008), le calcul des bilans de nutriments n'a pas permis de déterminer si la croissance des cyanobactéries dans le lac était due aux apports des ruisseaux. Ceci nous a conduits à ajouter, les années subséquentes, la validation de différentes hypothèses, dont certaines méthodologiques (**site et fréquence d'échantillonnage dans les ruisseaux, mesure en temps de pluie**<sup>6</sup>), au suivi des apports des ruisseaux et de la dynamique des nutriments et des algues dans le lac (Section suivante : B).

L'importance des **étangs artificiels**<sup>7</sup> le long des ruisseaux dans les apports au lac a aussi été étudiée, en prenant R2 comme ruisseau d'étude. La recherche a montré que ces étangs agissaient comme un *puits* de nutriments : ces derniers seraient ainsi retenus dans les étangs. MAIS, lors du curage de ces étangs, les nutriments dissous ou accumulés aux particules sont remis en circulation dans le R2 et le R3, pouvant ainsi se retrouver ensuite dans le lac Bromont. Les étangs artificiels doivent donc faire l'objet d'attentions particulières.

L'importance du **littoral du lac dans les apports de nutriments au lac** a elle aussi été évaluée, par leur mesure dans l'eau interstitielle des sédiments à l'aide de dialyseurs<sup>8</sup>. Ces mesures portaient sur les quantités de phosphore et d'azote inorganique dissous (PO<sub>4</sub> et NH<sub>4</sub>), seules formes dissoutes de ces nutriments dans les sédiments. L'étude a été réalisée à l'été 2009 et à l'été 2010. Les résultats de 2009 montraient une grande variabilité des données, probablement à cause de faible nombre d'échantillons récoltés dans chaque station. Ces résultats n'ont donc pas été retenus. Les résultats des mesures de l'eau interstitielle de 2010 suggèrent qu'il y a eu des apports de phosphore provenant des zones de villégiature, et que ce phosphore se serait accumulé dans les sédiments du littoral. Par ailleurs, selon les concentrations mesurées, l'accumulation aurait diminué ces dernières années.

---

<sup>6</sup> Voir les Cahiers 6 et 7 pour le détail de ces études.

<sup>7</sup> Voir le Cahier 5 pour le détail de cette étude.

<sup>8</sup> Voir les Cahiers 6 et 7 pour le détail de ces études

### ***(B) Où se rencontrent les cyanobactéries et les nutriments, dans le lac ?***

Pour comprendre où et comment les cyanobactéries avaient accès aux nutriments dans le lac, un suivi des nutriments et des algues a aussi été effectué dans le lac<sup>9</sup>, en parallèle à l'étude sur les ruisseaux. Ce suivi a été réalisé durant la même période que celui des ruisseaux, soit en 2007, 2008, 2009, 2010 et 2011.

#### ➤ Où sont les nutriments dans le lac ?

Une première question visait à savoir à quelle profondeur de l'eau du lac on retrouve le plus de nutriments. La mesure des nutriments dans les 3 couches de la colonne d'eau (surface, intermédiaire et profonde) permet de mettre en relation leur distribution avec celles des algues. De plus, cette mesure fournit le profil des concentrations de nutriments, du fond du lac à sa surface. Si le profil de phosphore obtenu montre des concentrations élevées au fond du lac, par rapport à sa surface, on pourra considérer que la source de phosphore localisée au fond du lac (source interne : relargage par les sédiments) est plus importante que celle qui en alimente la surface du lac (source externe : généralement, les ruisseaux et les rives).

#### ➤ Où sont les cyanobactéries dans le lac ?

Une deuxième question visait à savoir à quelle profondeur de l'eau du lac on retrouve le plus de cyanobactéries, au cours de la saison libre de glace (~ avril à octobre).

#### ➤ Où et comment se fait la rencontre ...?

Le phosphore étant essentiel à la croissance des algues, il fallait identifier à quelle profondeur de la colonne d'eau les algues et les nutriments se rencontraient.

### ***(C) Pourquoi les cyanobactéries sont-elles parfois en surface, alors qu'elles croissent en profondeur ?***

La compréhension des apparitions de cyanobactéries en surface, à certaines périodes de l'été, nécessitait de se pencher sur les processus de stratification et de brassage.

### **Ces différentes phases de la recherche ont conduit à la formulation de *recommandations*, en vue d'améliorer la situation au lac Bromont**

Rappelons toutefois que l'expertise des biologistes de l'équipe de recherche de l'UQAM, dont le mandat était de diagnostiquer le problème et faire des recommandations, ne se situe pas dans des aspects d'aménagement et de gestion des territoires.

---

<sup>9</sup> Voir le Cahier 3 pour le site d'échantillonnage dans le lac

## NOTE MÉTHODOLOGIQUE

Les analyses ont porté sur le phosphore (P) dans l'eau des ruisseaux, l'azote (N) et les matières en suspension (MES). Deux formes de phosphore ont été analysées, soit le phosphore dissous (PD) qui est directement assimilable par les algues, et le phosphore total (PT) qui représente toutes les formes de phosphore présentes dans l'eau. De ces données peut être calculé le phosphore particulaire (PP) :  $PT - PD = PP$ , qui représente le phosphore contenu dans les organismes et les particules en suspension dans l'eau.

Deux formes d'azote ont aussi été analysées, soit l'azote dissous (ND) qui est directement assimilable par les algues, et l'azote total (NT) qui représente toutes les formes d'azote présentes dans l'eau. De ces données peut être calculé l'azote particulaire (NP) :  $NT - ND = NP$ , qui représente l'azote contenu dans les organismes et les particules en suspension dans l'eau.

Dans le présent document, nous n'avons pas repris les valeurs de phosphore particulaire (PP) ni d'azote particulaire (NP), afin de ne pas surcharger le cahier synthèse. Ces données ne nous informent pas sur les relations ponctuelles entre les nutriments et la croissance des algues, les algues se nourrissant des molécules dissoutes (PD et ND) et non de particulaire. Rappelons toutefois que, globalement, les données de phosphore et d'azote particulaires sont importantes puisqu'elles représentent le potentiel d'enrichissement en nutriments des sédiments : déposés sous forme particulaire, ces nutriments pourront se dégrader à plus ou moins long terme et se transformer en molécules dissoutes. Mais la présentation des résultats en phosphore total (PT) et azote total (NT), qui incluent les formes particulaires, nous permettront de les prendre en compte, s'il y a lieu.

De même, nous ne présentons pas les données de MES dans les ruisseaux car seules les données des premières années sont disponibles puisque, à la demande du comité d'encadrement, ces analyses ont été retirées du protocole de recherche.

## SYNTHÈSE DES RÉSULTATS DES ÉTUDES EFFECTUÉES AU LAC BROMONT DE 2007 À 2011

### Quelle est l'importance des apports en nutriments des ruisseaux au lac Bromont?

L'échantillonnage des nutriments dans les ruisseaux a été effectué d'avril à mars, pour les années 2007-2008, 2008-2009 et 2009-2010. Les échantillonnages étaient hebdomadaires en mars, avril, octobre et novembre, et aux 2 semaines de mai à septembre.

Les données récoltées ont permis de calculer les quantités de nutriments apportées au lac par les ruisseaux et les quantités exportées par la décharge (R5), puis de calculer le bilan de ces nutriments pour les années à l'étude. Les sections qui suivent présentent la démarche de ces calculs.

#### Les apports en nutriments de chaque ruisseau au lac

Le Tableau 1 présente les quantités annuelles (en kg) de phosphore et d'azote qui sont arrivées au lac par chaque ruisseau, pour chaque année complète à l'étude.

Dans ces tableaux sont présentées :

- les deux formes de phosphore mesurées dans l'eau des ruisseaux, soit le phosphore dissous (PD) et le phosphore total (PT) ;
- les deux formes d'azote mesurées dans l'eau des ruisseaux, soit l'azote dissous (ND) et l'azote total (NT).

**Tableau 1 : Quantités annuelles de phosphore et d'azote apportées par chaque ruisseau au cours des 3 années à l'étude <sup>10</sup>**

	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
	PT (kg)				PD (kg)			
2007-08	74	36	66	839	36	12	12	202
2008-09	39	45	35	1 020	19	9	8	347
2009-10	36	10	25	302	26	5	11	164
	NT (kg)				ND (kg)			
2007-08	2 270	1191	1 511	17748	2 270	1090	1441	16 999
2008-09	902	645	628	14936	902	580	577	14 501
2009-10	1 368	511	810	10364	1 179	459	535	8 824

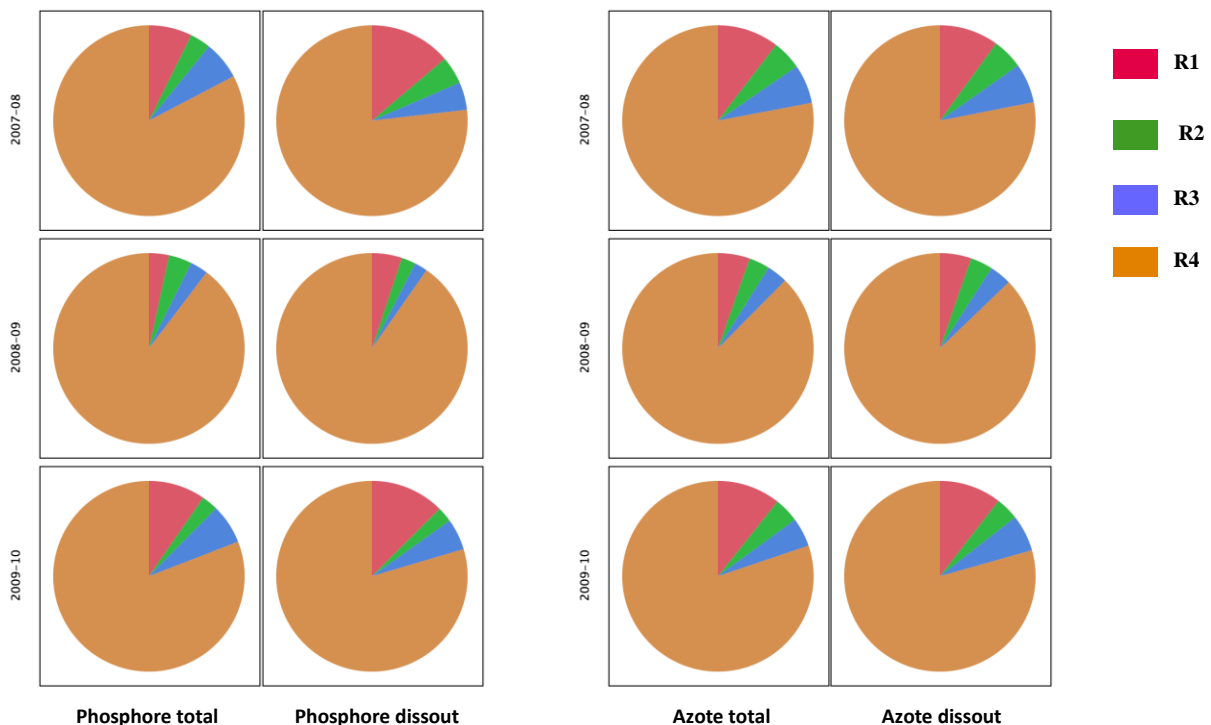
<sup>10</sup>À noter que ces valeurs pourraient être sous-estimées, contenu des résultats de la comparaison des modes d'échantillonnage (bimensuel ou en continu, voir page 17).

Selon les résultats présentés au Tableau 1, les apports (*charges*) annuels les plus élevés viennent du ruisseau Wright (R4). Toutefois, telles que présentées, ces données rendent complexe la comparaison entre les ruisseaux et entre les années à l'étude.

