

## **Calcul de la capacité de support en phosphore des lacs : où en sommes-nous?**

### **GRIL – Groupe de recherche interuniversitaire en limnologie et en environnement aquatique**

Ce regroupement stratégique (subventionné par le Fonds québécois de la recherche sur la nature et les technologies) réunit 28 professeurs-chercheurs et une centaine d'étudiants chercheurs de cinq universités québécoises : Université du Québec à Montréal, Université de Montréal, Université du Québec à Trois-Rivières, Université McGill et l'Institut national de la recherche scientifique (Centre Eau, Terre et Environnement). Les membres du GRIL ont tous à cœur une meilleure compréhension de nos environnements aquatiques.

### **Ont participé à la révision du présent document :**

Stéphane Campeau Section de géographie, Université du Québec à Trois-Rivières  
Richard Carignan Département de sciences biologiques, Université de Montréal  
Yves Prairie Département des Sciences biologiques, Université du Québec à Montréal

Louis Roy Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère du  
Développement durable, de l'Environnement et des Parcs

### **Renseignements:**

Sonya Lévesque, M. Sc., agente de liaison scientifique du GRIL  
En remplacement de Marie-Andrée Fallu, Ph.D., pour l'année 2009  
Tél. : 819-376-5011 poste 3671  
Cel. : 514-608-9063  
[marie-andree.fallu@uqtr.ca](mailto:marie-andree.fallu@uqtr.ca)  
[www.gril-limnologie.ca](http://www.gril-limnologie.ca)

## Calcul de la capacité de support en phosphore des lacs : où en sommes-nous?

La pression grandissante et cumulative des activités humaines sur les bassins versants s'est traduite au cours des dernières années par une augmentation des apports en nutriments normalement présents en quantité limitée dans l'eau, en particulier le phosphore, un **élément limitant** (cette augmentation des apports en nutriments est désignée par le mot eutrophisation). Une augmentation excessive de ce nutriment favorise les floraisons de cyanobactéries (algues bleues – voir le document cyanobactéries pour plus d'informations à ce sujet) et une augmentation de la croissance des végétaux en général. Les cyanobactéries ont toujours été présentes dans les lacs. C'est la surabondance de certaines espèces nuisibles qui est symptomatique d'un enrichissement non souhaité par les nutriments et qui peut affecter les usages des plans d'eau concernés. Par leur aspect spectaculaire et leur danger potentiel pour la santé publique, les épisodes de cyanobactéries ont mené à une prise de conscience des impacts des activités humaines sur la qualité de l'eau et l'équilibre des écosystèmes aquatiques. Or, tenter de faire cesser tout développement autour des plans d'eau et dans leur bassin versant est irréaliste. La solution réside dans une gestion appropriée des activités humaines et de leurs impacts en termes d'apports en phosphore. C'est dans ce contexte qu'a été développée la modélisation de l'eutrophisation et des apports en phosphore dont le calcul de la capacité de support est une application.

### Qu'est-ce que le calcul de la capacité de support en phosphore ?

Le calcul de la capacité de support en phosphore des lacs permet, en théorie, d'estimer le degré de développement humain pouvant prendre place dans un bassin versant sans mettre en péril la qualité de l'eau du lac récepteur. Concrètement, la capacité de support est définie comme la quantité de phosphore qu'un lac peut recevoir sans engendrer d'effets indésirables. En utilisant des modèles appropriés, il devient possible de détailler et de calculer les concentrations de phosphore observées dans les lacs. Ces outils nous donnent la possibilité d'estimer la concentration naturelle, c'est-à-dire avant la présence humaine, et d'évaluer l'importance des apports en phosphore provenant de l'ensemble des activités humaines ainsi que la portion associée à chacune des grandes catégories d'utilisation du sol. Cependant, le calcul de la quantité maximale de phosphore pouvant être ajoutée dans un plan d'eau, tout en demeurant dans les limites acceptables de qualité de l'eau, dépend évidemment de ce que l'on entend par « acceptable ». La quantité maximale de phosphore peut, par la suite, être transposée en unités utiles à l'aménagement, par exemple en nombre d'habitations, et servir à évaluer le développement encore possible ou les efforts à consentir pour respecter cette limite.