Pour en faciliter l'analyse, nous avons présentées les apports de différentes façons :

- par une figure présentant les pourcentages qu'apportent chaque ruisseau au lac à chaque année de l'étude<sup>11</sup>, ce qui nous permet de saisir plus rapidement l'importance des apports (Figure 4 : % calculés à partir des données du Tableau 1 et de celles du Tableau 3; ces % sont aussi présentés en annexe au présent document);
- par les apports de chaque ruisseau en fonction de la surface son bassin versant, ce qui nous donne un aperçu des liens possibles entre l'occupation des sols dans ces bassins versants et les apports des ruisseaux (Tableau 2, présenté plus loin), et donc des besoins de gestion de ces territoires;
- par la somme des apports annuels des 4 ruisseaux, ce qui nous permet de porter un regard sur la variation interannuelle des apports totaux au lac (Tableau 4, présenté plus loin).

La Figure 4 présente la contribution de chaque ruisseau, en %, aux apports totaux de phosphore (PT, PD) et d'azote (NT, ND) au lac, pour les 3 années complètes d'étude. Tel que perçu au Tableau 1, dans tous les cas, quelle que soit l'année et quelle que soit la forme de phosphore ou d'azote, c'est le ruisseau Wright (R4) qui apporte le plus de nutriments au lac, suivi presque toujours par le ruisseau Petit Galop (R1), puis généralement par le R3 et le R2.



**Figure 4 : Quantité annuelle relative (%) de phosphore et d'azote (dissous et totaux) apportés par chaque ruisseau, au des cours des 3 années à l'étude**

<sup>11</sup> Voir le tableau à l'annexe du présent document, qui présente les pourcentages chiffrés des apports de chaque ruisseau

Dans le bassin versant du R4, on retrouve des activités agricoles, de même que dans le bassin versant du R1, où on retrouve aussi des habitations près de son embouchure. Dans le bassin versant du R2, on trouve des infrastructures pour la pratique du ski (installation de remontée mécanique, stationnement, pistes de ski), des sentiers, du développement résidentiel à faible densité, ainsi que des étangs artificiels le long du ruisseau. Dans le bassin versant du R3, on trouve un secteur urbanisé à densité plus élevée, développé depuis les années 1960-70, avec tout le développement urbain qui en découle; de plus une partie des eaux du R3 provient en fait du détournement d'un des étangs du R2.

S'il n'est pas surprenant que le ruisseau Wright (R4) apporte le plus de nutriments au lac, puisque c'est ce ruisseau qui a le plus grand bassin versant, il est par contre étonnant que le ruisseau des Cervidés (R3), qui a le plus petit bassin versant, ait des apports généralement plus élevés que le R2 et similaires au R4, sauf en 2008-2009.

Nous avons repris les apports présentés au Tableau 1, pour les présenter en fonction de la surface du bassin versant de chaque ruisseau. Ces données sont présentées au Tableau 2.

**Tableau 2 : Apports annuels de phosphore et d'azote de chaque ruisseau, par km<sup>2</sup>, au cours des 3 années à l'étude**

	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
	PT (kg/Km <sup>2</sup> )				PD (kg/km <sup>2</sup> )			
2007-08	20,2	11,3	52,4	54,6	9,8	3,8	9,5	13,2
2008-09	10,7	14,1	27,8	66,4	5,2	2,8	6,3	22,6
2009-10	9,8	3,1	19,8	19,7	7,1	1,6	8,7	10,7
	NT (kg/km <sup>2</sup> )				ND (kg/km <sup>2</sup> )			
2007-08	620,2	373,4	1199,2	1155,5	620,2	341,7	1143,7	1106,7
2008-09	246,4	202,2	498,4	972,4	246,4	181,8	457,9	944,1
2009-10	373,8	160,2	642,9	674,7	322,1	143,9	424,6	574,5

Globalement, ces apports en nutriments sont comparables à ceux des lacs ontariens, calculés à partir du bilan de masse, où les apports de phosphore peuvent varier de 20 ( $\pm$  4) à 95 ( $\pm$  23) kg/km<sup>2</sup> par année (Dillon et Evans, 1993).

Un résultat plus surprenant est le fait que le ruisseau des Cervidés (R3) est à peu près aussi productif que le ruisseau Wright (R4), au sens où ces deux ruisseaux apportent le plus de nutriments au lac par km<sup>2</sup>. Rappelons que la superficie du bassin versant du ruisseau des Cervidés (R3) est supérieure à celle utilisée ici pour les calculs. En effet, ces calculs ne prennent pas en compte le changement de la surface du sous-bassin versant, associé à la dérivation d'une partie de l'eau du R2 vers le R3, à l'étang Russo. Cet apport n'a pu être évalué, puisque la surface modifiée du sous-bassin du R3 n'est pas précisément connue<sup>12</sup>.

<sup>12</sup> Le RAPPEL (2008; pages 7 et 8) présente la problématique de dérivation d'une partie de l'eau du R2 vers le R3.

Par ailleurs, selon le RAPPEL : «Une forte proportion du territoire, soit plus de 68 %, comporte des pentes qui peuvent être considérées comme sensibles à l'érosion en fonction de l'inclinaison de la pente. Ces secteurs abondent près des monts situés au nord du lac et au niveau des collines servant de limites au sud et à l'est du bassin versant » (voir en annexe la figure Topographie du bassin versant du lac Bromont). En période de pluies importantes, ces fortes pentes, si elles sont déboisées en tout ou en partie, peuvent affecter l'érosion des sols et des berges des cours d'eau, par l'augmentation importante de leur débit, et ainsi favoriser le transport de particules vers le lac.

### **Sources externes d'apports de nutriments au lac :**

- ☛ **Les résultats présentés plus haut suggèrent que le type d'occupation du territoire et les pratiques en usage dans le bassin versant du lac Bromont (travaux liés à l'urbanisation, entretien des berges, aménagement et vidange d'étangs artificiels, déforestation, travaux d'aménagement des pentes et sentiers, pratiques agricoles, etc.) ont un effet certain et non négligeable sur les apports en nutriments des ruisseaux au lac.**
- ➔ **Le ruisseau Wright (R4) est celui qui apporte le plus de nutriments au lac (plus de 80% du phosphore et de l'azote dissous : voir les % en annexe).**
- ➔ **Le ruisseau Petit Galop (R1) apporte aussi une quantité non négligeable de nutriments au lac (entre 5 et 14 %).**
- ➔ **Les apports du ruisseau des Cervidés (R3) sont aussi élevés que le R4, lorsqu'on prend en compte son petit bassin versant. Rappelons que ce ruisseau est aussi alimenté en partie par les étangs du ruisseau Coulée du Rocher.**
- ➔ **Les apports de la Coulée du Rocher (R2) sont les moins élevés des 4 ruisseaux qui alimentent le lac mais la surface de son bassin versant originel a été amputée de plus des  $\frac{3}{4}$  (voir en annexe les cartes du RAPPEL 2008).**

## La somme des apports annuels de nutriments au lac

Le Tableau 3 présente la somme des apports annuels de phosphore et d'azote qui sont arrivées au lac par les quatre ruisseaux, en 2007-2008, en 2008-2009 et en 2009-2010.

**Tableau 3 : Somme des apports annuels de phosphore et d'azote au lac par les quatre ruisseaux au cours des 3 années complètes d'étude**

	2007-2008	2008-2009	2009-2010
PT	1 015 kg	1 135 kg	373 kg
PD	266 kg	381 kg	204 kg
	2007-2008	2008-2009	2009-2010
NT	22 720 kg	17 112 kg	13 053 kg
ND	21 817 kg	16 607 kg	10 997 kg

Ce tableau fournit plusieurs informations :

- Le phosphore total (PT) diminue beaucoup la dernière année de l'étude, par rapport aux années précédentes (2009-2010 :  $\approx$  3 fois), alors que le phosphore dissout varie beaucoup moins. Ceci suggère que la diminution du PT est due à une diminution du phosphore particulaire (PP) pendant la même période. Le PP est surtout associé à des particules et est donc lié aux précipitations et à l'érosion des sols qui en découle.
- Le phosphore dissous (PD) ne montre pas une aussi grande variation que le PT mais il est toutefois plus élevé en 2008-2009 que les 2 autres années. Ceci semble être dû à l'augmentation de PD dans le R4, cette année-là (347 kg de PD, Tableau 1).
- L'azote total (NT) et l'azote dissous (ND) sont très élevés par rapport au phosphore, quel que soit l'année. Ceci s'explique par le fait qu'il y a beaucoup d'azote dans la nature et que le NT est au moins seize fois plus élevé que le PT dans les lacs tempérés (Wetzel, 2001)
- L'azote total (NT) et l'azote dissous (ND) montrent toutefois une très forte diminution, entre chaque année à l'étude.

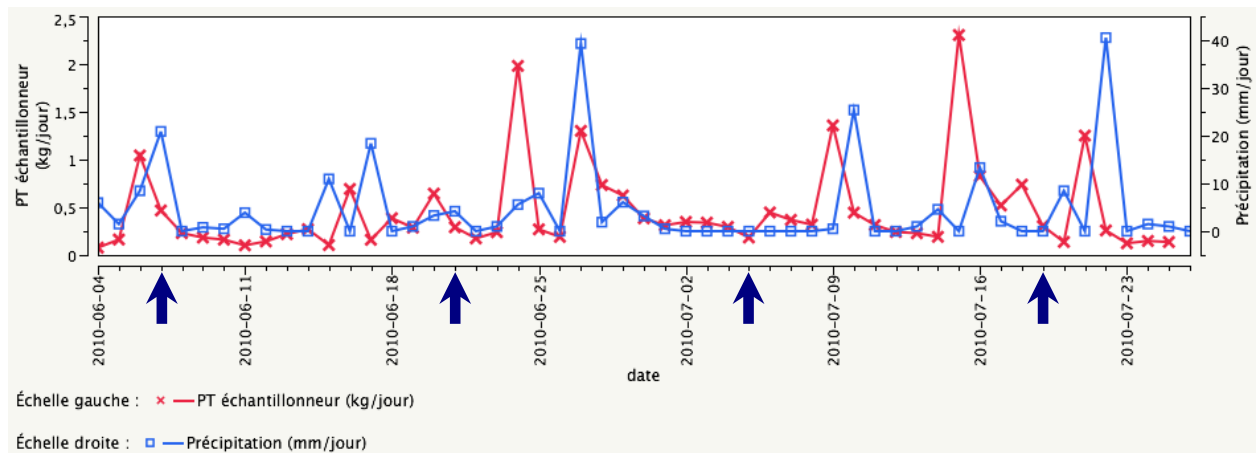
Les variations interannuelles dans les quantités de nutriments apportées au lac ne semblent être associées à aucun ruisseau en particulier, puisque ces variations se retrouvent dans tous les ruisseaux (voir Tableau 1). Ces variations seraient plutôt associées aux variations de précipitations.

### VARIATION DES PRÉCIPITATIONS ET VARIATION DES APPORTS EN NUTRIMENTS

Les différences, d'une année à l'autre, dans la quantité de nutriments apportée par les ruisseaux au lac pourraient être en partie associées aux variations dans la quantité de précipitations entre les années. En effet, la quantité de précipitations affecte la quantité d'eau de ruissellement sur les sols et la vitesse à laquelle l'eau ruisselle. Ceci affecte directement la quantité d'eau et sa vitesse dans

les ruisseaux, et donc l'érosion de leurs berges. Ainsi, suivant la quantité de précipitations, plus ou moins de nutriments seront transportés vers le lac.

En 2010, la municipalité de Bromont a investi dans l'achat d'un échantillonneur en continu, ce qui permettait d'avoir des résultats quotidiens du débit des ruisseaux et des apports en nutriments. Cet appareil a été utilisé dans les ruisseaux R1 et R3<sup>13</sup>. En parallèle, un membre de l'ACBVL relevait les mesures de précipitations tous les jours, à 9 heures, sur un pluviomètre. La Figure 5 présente les résultats de ces mesures pour le R1. On y retrouve la quantité de précipitations (ligne bleue) et les quantités quotidiennes de phosphore (PT) dans le ruisseau du R1 (ligne rouge), telles que mesurées par l'échantillonneur en continu.



**Figure 5 : Quantités quotidiennes de phosphore apportées au lac par le R1 et quantités quotidiennes de précipitations, entre le 4 juin et le 26 juillet 2010**

Cette figure montre qu'il y a une grande concordance des pics et des creux de la ligne bleue (précipitations) et de la ligne rouge (quantités de phosphore), ce qui indique l'influence des précipitations sur les apports en phosphore de ce ruisseau. Dans certains cas, le pic de phosphore semble devancer le pic des précipitations (par exemple les 8 et 9 juillet). Ceci s'explique entre autre par le fait que les relevés des précipitations se faisaient à 9 heures du matin, alors que ceux du phosphore étaient comptabilisés par l'échantillonneur, la veille vers midi.

La quantité de précipitations n'est probablement pas le seul facteur expliquant les variations d'apports des ruisseaux (par exemple, travaux d'aménagement municipaux, agricoles et sportifs, vidange des étangs, etc.), mais son influence est certaine.

### LES APPORTS DE NUTRIMENTS AU LAC SONT-ILS SOUS-ESTIMÉS ?

En 2010, en parallèle à l'utilisation de l'échantillonneur en continu, nous avons aussi effectué manuellement les échantillonnages d'eau des ruisseaux pour les mesures de nutriments, de la même façon que pour les années précédentes (1/mois fois de novembre à avril; 2/mois fois pendant la période libre de glace). Ceci nous a permis de comparer les résultats quotidiens, beaucoup plus précis, aux résultats bimensuels.

<sup>13</sup> Voir le Cahier 7

En se reportant à la Figure 5, présentée plus haut, on retrouve 4 flèches bleues, au bas du graphique. Chacune de ces flèches indique la date d'échantillonnage manuel bimensuel faite par l'équipe de recherche. On notera que, sauf dans le cas du 6 juin 2010, aucun échantillonnage manuel n'a concordé avec des journées de fortes précipitations ni des apports élevés de phosphore (par exemple, le 24 et le 26 juin, le 9 et 10 juillet, etc.).

Une étude plus approfondie des résultats a montré que l'échantillonnage manuel bimensuel sous-estimait de façon importante les apports au R1 (par exemple, 38 % en juin et juillet). Dans le cas du R3, à faible débit, la différence entre les données récoltées en continu et celles récoltées aux 2 semaines n'était pas significative. Dans les deux cas, la quantité de précipitations était similaire<sup>14</sup>.

Bien que les résultats de cette étude comparative montrent une sous-estimation des apports dans le cas du R1, dans le présent document comme dans les autres Cahiers sur l'étude au lac Bromont, nous n'avons pas ajusté les données pour prendre en compte cette sous-estimation et avons donc conservé les données issues des échantillonnages hebdomadaires. En effet, l'échantillonnage en continu n'a été réalisé qu'à l'été 2010 et uniquement dans deux ruisseaux. Il n'aurait donc pas été rigoureux d'extrapoler les calculs aux années précédentes, ni aux autres ruisseaux ou à la décharge du lac (R5). Il est possible que les conclusions sur l'importance relative des apports de chaque ruisseau demeurent globalement les mêmes, bien que la question ne soit pas parfaitement résolue, vu le manque de données.

➔ **Les apports externes de nutriments ont fortement diminué en 2009-2010 par rapport aux années précédentes, probablement en lien avec les variations dans les précipitations.**

➔ **Suivant l'analyse comparative sur les ruisseaux R1 et R3 :**

★ **les échantillonnages bimensuels sous-estiment les quantités de nutriments apportés au lac lors des épisodes pluvieux**

★ **les échantillonnages bimensuels sous-estiment la quantité de nutriments apportés au lac par les ruisseaux qui ont un fort débit; ils seraient plus représentatifs, dans le cas des ruisseaux de faible débit.**

---

<sup>14</sup> Voir en annexe la dernière figure; voir aussi le Cahier 7

## Le lac, une source ou un puits de nutriments ?

Une des façons de répondre à cette question est le calcul des bilans des nutriments. Selon le *concept de la boîte noire*, nous avons comparé la quantité de nutriments qui entre dans le lac à la quantité qui en sort.

Le Tableau 4 présente ainsi la quantité totale annuelle de nutriments apportée au lac par les ruisseaux R1 à R4 (Somme des apports) et la quantité annuelle de nutriments qui sort du lac par le R5 (Quantité exportée). Ces données couvrent les 3 études sur une année complète.

Pour faciliter la compréhension des résultats, nous avons ajouté dans ce tableau les valeurs du ratio de la Quantité exportée, divisée par la Somme des apports (Quantité/Somme), pour chaque nutriment, ainsi que le statut du lac qui en découle :

- un rapport Quantité/Somme < 1 indique que le R5 rejette moins de nutriments qu'il en est rentré au lac par les ruisseaux; ceci implique que des nutriments sont retenus dans le lac : le lac agit alors comme un puits (cf. 4e colonne);
- un rapport Quantité/Somme > 1 indique que le R5 rejette plus de nutriments qu'il en est rentré au lac par les ruisseaux; ceci implique qu'il y a des apports internes de nutriments, à savoir les sédiments: le lac agit alors comme une source de nutriments pour les algues.
- un rapport Quantité/Somme ~ 1 indique que la quantité de nutriments qui entre dans le lac par les 4 ruisseaux est similaire à la quantité qui sort du lac par le R5: le lac est alors ~ 0.

**Tableau 4 : Bilan du phosphore et de l'azote : comparaison entre les apports de nutriments au lac par les ruisseaux et les quantités sorties du lac par le R5, au cours des 3 années de l'étude**

		Somme des apports de P (kg)	Quantité de P exportée (kg)	Quantité/Somme	Statut du lac en P
2007- 08	PD	266	298	1,11	<b>Source</b>
	PT	1 015	808	0,80	Puits
2008- 09	PD	381	162	0,43	<b>Puits</b>
	PT	1 135	378	0,33	Puits
2009- 10	PD	204	205	1,00	~ 0
	PT	373	381	1,02	~ 0
		Somme des apports de N (kg)	Quantité de N exportée (kg)	Quantité/Somme	Statut du lac en N
2007- 08	ND	21 817	21 745	1,00	~ 0
	NT	22 720	24 177	1,06	~ 0
2008- 09	ND	16 607	10 306	0,62	<b>Puits</b>
	NT	17 112	11 255	0,66	Puits
2009- 10	ND	10 997	8 486	0,77	<b>Puits</b>
	NT	13 053	9 169	0,70	Puits

Pour les fins de la compréhension de la disponibilité du phosphore et de l'azote pour les algues, nous porterons surtout attention aux résultats portant sur les molécules dissoutes (i.e. PD et ND), parce que ce sont celles directement assimilables par les algues.

En 2008-2009, les apports des ruisseaux en PD étaient supérieurs à la quantité sortie du lac par le R5 (ratio 0,343). Tel que dit précédemment, il est généralement fréquent que les apports externes soient retenus dans le lac, conférant au lac un statut de *puits* de phosphore.

La situation inverse, soit que le lac se transforme en *source* de PD pour les algues, est moins fréquent et dénote un possible déséquilibre dans le lac. Ce fut le cas pour le PD en 2007-2008 (ratio = 1,11). En 2009-2010, la valeur du ratio était  $\sim 0$ , illustrant des entrées et des sorties de PD équivalentes.

En 2007-2008, le lac était  $\sim 0$  pour ND, mais un puits en 2008-2009 et 2009-2010. Rappelons toutefois que la question demeure : Est-ce que les données des échantillonnages hebdomadaires ou mensuels dans les quatre ruisseaux et dans la décharge du lac reflètent bien le transport des nutriments vers et hors du lac ?

#### **Suivant les résultats du bilan <sup>15</sup> :**

- ➔ **En 2008-2009 et en 2009-2010, tel que généralement attendu, le lac aurait agi comme un puits, ou était en équilibre ( $\sim 0$ ), en ce qui a trait à l'azote et au phosphore dissouts.**
- ➔ **Mais en 2007-2008, le lac aurait agi comme une source du phosphore dissout (PD).**
- ☛ **Rappelons que ce calcul des bilans est basé sur des échantillonnages bimensuels, qui sous-estimaient les apports des ruisseaux R1 et R4 en temps de pluie. De même, on ne sait pas si ces échantillonnages sous-estimaient ou non les quantités de nutriments exportés du lac par la décharge (R5).**

**Étant donnée cette limite à l'étude ainsi que la variation dans les statuts du lac suivant les années :**

- ☛ **On ne peut exclure la possibilité que les ruisseaux apportent une contribution significative à l'enrichissement du lac en nutriments et, possiblement, à la croissance des cyanobactéries.**

**Dans ce contexte, il est approprié de se pencher sur la dynamique des nutriments et des algues dans le lac.**

---

<sup>15</sup> Voir les Cahiers 2 et 3 pour plus de détails sur le concept de bilan, son calcul et ses limites

## Où se rencontrent les cyanobactéries et les nutriments, dans le lac ?

### La stratification thermique<sup>16</sup>

Le **brassage printanier** de la colonne d'eau conduit à une uniformisation de la température sur toute la colonne d'eau ainsi qu'à une mise en circulation des nutriments et des algues accumulés au fond du lac.

Au cours du printemps et de l'été, la température de l'eau de surface d'un lac augmente. L'eau en surface se réchauffe : plus légère, elle flotte au-dessus des couches d'eau plus profondes, où l'eau est plus froide et donc plus lourde. Se forment alors, de la surface vers le fond, trois couches d'eau avec des températures différentes. C'est ce que l'on appelle la **stratification thermique de la colonne d'eau**, présentée à la Figure 6

L'**épilimnion** se situe en surface, le **métalimnion** se situe au milieu de la colonne d'eau, et l'**hypolimnion**, au fond du lac.

La **thermocline**, une zone dans le métalimnion, constitue une **barrière qui empêche les échanges de gaz et nutriments** entre la couche de surface (épilimnion) et la couche du fond (hypolimnion).

La durée de la stratification peut être très différente d'un lac à l'autre et, dans certains lacs peu profonds elle n'a pas lieu.

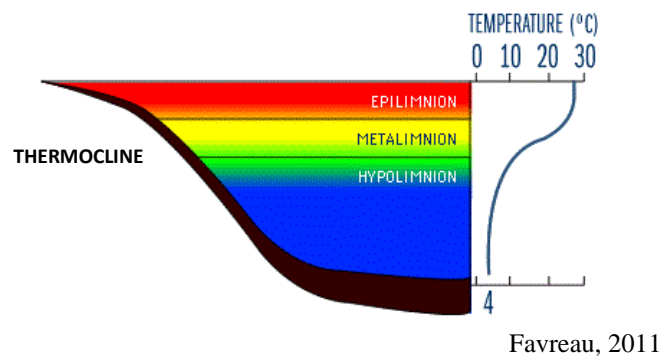


Figure 6 : Schéma des différentes couches d'un lac stratifié et du profil de température en été

### Où sont les nutriments dans le lac?

L'évaluation de la quantité de nutriments présents dans le lac Bromont, ainsi que celle de la quantité d'algues dans le lac, ont débuté au même moment que l'étude des ruisseaux et se sont poursuivies au-delà : nous avons ainsi réalisé des relevés pendant 5 saisons libres de glace, soit de 2007 à 2011. La saison libre de glace s'étendait généralement d'avril à novembre.