### Mécanique des modèles

Il existe deux façons de mettre au point un outil de calcul de la capacité de support : les modèles par bilan de masse et les modèles empiriques. Très brièvement, les **modèles par bilan de masse** compilent tous les entrants et sortants de phosphore, à la manière d'un budget (ce qui implique énormément de mesures sur le terrain et une connaissance adéquate des coefficients d'exportation associés à tous les usages). La concentration de phosphore dans le lac est calculée à partir du ratio des entrants sur les sortants. Les **modèles empiriques**, quant à

eux, tentent de décrire la concentration en phosphore du lac en fonction de variables décrivant le lac et le bassin versant. Enfin, il existe aussi une approche combinée fort similaire à la méthode empirique. Les **modèles combinés** utilisent la charge en phosphore estimée par la modélisation empirique comme une première variable indépendante, alors que les autres variables indépendantes décrivent les caractéristiques du lac et son bassin versant.

## **Particularités régionales**

Or, les composantes des modèles vont changer d'une région à l'autre dépendamment de la géologie, du type d'utilisation des sols, des précipitations, etc. Par exemple, la rétention du phosphore par le sol dépend de sa nature, sa constitution, son pH et son épaisseur, ce qui aura un impact sur les coefficients d'exportation dans le bilan de masse. De plus, les variables permettant de décrire adéquatement la concentration de phosphore dans un lac ne seront pas nécessairement les mêmes d'une région à l'autre. Ce qui implique qu'il faut constamment réadapter (voir repenser) les outils de calcul de la capacité de support.

## **Le modèle de Dillon**

Dans les années 70, Dillon et Rigler furent parmi les premiers à proposer un modèle pour évaluer la capacité de support des lacs de villégiature en Ontario. Ce modèle se basait sur un calcul de bilan de masse et sur le degré de protection accordé au plan d'eau. Or, ce modèle s'est avéré inapproprié après vérification en Ontario et au Québec. Depuis, les coefficients d'exportation initialement proposés par Dillon et Rigler ont été révisés pour les régions de Muskoka (Ontario) et des Laurentides (initiative SIADL). Cependant, l'imprécision de ces modèles ne permet pas encore de prédire adéquatement la capacité de support de lacs individuels.

## **Modèles développés par les chercheurs du GRIL**

Plusieurs modèles de type bilan de masse se sont succédés depuis le modèle de Dillon et Rigler dans les années 70. Plus récemment, les chercheurs du GRIL ont tenté de créer des outils de gestion facilement applicables. Une étude de grande envergure a eu lieu ces dernières années dans les Laurentides et en Estrie, sous la supervision des chercheurs Richard Carignan et Yves Prairie. Cette étude, en association avec le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), a été financée par le CRSNG et par le MDDEP dans le cadre du programme PARDE (*Développement d'un outil de prévention de l'eutrophisation des lacs des Laurentides et de l'Estrie*). Le but principal de l'étude consiste à développer des modèles adaptés à nos régions pour évaluer la capacité de support en phosphore des lacs. Dans chacune de ces deux régions, les chercheurs ont visité plusieurs lacs et ruisseaux pour mieux comprendre l'état de la situation et trouver les éléments clés à évaluer afin de déterminer les sources de phosphore. Les chercheurs ont favorisé une approche empirique ainsi que les modèles combinés. Ces deux études en sont maintenant à l'étape de la publication. Ultiment, le MDDEP en publiera un résumé accompagné de lignes directrices afin d'en encadrer la mise en pratique sur le territoire québécois.

### **Modèles pour la région de l’Estrie (Y. Prairie, UQAM)**

En Estrie, les activités agricoles d’intensités diverses présentent différents niveaux d’eutrophisation des lacs. La région se caractérise, entre autres, par une faible acidité de l’eau, peu de relief (pentes moyennes faibles) et des apports en carbone organique dissous élevés. Pour mettre au point le modèle, l’équipe du professeur Yves Prairie a échantillonné 21 lacs représentant la gamme complète de degrés d’eutrophisation de la région, ainsi que 83 cours d’eau s’y jetant, en 2004 et en 2005. La région échantillonnée s’étend approximativement de Granby à Sherbrooke et est limitée au nord par Asbestos. Parmi les variables utilisées pour mettre au point les différents modèles, les plus importantes sont la pente moyenne du bassin versant, la proportion du bassin versant sous forme de pâturage et le coefficient d’exportation moyen de phosphore pour l’ensemble du bassin versant.