Rappelons ici que le site d'échantillonnage se situait dans la zone la plus profonde du lac (Figure 1) et que les échantillonnages ont eu lieu aux profondeurs correspondant à l'épilimnion (1,5m), au métalimnion (variable mais  $\approx 3$  m) et à l'hypolimnion (5,5 m en 2007 et 2008; 6,5 m par la suite).

Le Tableau 5 présente les résultats de ces échantillonnages, sous la forme des moyennes des concentrations en phosphore et en azote mesurées au centre du lac, suivant les zones de stratification du lac. Ces concentrations, contrairement aux quantités totales présentées précédemment, représentent la quantité d'un nutriment dans 1 litre de l'eau, à une profondeur donnée du lac. On parle ici de  $\mu\text{g/l}$ , où 1  $\mu\text{g}$  équivaut à 1/1000 mg : c'est donc peu ... mais suffisant

<sup>16</sup> Voir le Cahier 2 pour plus de détails sur le brassage de la colonne d'eau, sa stratification et ses couches d'eau (épilimnion, métalimnion, hypolimnion)

pour favoriser la croissance des algues : une concentration en phosphore dissous de moins de 0.03 mg/l (30 µg/l) peut être suffisante pour induire une prolifération de cyanobactéries<sup>17</sup>. Signalons qu'au début de l'étude, en 2007, le phosphore et l'azote n'ont pas été mesurés dans le métalimnion; ce fut aussi le cas de l'azote dans toute la colonne d'eau, en 2010.

**Tableau 5 : Moyenne (± écart-type) des concentrations en phosphore et en azote mesurées dans l'épilimnion, le métalimnion et l'hypolimnion, pendant les 5 saisons libres de glace (2007 à 2011)**

	Épilimnion		Métalimnion		Hypolimnion	
	PT µg/l	PD µg/l	PT µg/l	PD µg/l	PT µg/l	PD µg/l
<b>2007</b>	<b>20 ± 7</b>	7 ± 4	-	-	<b>31 ± 15</b>	6 ± 1
<b>2008</b>	<b>19 ± 4</b>	7 ± 3	<b>28 ± 11</b>	7 ± 3	<b>60 ± 26</b>	8 ± 5
<b>2009</b>	<b>21 ± 5</b>	7 ± 2	<b>41 ± 18</b>	7 ± 4	<b>91 ± 82</b>	26 ± 30
<b>2010</b>	<b>18 ± 8</b>	4 ± 2	<b>51 ± 31</b>	7 ± 3	<b>102 ± 95</b>	11 ± 14
<b>2011</b>	<b>22 ± 8</b>	6 ± 2	<b>31 ± 11</b>	6 ± 2	<b>127 ± 80</b>	27 ± 29
	NT µg/l	ND µg/l	NT µg/l	ND µg/l	NT µg/l	ND µg/l
<b>2007</b>	<b>404 ± 114</b>	292 ± 141	-	-	<b>531 ± 127</b>	349 ± 132
<b>2008</b>	<b>373 ± 69</b>	262 ± 68	<b>422 ± 93</b>	268 ± 64	<b>686 ± 148</b>	342 ± 164
<b>2009</b>	<b>405 ± 68</b>	267 ± 50	<b>729 ± 500</b>	500 ± 520	<b>1 327 ± 809</b>	1 132 ± 766
<b>2010</b>	-	-	-	-	-	-
<b>2011</b>	<b>346 ± 66</b>	218 ± 40	<b>407 ± 67</b>	248 ± 74	<b>1 081 ± 527</b>	693 ± 511

Les constats issus de ces données sont :

- Les concentrations en phosphore total (PT) augmentent beaucoup, entre la surface et le fond de l'eau, tout au long de l'étude. Dans le cas du phosphore dissout (PD), on ne retrouve pas cette augmentation car le PD est très rapidement assimilé par les algues.
- Les concentrations en azote total (NT), ainsi que celle de l'azote dissout (ND), augmentent aussi de la surface vers le fond, surtout à partir de 2008.
- Finalement, on constate que les concentrations en phosphore total (PT) en surface sont inférieures à 30 µg/l. Toutefois, elles dépassent cette concentration, et de beaucoup dans le cas de l'hypolimnion.

Suivant ces constats, nous posons que :

- L'augmentation du PT de la surface vers le fond est due au fait que les sédiments relâchent des quantités importantes de phosphore dans la colonne d'eau. Pour le PD, on ne note pas une telle augmentation dans les 2 premières années de l'étude : à cette période, l'échantillonnage de l'hypolimnion se faisait à 5,5 m, sur la base de la carte bathymétrique de référence du lac, soit à une profondeur où les algues présentes assimilent rapidement le phosphore relargué.

<sup>17</sup> Organisation mondiale de la sante, 1999.

Les années subséquentes, sur la base d'une nouvelle carte bathymétrique, l'échantillonnage de l'hypolimnion s'est fait à 6,6 m : à cette profondeur, la présence des algues est moins importante et le PD relargué est ainsi moins rapidement assimilé. C'est ce qui explique pourquoi, cet été-là, on note une augmentation de PD entre l'épilimnion et l'hypolimnion.

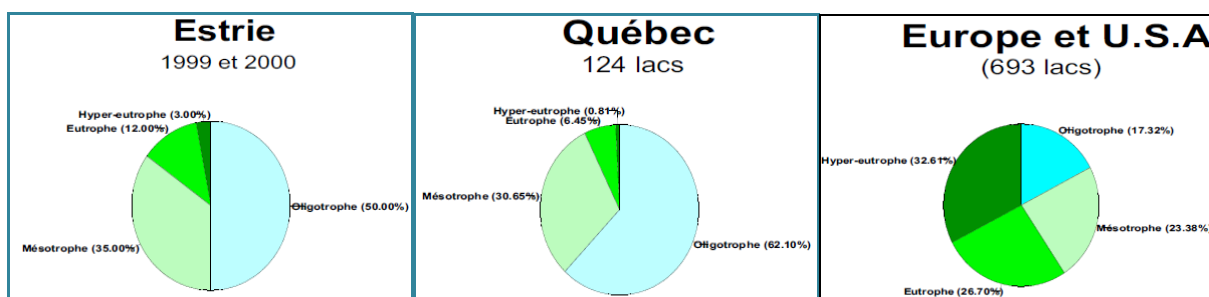
- L'augmentation de NT, de la surface vers le fond, est ici liée à l'augmentation du ND, laquelle pourrait être due au relargage d'ammoniac (NH<sub>4</sub>) à partir des sédiments, en période d'anoxie.
- Considérant les concentrations de PT dans son ensemble, dans le lac, ainsi que la classification des lacs par du MDDEP du Québec (Tableau 6), le lac Bromont aurait le statut de lac méso-eutrophe, en route vers le statut de lac eutrophe. Rappelons toutefois que la classification des lacs nécessite aussi de prendre en compte d'autres variables, par ex. la profondeur moyenne du lac, la biomasse des algues, ainsi que la transparence des lacs.

**Tableau 6 : Classes trophiques des lacs, ici présentées uniquement sur la base de la concentration en phosphore total dans les lacs**

Classe trophiques	Moyenne de Phosphore total (µg/l) *
Ultra-oligotrophe	< 4
Oligotrophe	4 - 10
Oligo - mésotrophe	7 - 13
Mésotrophe	10 - 30
Méso - eutrophe	20 - 35
Eutrophe	30 - 100
Hyper-eutrophe	> 100

\* Moyenne de la période libre de glace, i.e. pour la période durant laquelle il y a une stratification thermique de l'eau entre la surface et le fond du lac. Adapté de Ministère du développement durable, de l'environnement et des Parcs.

Sur la base de la classification trophique des lacs établie par Prairie (2008), le niveau d'eutrophisation du lac Bromont serait supérieur à 50% des lacs de l'Estrie et du Québec en général (Figure 7). Le lac Bromont refléterait plutôt le statut trophique de l'Europe et les États-Unis, où on retrouve plus de lacs mésotrophes et eutrophes qu'au Québec.



Tiré de Prairie(2008)

**Figure 7 : Classification trophique des lacs de l'Estrie, du Québec, et de l'Europe et États-Unis confondus**

**Suivant ces résultats :**

- ➔ **Le lac est relativement pauvre en nutriments en surface (épilimnion).**
- ➔ **Les concentrations en nutriments sont très élevées dans la couche profonde du lac (hypolimnion).**
- ☛ **Ceci suggère que les sédiments représentent une source importante de phosphore pour le lac. Il est donc approprié de vérifier où sont les algues dans le lac et si elles rencontrent les nutriments.**

## Où sont les cyanobactéries dans le lac ?

La Figure 8 présente la répartition de la quantité (en kg) de cyanobactéries dans tout le lac, à chaque mètre de profondeur (axe vertical) au cours de la saison libre des glaces (axe horizontal), pour les années 2007 à 2011. Ces données ont été mesurées à l'aide d'un fluoroprobe<sup>18</sup>. Plus les couleurs sont foncées, plus la quantité de cyanobactéries est importante. La bande rouge au bas des graphiques indique les périodes d'anoxie (moins de 5 % d'oxygène dans l'eau de l'hypolimnion ; en juillet 2009, bande orange : oxygène entre 5 et 5,5%). Les petits cercles pleins, au haut des graphiques, indiquent la présence des blooms en surface.