### **Modèle pour la région des Laurentides (R. Carignan, UdeM)**

L’équipe du professeur Richard Carignan a, pour sa part, concentré ses recherches dans une section de la région des Laurentides, délimitée au sud par Sainte-Anne-des-Lacs, au nord par Tremblant, à l’est par Saint-Hippolyte et à l’ouest par Wentworth. Elle y a suivi 16 lacs et 110 ruisseaux de 2003 à 2006 et a utilisé les données de 20 lacs supplémentaires suivis entre 2000 et 2002. Notez que les lacs utilisés pour mettre au point les modèles subissent essentiellement les impacts de la villégiature (donc pas d’activités agricoles). Parmi les variables mesurées, celles expliquant le mieux la concentration du phosphore sont le nombre d’habitations dans le premier 100 mètres autour de la rive divisé par le volume du lac (ce qui ne veut pas dire que le nombre d’habitations dans le reste du bassin versant est purement accessoire), la superficie des milieux humides dans le bassin versant du lac et le temps de séjour de l’eau dans le lac. De plus, le professeur Carignan a découvert une relation étroite entre le carbone organique dissous (COD) et la concentration de phosphore naturellement présente dans un lac. Le COD constitue une caractéristique naturelle des eaux de surface indépendante des activités humaines. C’est ce qui donne à l’eau sa teinte brun-rouge. Le COD permet alors d’estimer la concentration de phosphore avant les changements anthropiques.

### **La position du MDDEP**

Le ministère du Développement durable, de l’Environnement et des Parcs (MDDEP) participe à plusieurs projets pilotes visant à compléter le développement et à valider les outils de calcul de la capacité de support en phosphore dans différentes régions à travers le Québec. Il aborde la question des modèles d’eutrophisation et du calcul de la capacité de support avec beaucoup de précautions étant donné l’importance potentielle de leur intégration comme outil d’aide à la décision ainsi que la diversité des bassins versants du territoire québécois, tant au niveau des caractéristiques naturelles du bassin versant que des utilisations qu’en fait l’homme. Ces outils seront éventuellement disponibles. Cependant, il s’avère nécessaire d’en déterminer les limites et les conditions d’utilisation, en plus de baliser leur utilisation en aménagement du territoire et comme outils d’aide à la prise de décision.

## Possibilités et limites

Voici quelques zones grises des modèles de capacité de support :

### *La précision des modèles*

La précision s'avère essentielle lorsque l'on appuie des décisions d'aménagement sur les prédictions d'un modèle. En écologie, on retrouve énormément de variables pour un phénomène observé. Conséquemment, les chercheurs se satisfont de pouvoir expliquer ne serait-ce qu'une faible portion de la variation observée pour ce même phénomène. Or, le défi est de taille lorsqu'il s'agit d'isoler toutes les variables-clés de la concentration en phosphore des lacs, qui plus est lorsque l'on veut obtenir un modèle polyvalent. Par exemple, le modèle de Prairie obtient une précision absolue modeste, c'est-à-dire au mieux à quelques  $\mu\text{g/L}$  près et les résultats sont particulièrement variables pour les lacs à concentration de phosphore élevée (plus grandes que  $20 \mu\text{g/L}$ ). Mis en pratique, quelques  $\mu\text{g/L}$  de phosphore de plus ou de moins peuvent faire toute une différence pour un lac!

### *Qu'est-ce qu'une concentration en phosphore acceptable ?*

Une seconde zone grise concerne la quantité acceptable de phosphore en surplus. Le MDDEP utilise actuellement des critères basés sur les mêmes principes que ceux proposés par le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME). Ces critères consistent en une augmentation de la concentration naturelle de phosphore d'au plus 50%, sans toutefois dépasser  $10 \mu\text{g/L}$  si la concentration naturelle se situe sous  $10 \mu\text{g/L}$  ou  $20 \mu\text{g/L}$  si celle-ci est supérieure à  $10 \mu\text{g/L}$ . Ces critères, qui ne s'appliquent que pour l'évaluation des rejets ponctuels, sont en révision. En effet, il n'existe présentement pas d'obligation d'assurer l'aménagement et la gestion de l'ensemble des activités humaines dans les bassins versants des lacs en fonction de leur capacité de support. Plusieurs pistes peuvent être considérées pour la révision de ces critères : soit une augmentation relative (%) par rapport à la concentration naturelle - beaucoup plus restrictive -, ou une augmentation modulée en fonction des caractéristiques du milieu récepteur et des usages à protéger. À la lumière de ses observations sur le terrain et des résultats de ses modèles, l'équipe du chercheur Richard Carignan considère, quant à elle, que l'augmentation de la concentration de phosphore devrait être de l'ordre de 10%, dans tous les cas.