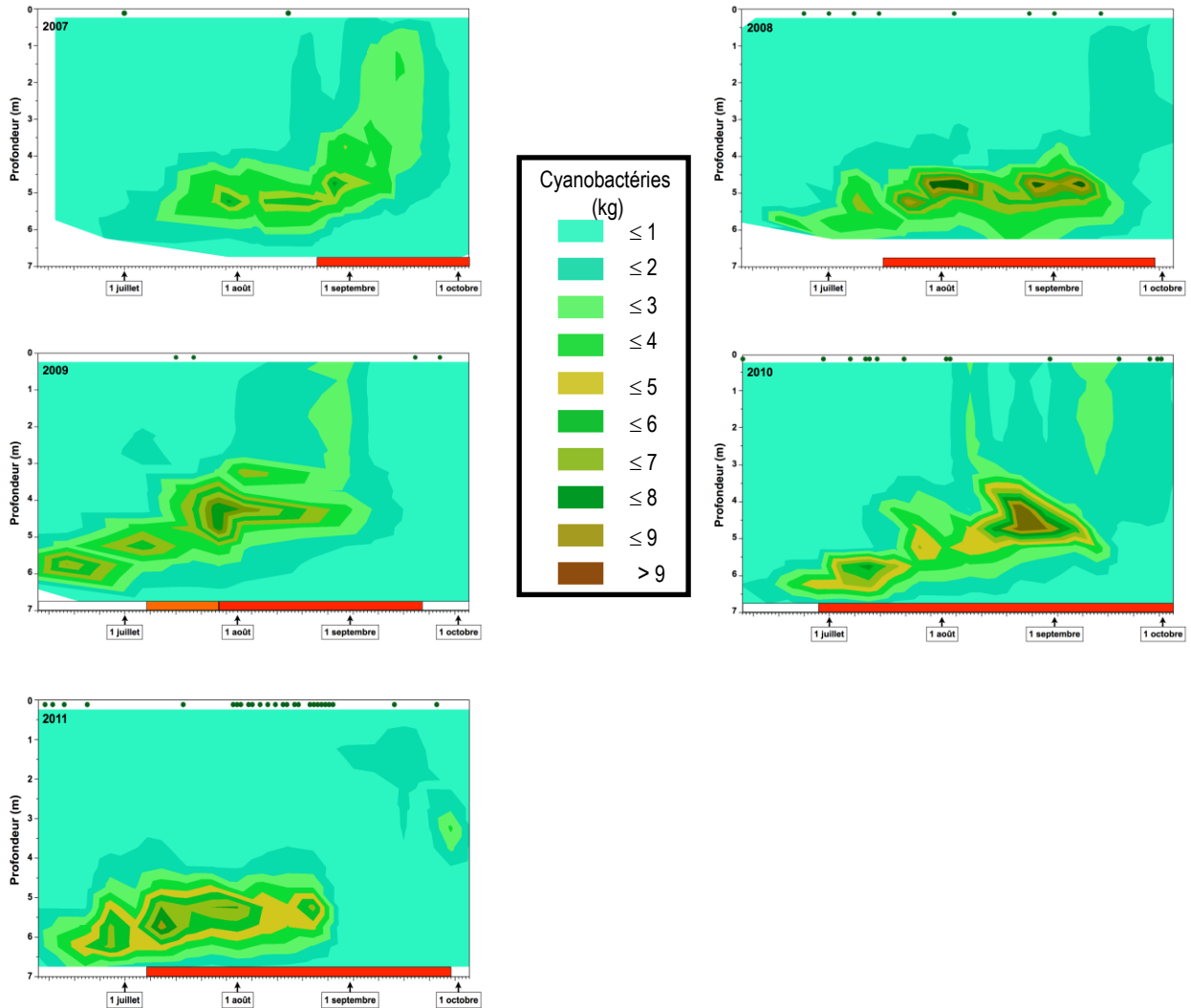


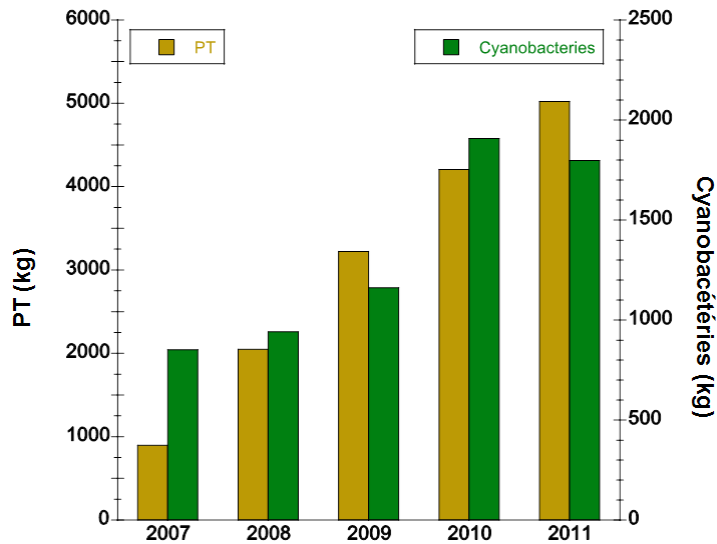
Figure 8 : Distribution spatio-temporelle de la biomasse des cyanobactéries, pour les saisons libres de glace (2007-2011)

➔ Les biomasses de cyanobactéries les plus élevées sont localisées dans le métalimnion et la partie supérieure de l'hypolimnion.

<sup>18</sup> Voir le Cahier 3

## Où et comment se fait la rencontre ..?

Les résultats précédents suggèrent que les nutriments et les algues se rencontrent surtout dans le méta-hypolimnion. C'est aussi ce que suggère la Figure 9, qui illustre la quantité de PT dans l'hypolimnion et la quantité de cyanobactéries dans le méta-hypolimnion.



**Figure 9 : Quantités de phosphore total dans l'hypolimnion (kg) et de cyanobactéries (kg) dans le méta-hypolimnion pendant les 5 saisons libres de glace (2007 à 2011)**

La Figure 9 nous fournit plusieurs informations dont, notamment :

- La quantité de phosphore total (PT) dans l'hypolimnion augmente de façon assez importante (près de 900 kg en 2007; près de 5 000 kg en 2011). Notons toutefois qu'en 2007 et 2008, l'échantillonnage s'est effectué sur la base de la carte bathymétrique disponible, à 5,7m et non au centre du lac; les années subséquentes, les échantillonnages ont été basés sur une nouvelle carte bathymétrique réalisée dans le cadre du présent programme de recherche.
- La quantité de cyanobactéries dans le méta-hypolimnion suit l'augmentation du phosphore (près de 900 kg en 2007, et 1 800 kg en 2011)

Ces résultats montrent une relation entre la quantité de phosphore au fond du lac et la croissance des algues juste au-dessus.

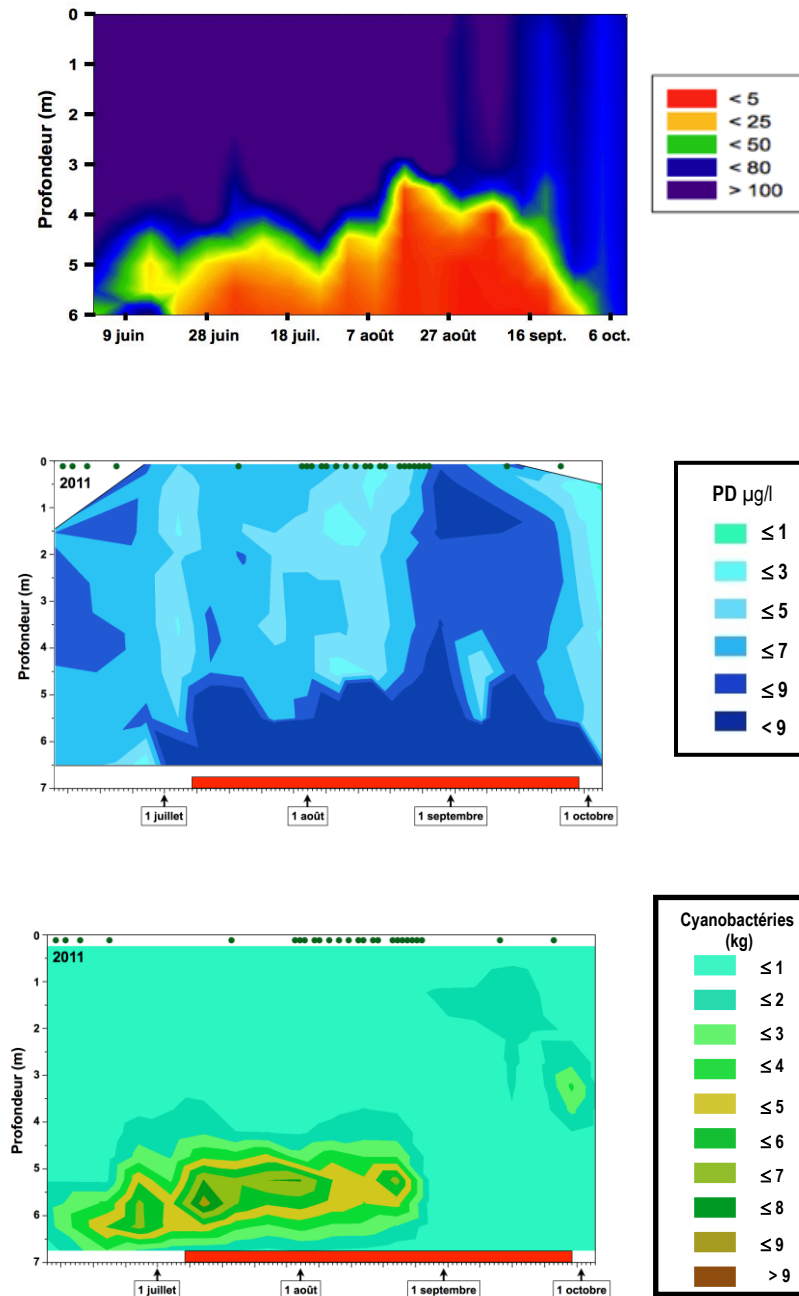
La Figure 8, présentée précédemment, nous permet aussi de constater que la croissance des cyanobactéries est plus importante à partir du mois de juillet, et que cette croissance semble s'accroître en même temps que l'anoxie au fond du lac (sauf pour 2007). Ceci suggère des liens entre l'anoxie dans le lac, le relargage de phosphore par les sédiments et la croissance des algues.

La Figure 10 expose ces relations en prenant pour exemple 2011. On y retrouve la distribution de l'oxygène dissout (%) dans la colonne d'eau, la distribution du phosphore dissout (PD) et ainsi que la distribution de la biomasse des cyanobactéries. Dans cette figure, la bande rouge au bas des graphiques indique les périodes d'anoxie et les cercles pleins au haut des graphiques indiquent la présence des blooms en surface.

Lorsqu'on compare les 3 graphiques présentés à la Figure 10, on note que :

- à mesure que le % d'oxygène diminue au fond de l'eau (couleur rouge dans le 1<sup>er</sup> graphique),
- le PD augmente (couleur bleu foncé dans le 2<sup>e</sup> graphique),
- de même que les algues (couleur verdâtre à brun dans le 3<sup>e</sup> graphique).

Signalons par ailleurs que, lors de l'épisode de relargage de phosphore dans l'hypolimnion qui a eu lieu du 8 septembre au 15 septembre, le phosphore relargué et les algues ont été transférés dans les couches intermédiaires et superficielles, en raison des brassages importants.



**Figure 10 : Distribution spatio-temporelle de l'oxygène (%), du phosphore dissout (PD) et de la biomasse des cyanobactéries dans la colonne d'eau en 2011.**

## Pourquoi les cyanobactéries se retrouvent-elles en surface, si elles croissent en profondeur ?

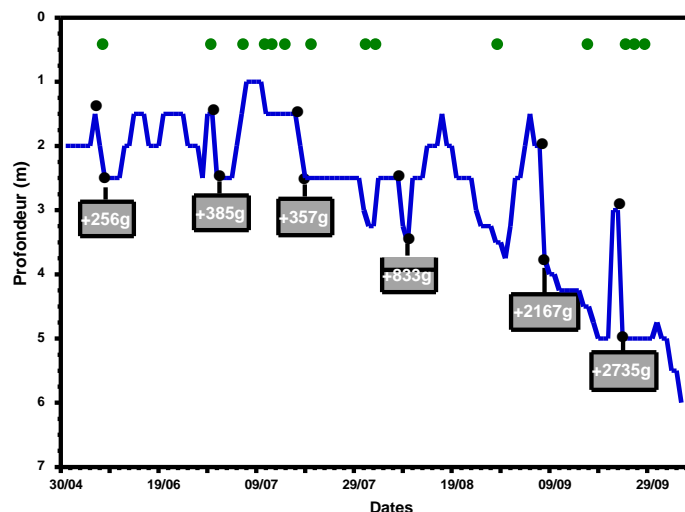
Répondre à cette question nécessite de prendre en compte les conditions météorologiques : Comment influencent-elles le brassage de l'eau au niveau de la thermocline ?

La thermocline est présente pendant la stratification d'un lac : c'est la profondeur à laquelle la température de l'eau diminue le plus rapidement. Cette zone se situe dans le métalimnion et constitue une barrière qui empêche les échanges entre l'épilimnion et l'hypolimnion. Au cours de la saison libre de glace, les forts vents et tempêtes produisent de la turbulence à la surface du lac qui peut transmettre à la thermocline, produisant des oscillations (ondes internes), c'est-à-dire un rehaussement et un abaissement de la thermocline. L'abaissement provoque l'échange entre les eaux de surface (épilimnion) et les eaux intermédiaires (métalimnion), ce qui entraîne les nutriments et les algues vers les couches supérieures de l'eau (épilimnion). On considère qu'il faut un déplacement de la thermocline d'au moins 1 mètre par jour pour qu'il y ait des effets significatifs sur l'entraînement des nutriments et des algues vers le haut. C'est par exemple ce qui s'est passé dans la période libre de glace de l'année 2010 et qu'illustre la Figure 11.

la Figure 11

Globalement, la Figure 11 présente les oscillations de fin avril à fin septembre 2010 :

- la profondeur de la thermocline au lac Bromont (ligne bleue); les points noirs sur la ligne indiquent les jours où la thermocline s'est déplacée vers le bas de plus de 1 m/jour;
- la quantité de PT entraînée de l'hypolimnion vers l'épilimnion (carrés gris) (calculée suivant Soranno et al. 1997);
- les dates d'apparition d'efflorescences de cyanobactéries (points verts au haut du graphique) observées à la surface<sup>19</sup>.



**Figure 11 : Profondeur de la thermocline, quantité de PT entraînée du métalimnion à l'épilimnion et présence d'efflorescences de cyanobactéries en surface en 2010**

<sup>19</sup> Les dates d'apparition des efflorescences étaient fournies par des membres de l'ACBVLB ou par l'équipe de recherche lors des échantillonnages; il est ainsi possible que ce relevé soit incomplet, notamment en 2009.



## PRINCIPALES CONCLUSIONS

Le Programme de recherche au lac Bromont a permis de récolter des données dans les quatre ruisseaux qui alimentent le lac, dans sa décharge et dans l'eau même du lac pendant trois années complètes. L'ajout de mesures en 2011 a aussi permis d'obtenir des données sur le lac pendant 5 saisons libres de glace (2007 – 2011).

La problématique des cyanobactéries a été abordée suivant plusieurs approches. D'une part, nous avons évalué les apports annuels (*charges*) en nutriment des ruisseaux au lac et les quantités exportées du lac par la décharge, ce qui nous a permis un calcul des bilans de nutriments sur les trois années complètes d'échantillonnage. Nous avons aussi réalisé un portrait de la distribution des nutriments et des cyanobactéries dans la colonne d'eau en période libre de glaces, et nous avons mesuré les facteurs affectant ces distributions (profils de température et d'oxygène dans le lac). Nous avons de plus mesuré les nutriments présents dans l'eau interstitielle des sédiments au centre du lac et en rives, et avons évalué le rôle des étangs artificiels (R2) dans l'enrichissement en nutriments, matières en suspension et algues pour le lac. Finalement, nous avons réalisé une analyse comparative des approches méthodologiques d'échantillonnage (suivant les sites d'échantillonnage en ruisseaux; suivant des échantillonnages bimensuels et en continu) et nous nous sommes penchés sur la circulation de l'eau entre le ruisseau Wright et la décharge du lac.

De ces données ont été tirées beaucoup d'informations, qui n'ont pas toutes été reprises ici mais seront utiles dans la poursuite du suivi de la qualité du lac Bromont et de ses ruisseaux. Par ailleurs, une limite non négligeable à cette étude est d'avoir probablement sous-estimé les apports des ruisseaux en période de précipitations.

Les **principales conclusions du Programme de recherche au lac Bromont** sont :

- ☛ Les résultats sur les apports des ruisseaux au lac suggèrent que le type d'occupation du territoire et les pratiques en usage dans le bassin versant du lac Bromont (travaux liés à l'urbanisation, entretien des berges, vidange des étangs artificiels, déboisement, travaux d'aménagement des pentes, pratiques agricoles, etc.) ont un effet certain et non négligeable sur les apports en nutriments des ruisseaux au lac, surtout considérant l'importance de pentes déboisées, et donc considérées sensibles à l'érosion, sur le territoire (plus de 68 % : RAPPEL 2008).

Ainsi, les apports en nutriments du ruisseau Wright représentent plus de 80 % des apports totaux au lac; ceux du ruisseau Petit Galop en représentent entre 5 et 14 %. Par ailleurs, les rives du lac, des ruisseaux et des étangs, ainsi que la vidange des étangs, représentent aussi des apports de nutriments au lac.

- ☛ Par contre, le calcul des bilans des nutriments sous-estime probablement les apports de certains ruisseaux et leur exportation par la décharge; en ce sens, les résultats ne permettent pas de confirmer ou d'infirmer de façon formelle si les ruisseaux représentent aujourd'hui une source importante de nutriments pour les cyanobactéries, à court ou moyen terme.

- ☛ TOUTEFOIS, les résultats sur la distribution des nutriments et des cyanobactéries dans le lac suggèrent fortement que les sédiments représentent une source importante de phosphore pour les algues, et que les nutriments et les cyanobactéries se rencontrent principalement dans le méta-hypolimnion.



## RECOMMANDATIONS



Photographie de Claire Mailhot prise lors de la formation sur le suivi de la qualité de l'eau du lac Bromont, donnée le 26 juin 2012; de gauche à droite : Anne Joncas <sup>a</sup>, Dolores Planas <sup>b</sup>, Jean-François Vachon <sup>c</sup>, Éric Jalbert <sup>c</sup>, Serge Paquet <sup>b</sup>, Jean-François Martel <sup>d</sup> et Yves Gosselin <sup>a</sup>.

<sup>a</sup> Action conservation du bassin versant du lac Bromont; <sup>b</sup> Professeures, Département des Sciences biologiques, UQAM; <sup>c</sup> ville de Bromont; <sup>d</sup> RAPPEL.

L'étude effectuée sur le lac Bromont de 2007 à 2011 a montré que les sources externes de nutriments ne peuvent, à elles seules, expliquer la quantité des cyanobactéries qui se développent dans le lac aux couches intermédiaires et profondes, non plus que la présence des efflorescences des cyanobactéries à la surface du lac. En effet, les résultats sur la distribution des nutriments et des cyanobactéries démontrent les liens étroits entre la croissance de ces algues et les nutriments relargués à partir des sédiments. Ces résultats suggèrent que la principale source qui supporte cette prolifération est le relargage de phosphore provenant des sédiments, lors de la diminution ou disparition de l'oxygène (anoxie) en eau profonde.

Toutefois, il importe de ne pas négliger les apports externes de nutriments et de développer une approche pour les contrôler. Prenons pour exemple les apports du ruisseau Wright (R4), qui contribue à plus de 80 % des apports de nutriments au lac. Les autres ruisseaux représentent aussi des apports significatifs de nutriments au lac et, dans certains cas, les fortes pentes dans leur bassin versant incitent à un contrôle de l'érosion.

Les présentes recommandations sont basées sur ces constats. Par ailleurs, le rapport du RAPPEL (2008) comporte aussi plusieurs recommandations, auxquelles nous souscrivons, et dont certaines peuvent concorder avec les recommandations présentées.

### ➤ **Pour le contrôle du relargage interne**

Il existe plusieurs modes de contrôle du relargage de phosphore par les sédiments des lacs. Nous présentons ici un bref résumé des plus fréquentes et de celle qui nous apparaît la plus applicable au lac Bromont.

(1) **L'extraction des sédiments** du lac, qui consiste à extraire les sédiments riches en P du fond du lac. C'est une opération qui s'effectue en général par curage, avec des engins à racler, après vidage total ou partiel de l'eau du lac, ou par pompage. Ces techniques, qui permettent l'extraction d'un grand volume de sédiments, qui doivent être effectuée avec précaution. En effet, elles peuvent entraîner un bouleversement majeur au niveau de l'interface eau-sédiments, où se trouvent de nombreux microorganismes responsables de l'autoépuration du lac et une abondante faune que contribué à l'alimentation des poissons.

(2) **L'aération**, par la circulation artificielle de l'eau des lacs ou **l'oxygénation** des eaux profondes, permet d'éviter l'anoxie au fond du lac. Mais, ces procédures ne sont pas recommandées pour les lacs qui, comme le lac Bromont, ont peu de nutriments dans les eaux de surface. Le brassage de la colonne d'eau ou la remontée des bulles de gaz lors de l'oxygénation pourrait enrichir en phosphore les couches supérieures du lac et stimuler la croissance des cyanobactéries, déjà présentes mais en petites quantités actuellement. De plus, des études récentes dans des lacs ontariens ont montré que le brassage artificiel du lac intensifie les efflorescences d'algues. En effet, ce traitement remet en suspension les formes dormantes des cyanobactéries qui se trouvent sur et dans les couches superficielles des sédiments.

(3) **L'ajout de composés chimiques** qui piègent le phosphore présent dans l'eau du lac et le stabilisent dans les sédiments a aussi été utilisé. Les produits chimiques traditionnellement utilisés

sont les sels d'aluminium (l'alun, sulfate d'aluminium) ou de fer (chlorure ferrique). Ces produits réagissent avec le phosphore dissous ou particulaire en formant des précipités qui sédimentent au fond. Cependant, les précipités ne sont pas toujours stables, acidifient l'eau et ils peuvent être toxiques, par exemple l'alun qui, à bas pH, favorise la formation de composés toxiques. Les précipités de sels de fer peuvent se dissoudre et libérer le phosphore, lorsque l'oxygène diminue au fond du lac.

Un nouveau produit est apparu récemment, le **Phoslock**. Ce produit est un composé formé d'une argile, la bentonite, auquel on fixe chimiquement un métal, le lanthane. Ce métal a une grande affinité pour le phosphore, qu'il capte même en conditions anoxiques et/ou quand il est déposé sur le fond du lac (en 1 jour pour les lacs peu profonds). Il capte aussi le phosphore relargué par les sédiments. Le lanthane n'est pas toxique pour les organismes aquatiques ni pour les humains. Il est même utilisé comme élément actif d'un médicament pour le contrôle de l'excès de phosphore dans le sang des personnes aux prises avec des problèmes rénaux. Largement utilisé en Australie, où le produit a été développé, en Nouvelle Zélande et dans divers pays d'Europe et en Chine, des essais ont récemment débuté au Canada (Ontario) et aux États-Unis (Californie) (voir brochure annexe).

### **C'EST CETTE DERNIÈRE APPROCHE QUE NOUS RECOMMANDONS POUR LE CONTRÔLE DU RELARGAGE DE NUTRIMENTS PAR LES SÉDIMENTS AU LAC BROMONT**

#### **➤ Pour le contrôle des apports externes**

Tel que dit précédemment, le type d'occupation du territoire et les pratiques en usage dans le bassin versant du lac Bromont ont probablement un effet non négligeable sur les apports en nutriments des ruisseaux au lac. Ainsi, en parallèle au contrôle du relargage interne, il faut s'assurer de réduire les apports externes de phosphore au lac, pour éviter son accumulation dans les sédiments.

**En ce sens, nous proposons** un aménagement durable et un contrôle serré des activités sur le bassin versant du lac Bromont, que ces activités soient touristiques, commerciales, industrielles ou privées, ou qu'elles soient liées à des travaux municipaux, surtout lorsqu'elles ont le potentiel d'affecter les eaux de ruissellement ou de canalisation.

#### **Des contrôles, des mesures, des suivis et des actions sont ainsi nécessaires:**

- ❖ Compte tenu de la contribution du ruisseau Wright dans les apports en nutriments au lac (plus de 80%),
- ❖ Compte tenu de la contribution du ruisseau Petit Galop (entre 5 et 14 %) dans les apports en nutriments au lac, ainsi que de l'éventualité d'un développement urbain dans le bassin versant de ce ruisseau;
- ❖ Compte tenu du bassin versant du ruisseau des Cervidés (R3), qui comporte de fortes pentes, des infrastructures de ski et des étangs artificiels, et pourra subir d'éventuels développements touristiques et urbains dans le bassin versant de ce ruisseau;

- ⊗ Compte tenu du potentiel de risques pour la qualité de l'eau du lac que représentent les étangs artificiels, notamment lors de leur nettoyage;
- ⊗ Compte tenu de la contribution des rives dans les apports en nutriments au lac.