## **Morale de l'histoire : il faut appliquer le principe de précaution**

Les coefficients d'exportation qui entrent dans le calcul des modèles doivent refléter le mieux possible la réalité. Des coefficients erronés pourraient grandement limiter la qualité des résultats et avoir des conséquences considérables si des décisions importantes en découlent (ex. : autoriser l'augmentation du développement résidentiel, industriel ou commercial alors que le lac a déjà atteint sa pleine capacité de support en phosphore). Non infaillibles, ces modèles se veulent une évaluation la plus juste possible selon l'état des connaissances scientifiques actuelles, dans une région particulière. Ils permettront aux décideurs de faire des choix éclairés et faciliteront la mise en place de plans de gestion et de développement qui préservent le mieux possible l'intégrité de nos écosystèmes lacustres (gestion par bassin versant). Ces modèles préconisent la philosophie d'approche prudente (ou principe de précaution) puisqu'ils permettent le développement autour des lacs sans que ceux-ci atteignent un niveau d'eutrophisation inattendu et difficilement réversible.

Les modèles d'eutrophisation et outils de mesure de la capacité de support en phosphore ne devraient pas être considérés comme une panacée qui permettra de limiter le développement humain autour des lacs. En effet, il sera toujours possible de concevoir des technologies de traitement des eaux usées qui ne libéreront aucun phosphore vers les lacs et d'autres critères (qualité des paysages, normes de développement) devront être pris en considération. Il n'est donc pas nécessaire d'attendre la mise au point des modèles de capacité de support du phosphore pour amorcer une démarche de gestion par bassin versant. Idéalement, la concentration en phosphore des lacs devrait rester la même, peu importe les interventions humaines dans le bassin versant. Il existe quantité de mesures qui ont fait leurs preuves pour limiter l'écoulement du phosphore vers les lacs et rivières. Ces mesures doivent être intégrées aux plans d'aménagement des municipalités. Elles consistent en grande partie à limiter les apports en phosphore et à réduire l'érosion.

Les mesures visant la réduction des apports en phosphore sont, entre autres, les suivantes :

- réduire ou interdire l'application d'engrais domestiques et agricoles à proximité des lacs et de leurs tributaires, y compris sur les terrains de golf;
- améliorer la gestion de l'écoulement, notamment en provenance des fossés de route, du drainage agricole et des égouts pluviaux, afin de favoriser l'infiltration et réduire les apports d'eau de ruissellement vers les lacs;
- vérifier la conformité des installations septiques (fosses et champs d'épuration) à la réglementation (Q-2, r.8);
- vérifier la conformité des rives à la *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables* (Q-2, r.17.3)
- préparer un *Plan directeur de bassin versant*, selon les recommandations du MDDEP.

Bon nombre de comités de lacs et de municipalités cherchent à savoir si la capacité de support de leur lac a déjà été atteinte ou dépassée. Ils souhaitent également savoir quel est le nombre de résidences que le bassin versant peut accueillir sans que le lac en soit affecté. Le présent document a mis en évidence que trouver réponse à ces questions n'est pas simple. Les données disponibles au Québec ne sont pas suffisantes pour que l'on puisse apporter des éléments de réponse pour l'ensemble du territoire. Cependant, certaines lignes directrices peuvent être proposées :

**Si votre lac présente déjà des signes d'eutrophisation**

Des mesures énergiques doivent être prises pour réduire les apports en phosphore et limiter le développement résidentiel dans le bassin versant. Dans les cas où la densité de résidences et de chalets est élevée, l'installation d'un réseau d'égout collecteur et d'un traitement adéquat, en plus des mesures décrites ci-dessus, serait probablement la meilleure façon d'améliorer l'état du lac.