***Nos suggestions portent sur différents aspects :***

*APPROCHES ET FAÇONS DE FAIRE À DÉVELOPPER*

- ✓ Développer une approche d'urbanisme durable et respectueux de son environnement naturel
- ✓ Caractériser les différents types d'occupation du territoire, dans les bassins versants des ruisseaux
- ✓ Améliorer la compréhension du milieu naturel sur le territoire
- ✓ Développer et planifier une stratégie de conservation des milieux naturels dans le bassin versant du lac
- ✓ Donner suite aux activités de concertations développées dans le cadre du projet réalisé avec Mathieu Charland-Faucher, ainsi qu'au Plan d'action élaboré pour le lac Bromont dans le cadre de ce projet

*RÈGLEMENTATION :*

- ✓ Développer ou maintenir les mesures et règlements relatifs au contrôle des apports externes de nutriments au lac. Envisager des amendes pour les récidivistes.

Objets de réglementation possibles :

- travaux liés à l'urbanisation,
  - travaux liés à l'entretien des chemins, des fossés routiers, des talus, de ponceaux, autres
  - vidange des étangs artificiels,
  - déboisement,
  - travaux d'aménagement des pentes,
  - pratiques agricoles,
  - pratiques des riverains sur leur terrain,
  - contrôle de l'érosion,
  - gestion des eaux de surface,
  - rejets d'eaux usées, conformité des installations septiques et des champs d'épuration
- ✓ Établir des mesures et règlements de maintien et de protection des milieux humides dans le bassin versant du lac, dont notamment à l'embouchure du ruisseau Wright, compte tenu des apports de ce dernier;
  - ✓ Dans le cas des étangs artificiels, mettre en place une réglementation sur :
    - l'aménagement de nouveaux étangs et l'encadrement des travaux ;

- la fréquence les façons adéquates d'effectuer la vidange et le curage des étangs;
- les formes adéquates de traitements des sédiments des étangs.

#### *MESURES DE SUIVI*

- ✓ Assurer le suivi du nombre et de la qualité des installations septiques dans les bassins versants des ruisseaux
- ✓ Maintenir le suivi de la qualité de l'eau du lac, sur la base du protocole développé en 2012 avec l'UQAM.
- ✓ Maintenir le suivi des apports en nutriments des ruisseaux au lac par les ruisseaux, sur la base du protocole développé en 2012 avec l'UQAM.
- ✓ Évaluer régulièrement avec l'échantillonneur en continu les apports des ruisseaux au lac, ainsi que les exportations de nutriments par la décharge du lac, pour s'assurer d'obtenir un portrait réaliste :
  - des apports en temps de pluie, notamment pour les secteurs plus montagneux du bassin versant, plus exposés à l'érosion des sols
  - du bilan des nutriments

#### *RESPONSABILITÉS CITOYENNES*

- ✓ Le long des rives du lac, des ruisseaux et des étangs, maintenir la bande riveraine (10 – 15 m, pour être efficace) là où elle est présente, et la développer là où elle est insuffisante (planter des herbacées, arbustes, arbres).
- ✓ Préserver le couvert végétal et éviter le déboisement des bassins versants, surtout en présence de pentes.
- ✓ Favoriser un entretien écologique des plates-bandes, des pelouses et des jardins, c'est-à-dire sans l'usage d'engrais chimiques ni de pesticides, mais plutôt du compost et des produits répulsifs naturels; favoriser la biodiversité des plantes.
- ✓ Pour les étangs artificiels, planter des plantes épuratrices de nutriments en bordure des étangs. Les nutriments présents (phosphore, azote, dérivés des lessives) seront assimilés par les plantes pour leur croissance. Les plantes les plus efficaces sont les joncs et les scirpes

## BIBLIOGRAPHIE

### Documents cités <sup>20</sup>

- Dillon, P.J. & H.E. Evans. 1993. *A comparison of phosphorus retention in lakes determined from mass balance and sediment core calculations*. Water Research 27 (4) : 659-668.
- GRIL. 2009. Les cyanobactéries dans les lacs québécois un portrait de la situation selon les chercheurs du GRIL . Mémoire présentée à la Commission sur la situation des lacs au Québec en regard des cyanobactéries. Octobre 2009, pp 10.
- Kotak, B.G., Lam, A.K.-Y., Prepas, E.E., and Hrudey, S.E. 2000. *Role of chemical and physical variables in regulating microcystin-LR concentration in phytoplankton of eutrophic lakes*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 57: 1584–1593.
- Ministère du développement durable ... : Le Réseau de surveillance volontaire des lacs
- Organisation mondiale de la santé. 1999. Toxic Cyanobacteries in Water : A guide of their public health consequences, monitoring and management . Éd. Ingrid Chorus and Jamie Bartram, Spon, an imprint of Routledge, London.
- Orihel, D.M., Bird, D.F., Brylinsky, M., Chen, H., Donald, D.B., Huang, D.Y., Giani, A., Kinniburgh, D., Kling, H., Kotak, B.G., Leavitt, P.R., Nielsen, C.C., Sharon Reedyk, S., Rooney, R.C., Watson, S.B., Ron W. Zurawell, R.W., Rolf D. Vinebrooke, R.D. 2012. *High microcystin concentrations occur only at low nitrogen-to-phosphorus ratios in nutrient-rich Canadian lakes*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 69 : 1457-1462.
- Prairie, Yves. 2008, Utilisation des modèles d'eutrophisation pour une vigilance ciblée des cyanobactéries dans nos plans d'eau. Présentation lors du Colloque sur les cyanobactéries de l'Institut Hydro-Québec en environnement, développement et société, 24 janvier 2008, Université Laval, Québec.
- RAPPEL, 2008, Diagnostic environnemental global du bassin versant du lac Bromont. Réd. D. Poirier, M. Dubois, Sherbrooke, 98 p. (incluant 3 annexes)
- Schindler DW and JR Vallentyne. 2008. The Algal Bowl: Overfertilization of the World's Freshwaters and Estuaries. University of Alberta Press, Edmonton.
- Soranno, P. A., S.R. Carpenter, and R.C. Lathrop. 1997. *Internal phosphorus loading in Lake Mendota: response to external loads and weather*. Can J. Fish. Aquat Sci. 54: 1883–1893.
- Vallentyne, J.R. 1974. *L'homme, le lacs et la prolifération des algues*. Ministère des Pêches et de l'Environnement. Direction de l'information et des publications scientifiques. Ottawa.
- Wetzel, R. G. 2001. *Limnology*, 3<sup>e</sup> édition. Academic Press, San Diego.

<sup>20</sup> Les références dont les titres sont soulignés donnent directement accès au document, par un lien Internet.

## Mémoires de maîtrise de recherche associés au lac Bromont

- Charland-Faucher, Mathieu. 2010, Agir ensemble : Itinéraire d'un projet concerté au lac Bromont, Mémoire de maîtrise en Sciences de l'environnement, UQAM, novembre 2010.
- Jourdain, Myriam. 2010, Les effets des variables environnementales sur le recrutement des cyanobactéries et des akinètes, Mémoire de maîtrise en Sciences biologiques, UQAM, avril 2010.
- McMeekin, Kathleen. 2009, Le bilan de phosphore du lac Bromont : Vers l'identification des activités humaines causant les blooms de cyanobactéries, Mémoire de maîtrise en Sciences de l'environnement, UQAM, juillet 2009
- Paola-Andrea Cabal Gomez. (hiver 2014). *Distribution spatio-temporelle des cyanobactéries en fonction de la stabilité thermique d'un petit lac*. Mémoire de maîtrise en Sc. biologiques, UQAM

### À venir ...

- Zuzana Hrivnakova. (en rédaction). *Comparaison du recrutement et de la croissance des cyanobactéries de deux lacs comportant différentes charges externes en phosphore*. Mémoire de maîtrise en Sc. biologiques, UQAM.

## Rapports de stages universitaires

- Campech, Estelle. 2007, *Cartographie de l'occupation des sols du bassin versant du Lac Bromont pour l'année 2001*. Rapport d'un stage dans le cadre d'un diplôme d'ingénieur équivalent au Master, École Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse (ENSAT), France.
- Caumont, Delphine. 2010. *Causes du développement des blooms de cyanobactéries nuisibles dans l'Estrée: l'importance des apports provenant de la villégiature*. DUT Génie Biologique. U. de Nantes, France
- Favreau, Yvonnick. 2011. *Origines des nutriments responsables du développement des blooms de cyanobactéries nuisibles dans l'Estrée*. Master M2, Mention Écologie et Environnement, spécialité Gestion des habitats et des bassins versants. Sciences de la vie et l'environnement. Université des Rennes 1 (France).
- Guyot, Clément. 2008. *Rôle des petits étangs comme bassin de sédimentation du phosphore et réservoir à Cyanobactéries des ruisseaux du bassin versant du lac Bromont*. Rapport de stage de Maîtrise Professionnel en Sc. de l'Environnement, Institut de Sciences de l'Environnement, UQAM.
- Hrivnakova, Zuzana. 2008. *Écophysiologie des cyanobactéries au lac Bromont*. Rapport de stage recherche, Baccalauréat en Biologie, UQAM
- Pâez Michel, Lizette, A.. 2008. *Desarrollo de estructuras especializadas en Nostocales (cianobacterias filamentosas) con respecto a nutrientes (P y N) en el lago Bromont, Quèbec*. Rapport de stage de fin de licence, Ciências Biológicas Y Ambientales. Universidad De Guadalajara. Mexico.

Müller, Talita. 2010. *Causes du développement des blooms de cyanobactéries nuisibles dans l'Estrie: l'importance des apports du recrutement littoral des sites avec des apports d'eau résiduels*. DUT Génie Biologique. U. de Nantes, France.

Winiarz, Andrea. 2009. *Le recrutement de cyanobactéries du lac Bromont: test de validité des trappes de recrutement*. Rapport de stage recherche, Baccalauréat en Biologie, UQAM

### **Rapport de stage postdoctoral**

Alexandrine Pannard. *Études sur le lien entre les efflorescences de cyanobactéries et le brassage de l'eau*. (2007-2009)

### **Autres documents sur le lac Bromont**

Charland-Faucher, Mathieu. 2009. Un plan d'action pour le lac Bromont, plan d'action tel qu'élaboré par les participants aux ateliers de concertation du printemps 2009. Plan d'action élaboré suite à la recherche *Évaluation des acquis sociopolitiques, suite aux actions entreprises dans le dossier des cyanobactéries au lac Bromont*.

## **Cahiers présentant, année par année, les résultats du Programme de recherches au lac Bromont**

- Dolors Planas, Claire Vanier et Estelle Lavirotte. 2014. Le programme de recherche sur les cyanobactéries au lac Bromont \_ Cahier 1 : Le lac Bromont et les objectifs de recherche du programme. Service aux collectivités de l'UQAM et Action conservation du bassin versant du lac Bromont – ISBN 978-2-923773-07-0
- Dolors Planas, Claire Vanier et Estelle Lavirotte. 2014. Le programme de recherche sur les cyanobactéries au lac Bromont \_ Cahier 2 : Connaissances et concepts. Service aux collectivités de l'UQAM et Action conservation du bassin versant du lac Bromont – ISBN 978-2-923773-08-7.
- Dolors Planas, Claire Vanier et Estelle Lavirotte. 2014. Le programme de recherche sur les cyanobactéries au lac Bromont \_ Cahier 3 : Méthodologie générale utilisée au lac Bromont. Service aux collectivités de l'UQAM et Action conservation du bassin versant du lac Bromont – ISBN 978-2-923773-09-4.
- Dolors Planas, Claire Vanier et Estelle Lavirotte. 2014. Le programme de recherche sur les cyanobactéries au lac Bromont \_ Cahier 4 : Étude en 2007-2008. Service aux collectivités de l'UQAM et Action conservation du bassin versant du lac Bromont – ISBN 978-2-923773-10-0.
- Dolors Planas, Claire Vanier et Estelle Lavirotte. 2014. Le programme de recherche sur les cyanobactéries au lac Bromont \_ Cahier 5 : Étude en 2008-2009. Service aux collectivités de l'UQAM et Action conservation du bassin versant du lac Bromont – ISBN 978-2-923773-11-7.
- Dolors Planas, Claire Vanier et Estelle Lavirotte. 2014. Le programme de recherche sur les cyanobactéries au lac Bromont \_ Cahier 6 : Étude en 2009-2010. Service aux collectivités de l'UQAM et Action conservation du bassin versant du lac Bromont – ISBN 978-2-923773-12-4.
- Dolors Planas, Claire Vanier et Estelle Lavirotte. 2014. Le programme de recherche sur les cyanobactéries au lac Bromont \_ Cahier 7 : Étude pendant la période libre de glace de 2010. Service aux collectivités de l'UQAM et Action conservation du bassin versant du lac Bromont – ISBN 978-2-923773-13-1.
- Dolors Planas, Claire Vanier et Estelle Lavirotte. 2014. Le programme de recherche sur les cyanobactéries au lac Bromont \_ Cahier 8 : Étude pendant la période libre de glace de 2011. Service aux collectivités de l'UQAM et Action conservation du bassin versant du lac Bromont – ISBN 978-2-923773-14-8.
- Dolors Planas et Claire Vanier. 2014. Le programme de recherche sur les cyanobactéries au lac Bromont \_ Cahier 9 : Synthèse, conclusions et recommandations. Service aux collectivités de l'UQAM et Action conservation du bassin versant du lac Bromont – ISBN 978-2-923773-15-5.

## ANNEXES

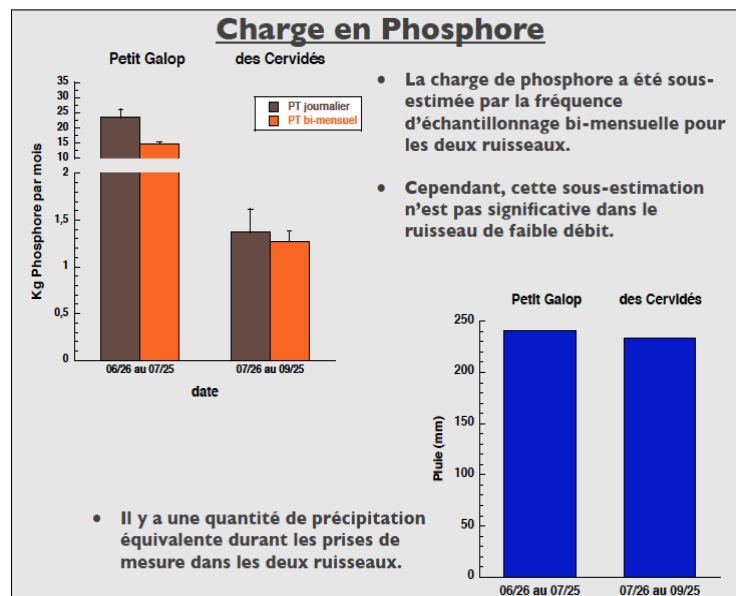
### Quantités annuelles relatives de phosphore et d'azote apportés par chaque ruisseau au lac Bromont

Tableau des quantités annuelles relatives (%) de phosphore et d'azote apportés par chaque ruisseau, cours des 3 années à l'étude

	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4
	PT (%)				PD (%)			
2007-08	<b>7,3</b>	3,5	6,5	<u>82,7</u>	<b>13,8</b>	4,7	4,7	<u>76,9</u>
2008-09	3,4	<b>3,9</b>	3,0	<u>89,6</u>	<b>5,1</b>	2,4	2,2	<u>90,4</u>
2009-10	<b>9,6</b>	2,8	6,7	<u>80,9</u>	<b>12,5</b>	2,6	5,3	<u>79,6</u>
	NT (%)				ND (%)			
2007-08	<b>10,0</b>	5,2	6,7	<u>78,1</u>	<b>10,4</b>	5,0	6,6	<u>78,0</u>
2008-09	<b>5,3</b>	3,8	3,7	<u>87,3</u>	<b>5,4</b>	3,5	3,5	<u>87,6</u>
2009-10	<b>10,5</b>	3,9	6,2	<u>79,4</u>	<b>10,7</b>	4,2	4,9	<u>80,2</u>

### Apports en phosphore mesurés en continu et aux deux semaines dans les ruisseaux Petit Galop et des Cervidés

Comparaison des apports en phosphore mesurés en continu (colonne brune) et aux deux semaines (colonne orange) dans les ruisseaux Petit Galop (R1) et des Cervidés (R3) et quantités de précipitation pour les périodes de la comparaison



Paquet et al. 2010

## Synthèse des résultats pertinents au cours des 5 étés du Programme de recherche au Lac Bromont

Température dans l'air, température et concentrations en phosphore dissous (PD) dans les trois couches d'eau du lac (épilimnion, métalimnion, hypolimnion), durée de stratification et d'anoxie, et charge en phosphore total (PT) au cours des 5 étés de suivi du Lac Bromont

		2007	2008	2009	2010	2011	2012
T ° air (°C; minimum-maximum)	Été	9.00 - 26.80	10.00 - 24.80	10.50 - 26.30	10.80 - 30.50	7.80 - 28.10	9.42 - 27.66
	Épilimnion	17.51 - 27.16	17.86 - 26.90	17.16 - 26.96	17.15 - 29.34	16.27 - 26.73	17.64 - 27.55
T ° eau (°C; minimum-maximum)	Métalimnion	12.35 - 25.72	10.78 - 23.79	13.04 - 21.12	10.75 - 23.69	10.08 - 26.34	10.66 - 24.52
	Hypolimnion	11.37 - 16.17	9.29 - 13.43	12.65 - 13.79	9.97 - 13.92	9.26 - 14.50	9.77 - 13.84
	Épilimnion	3.22 - 14.05	1.95 - 14.12	4.67 - 11.10	0.80 - 7.88	1.09 - 10.19	---
PD (µg/l; minimum-maximum)	Métalimnion	---	2.52 - 16.91	3.61 - 10.67	1.02 - 16.29	1.73 - 10.83	---
	Hypolimnion	4.91 - 7.38	1.76 - 16.41	ND - 104.76	ND - 65.17	1.51 - 122.39	---
	Épilimnion	---	---	---	---	---	---
Stratification (jour)		114	98	117	127	134	139
Anoxie (jour)		81	76	56	126	85	---
Charge en PT (Kg)	Éterne	714	432	346	222	---	---
	Interne	1417	2358	2391	4273	---	---

## Quelques extraits du rapport de l'étude réalisée par le RAPPEL (2008)

### Principaux constats de l'étude

Le lac Bromont se situe sur le territoire de la ville de Bromont, tout juste au sud des installations récréotouristiques de Ski Bromont. Alimenté par 4 principaux cours d'eau, le lac draine un bassin versant de plus de 24 km<sup>2</sup> où se déroulent diverses activités pouvant engendrer une pression considérable sur la santé du lac et la qualité de l'eau.

Certains secteurs, comme la partie nord du bassin versant immédiat, sont considérés sensibles à l'érosion en raison de la pente du territoire. La préservation des bandes riveraines et la conservation du couvert végétal dans ces secteurs sont donc d'autant plus nécessaires pour protéger le sol contre l'érosion. Il faut également porter une attention particulière aux activités humaines telles l'agriculture, la construction et la voirie routière.

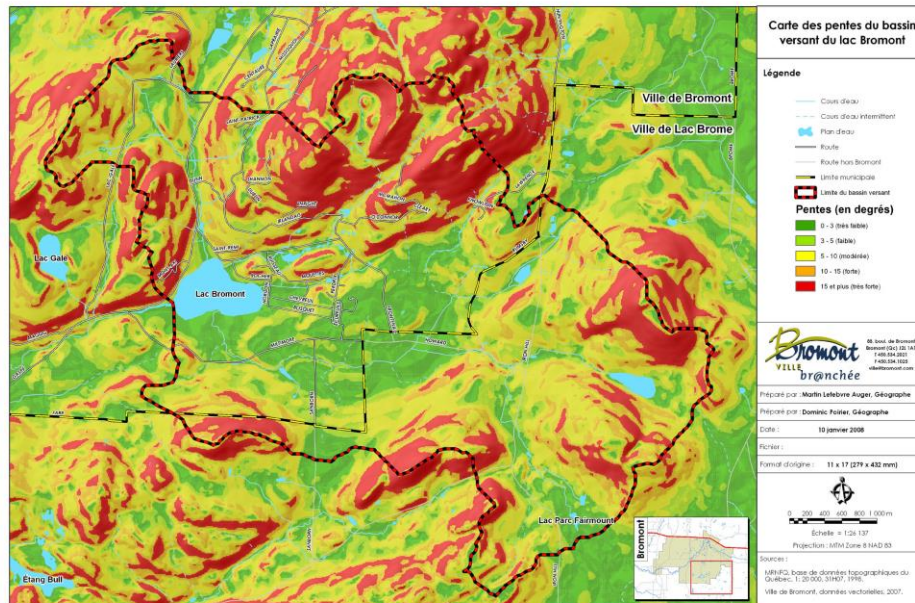
De plus, le bassin versant immédiat est majoritairement forestier. Cependant, on y retrouve d'importantes activités agricoles, résidentielles et récréotouristiques (pistes de ski, camping et plages). Ces activités peuvent engendrer différentes sources de sédiments et de nutriments. Les principales problématiques rencontrées sur le territoire sont :

- ◆ Le déboisement dans la bande riveraine;
  - ◆ L'important déboisement dans certains secteurs de fortes pentes (sous-bassin des installations de Ski Bromont);
  - ◆ La conformité des installations septiques;
  - ◆ La réalisation d'importants travaux de construction et d'aménagement apportant une charge considérable de sédiments au lac;
  - ◆ L'aménagement de bassins ornementaux dépourvus de bandes riveraines;
  - ◆ La mise en place de digues artificielles causant des problèmes de gestion des débits d'eau;
  - ◆ L'accès du bétail au cours d'eau (particulièrement le tributaire 4);
  - ◆ L'érosion des chemins, des fossés routiers et des talus des ponceaux;
  - ◆ L'érosion de certaines portions de rives;
  - ◆ La culture de certains champs jusqu'aux abords des cours d'eau;
  - ◆ L'accumulation de débris ligneux entravant le passage de l'eau.
-

## Topographie du bassin versant du lac Bromont

Le lac Bromont, anciennement connu sous le nom d'étang Brome ou de *Brome Pond*, se situe au sud-ouest du mont Brome et est enclavé au milieu du mont Joie, du mont Gale, du mont Brunelle et de la colline Chandler.

### Topographie du bassin versant du lac Bromont



En ce qui concerne les pentes du bassin versant, les zones sensibles sont celles supérieures à 5° (environ 9 %). La classification présentée au tableau 2 est significative principalement lorsque les sols sont mis à nu par différentes activités (dévégétalisation pour l'implantation d'infrastructures routières ou récréotouristiques, de bâtiments et d'activités agricoles). C'est à ce moment que la sensibilité à l'érosion liée à l'inclinaison de la pente se manifeste. Lorsque le sol n'est pas mis à nu, la vulnérabilité à l'érosion se produit sur des pentes plus fortes. Ainsi, en foresterie, les pentes sont considérées fortes à environ 16° (30 %) puisque le sol est normalement gardé intact et le tapis végétal est conservé. Il importe également de mentionner que le type de dépôts de surface et la longueur de la pente ont également une grande incidence sur les risques d'érosion (Provencher *et al.*, 1979).

Dans le cas présent, une forte proportion du territoire, soit plus de 68 %, comporte des pentes qui peuvent être considérées comme sensibles à l'érosion en fonction de l'inclinaison de la pente. Ces secteurs abondent près des monts situés au nord du lac et au niveau des collines servant de limites au sud et à l'est du bassin versant (Figure 5 du rapport).

**Photographie de la page endos : @Pierre Dunnigan, 2011**