**Si votre lac ne présente pas de signes d'eutrophisation**

Une approche prudente consisterait à adopter les mesures décrites ci-dessus et à poursuivre le suivi de la qualité de l'eau, en adhérant par exemple au Réseau de surveillance volontaire des lacs de villégiature du MDDEP. Le suivi permettra de surveiller l'évolution du lac au cours des années. Une augmentation significative du phosphore total ou de la chlorophylle *a*, ou une diminution de la transparence de l'eau pourrait être un signal d'alarme indiquant que des mesures plus restrictives doivent être mises en place.

## Conclusion

Les modèles de capacité de support sont des outils capricieux. Utiliser un modèle non adapté pour guider le développement peut s'avérer tout aussi dangereux que ne pas en utiliser du tout. Il importe de considérer les caractéristiques et l'état actuel du plan d'eau (présence de **signes d'eutrophisation**) avant d'ouvrir la porte au développement. Après tout, les modèles de capacité de support en phosphore ne sont qu'un outil parmi d'autres. Rappelez-vous que les lacs sont le reflet de ce qu'ils reçoivent : grossièrement, si on double leurs apports en phosphore (activités humaines) on double la concentration en phosphore du lac. Enfin, il ne faut pas sous-estimer le rôle important des mesures d'atténuation des apports en phosphore qui impliquent un changement vers de meilleures habitudes !

## Glossaire

### Élément limitant

En écologie, la théorie des facteurs limitant stipule que la croissance d'un organisme ou d'une population sera limitée par l'élément qui est le plus en carence dans le milieu. Par exemple, si un milieu donné est riche en carbone et en phosphore mais dépourvu d'azote, on dira que l'azote est l'élément limitant dans ce milieu, car c'est celui dont l'abondance limite ou contrôle la croissance des organismes dans ce milieu donné.

### Modèle empirique

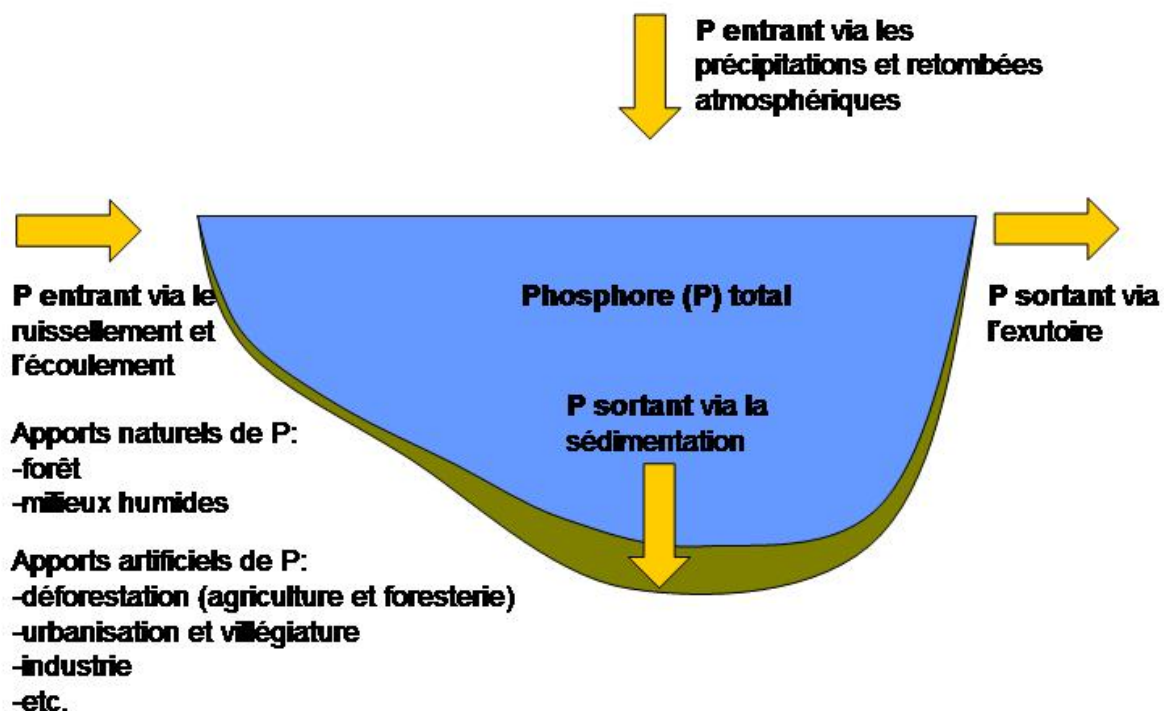
Les modèles empiriques décrivent les concentrations en phosphore des lacs en fonction de variables indépendantes en utilisant des régressions. Ainsi la concentration du lac en phosphore est fonction de variables descriptives du lac et de son bassin versant.

$$[P]_{LAC} = f(X_1, X_2, X_3, \dots)$$

### Modèle par bilan de masse

Les modèles par bilan de masse compilent le phosphore entrant et sortant du lac afin d'évaluer la concentration de phosphore y restant (voir la figure ci-dessous). Ainsi un changement temporel de la masse de phosphore dans le lac correspond à la somme des apports, moins ce qui en sort et ce qui sédimente.

$$\frac{Vd[P]_{LAC}}{dt} = \sum P_{ENTRANT} - P_{SORTANT} - P_{SÉD}$$





### **Modèle combiné**

L'approche combinée est très similaire au modèle empirique hormis qu'une des variables indépendantes ( $X_1$ ) est fixée comme étant la charge en phosphore estimée par modélisation empirique de  $L$  (équivalent à la somme du phosphore entrant, i.e.  $L = \sum P_{\text{entrant}}$ ). Les autres variables indépendantes potentielles décrivent les attributs généraux des lacs et de leurs bassins versants. Ainsi la concentration en phosphore du lac est fonction de la charge en phosphore et des autres variables indépendantes.

$$[P]_{\text{LAC}} = f(L_{\text{estimé}}, X_2, X_3, \dots)$$

### **Signes d'eutrophisation**

Caractéristiques attestant la plus forte présence de nutriments, donc une augmentation de la productivité de l'écosystème aquatique : plus grande accumulation de sédiments et de matière organique, augmentation de la quantité d'algues (dans la colonne d'eau et sur les roches et autres objets submergés) et de plantes aquatiques, diminution de la transparence de l'eau, réduction de l'oxygène dissous dans l'eau et remplacement d'espèces (en réponse aux nouvelles conditions).

Attention, recenser une seule de ces caractéristiques à un moment donné ne suffit pas à poser un diagnostic d'eutrophisation.

## **Liens d'intérêt**

Portail sur l'eau du ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs.  
<http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/inter.htm>

Trousse des lacs, par Bleu Laurentides  
<http://www.crelaurentides.org/trousse/>

## Références

### Documents :

Dillon, P.J. et Rigler, F.H. 1975. A simple method for predicting the capacity of a lake for development based on lake trophic status; *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*; 32(9), p.1519-1531.

Laniel, M. 2008. Intégration du concept de capacité de support d'un plan d'eau aux apports en phosphore à l'aménagement du territoire au Québec : Réalité ou utopie ? Mémoire de maîtrise, Faculté de l'Aménagement, Université de Montréal. 274 p.

### Conférences :

Carignan, R. 2006. *Les causes de la dégradation des lacs des Laurentides*. Présentation effectuée dans le cadre du *Forum National sur les lacs* organisé par le *CRE Laurentides*, Sainte-Adèle, le 9 juin 2006  
<http://www.crelaurentides.org/actes.shtml>

Fallu, M.-A. 2008. *La capacité de support des lacs, un outil d'aide à la décision*. Présentation effectuée dans le cadre de la *Journée des associations « Agissons localement pour un sain environnement »* organisée par le *RAPPEL*, Sherbrooke, le 3 mai 2008  
<http://www.rappel.qc.ca/programmes/49-journee-des-associations-2008.html>

Gravel, B. 2008. *Approche de gestion des lacs en lien avec leur capacité de support en phosphore*. Présentation effectuée dans le cadre du 2<sup>e</sup> *Forum National sur les lacs* organisé par le *CRE Laurentides*, Sainte-Adèle, le 6 juin 2008.  
<http://www.forumsurleslacs.org/conference.shtml>

Roy, L., Gravel, B., Carignan, R. et Prairie, Y. 2008. *La modélisation de la capacité de support des lacs au Québec*. Présentation effectuée dans le cadre du 2<sup>e</sup> *Forum National sur les lacs* organisé par le *CRE Laurentides*, Sainte-Adèle, le 6 juin 2008  
<http://www.forumsurleslacs.org/conference.shtml>