
Avis concernant l'aération ou la circulation artificielle de l'eau des lacs comme mesures de restauration de la qualité de l'eau

Position du ministère de l'Environnement

DIRECTION DU SUIVI DE L'ÉTAT DE L'ENVIRONNEMENT (DSEE)

Service de l'information sur les milieux aquatiques (SIMAQ)

Service des avis et des expertises (SAVEX)

DIRECTION DES POLITIQUES DU SECTEUR MUNICIPAL

Service de l'aménagement et de la gestion de l'eau (SAGE)

DIRECTION RÉGIONALE DE L'ESTRIE

29 juillet 2003

MISE EN SITUATION

Au cours des derniers mois, plusieurs directions régionales du ministère de l'Environnement (MENV) ont reçu des demandes d'autorisation de la part de municipalités et d'associations de propriétaires riverains pour l'installation d'équipements permettant l'aération ou la circulation artificielle de l'eau afin de régler plusieurs problèmes, notamment l'envahissement du lit des lacs par les plantes aquatiques. Dans la plupart des cas, les équipements suggérés pour contrer ces problèmes étaient des éoliennes flottantes.

Les besoins d'information des directions régionales dans ce dossier sont multiples. Les renseignements requis visent tout d'abord à déterminer si un certificat d'autorisation doit être émis pour l'installation de ces équipements. Au-delà de cette exigence administrative, les directions régionales doivent fournir aux associations de propriétaires riverains qui en font la demande un avis quant à l'efficacité réelle de ces équipements. Cet avis est particulièrement important, puisque les promoteurs de ces équipements recommandent souvent la mise en place de plusieurs éoliennes sur un même lac, ce qui se traduit par un investissement substantiel pour les propriétaires riverains.

Un groupe de travail composé de madame Hélène Robert, de la Direction régionale de l'Estrie, de monsieur Jean-Yves Goupil, du Service de l'aménagement et de la gestion de l'eau (SAGE) de la Direction des politiques du secteur municipal (DPSM) et de messieurs André Thibault, du Service des avis et des expertises (SAVEX), et Marc Simoneau, du Service de l'information sur les milieux aquatiques (SIMAQ) de la Direction du suivi de l'état de l'environnement (DSEE), a été formé afin d'analyser la situation et de produire un avis concernant l'efficacité des équipements utilisés pour aérer ou faire circuler artificiellement l'eau des lacs en vue de réduire les problèmes de prolifération d'algues et de plantes aquatiques. L'utilisation de ces équipements ayant pour but d'empêcher la stratification des lacs et des réservoirs ou de briser cette stratification, le groupe de travail a tenté d'évaluer l'impact de ceux-ci à partir d'une revue de la documentation scientifique existante.

HISTORIQUE DES PROCÉDÉS D'AÉRATION OU DE CIRCULATION ARTIFICIELLE DES LACS

Les procédés d'aération ou de circulation artificielle de l'eau des lacs (pompes, jets d'eau, bulles d'air, etc.) sont des techniques de gestion utilisées depuis le début des années 50. Employées à l'origine pour prévenir la mortalité des poissons en hiver dans les lacs peu profonds couverts de glace, ces méthodes ont été utilisées à compter du début des années 60 pour contrôler les problèmes liés à l'eutrophisation des lacs et des réservoirs (Cooke *et al.*, 1993).

EFFETS THÉORIQUES DE LA CIRCULATION ARTIFICIELLE

Oxygène dissous

Le principal effet, en l'occurrence le plus efficace, de la circulation artificielle de l'eau d'un lac est l'accroissement de la concentration d'oxygène dissous. Lorsque l'on procède à la déstratification d'un lac, on assiste à une homogénéisation des concentrations d'oxygène dans la colonne d'eau, ce qui a pour effet d'amener la disparition de l'épilimnion (couche d'eau chaude en surface) et de l'hypolimnion (couche d'eau froide en profondeur). Cette déstratification fait en sorte que les eaux froides peu oxygénées sont déplacées vers la surface.

La baisse de l'oxygène dissous dans l'épilimnion peut aussi provenir de l'apport de matière organique biodégradable dans cette couche d'eau et de la diminution de la photosynthèse engendrée par l'accroissement de la couche de mélange. Si la circulation est maintenue, l'oxygène dissous augmente au fur et à mesure que l'eau sous-saturée est mise en contact avec l'air.

Contrôle physique de la biomasse phytoplanctonique

La circulation forcée de l'eau peut en théorie mener à une diminution de la biomasse phytoplanctonique. Cette baisse est causée par la limitation de la lumière qui résulte de l'augmentation de la profondeur de mélange. Les cellules phytoplanctoniques sont entraînées à une profondeur où la lumière est insuffisante pour assurer une photosynthèse nette (photosynthèse qui excède la respiration) et, par conséquent, toute croissance substantielle ou accroissement de la biomasse des cellules phytoplanctoniques. Ce phénomène est lié au concept de la profondeur critique, c'est-à-dire la profondeur au-delà de laquelle la production nette est impossible. Lorsque la profondeur critique dépasse la profondeur de la couche de mélange, une prolifération d'algues devient alors possible.

Éléments nutritifs

La charge interne de phosphore d'un lac peut en théorie être réduite par la circulation artificielle de l'eau dans les cas où le relargage du phosphore par les sédiments constitue le mécanisme principal d'enrichissement des eaux. La présence d'oxygène à l'interface eau-sédiment, pour les lacs dont la solubilité du phosphore est contrôlée par le fer, entraîne l'adsorption du phosphore en solution par les complexes hydroxy-ferriques et empêche ainsi le transfert du phosphore des sédiments vers la couche surjacente.

Dans certains lacs, cependant, le fer ne contrôle pas le phosphore. Ainsi, lorsque le rapport fer/phosphore est trop bas ou lorsque le calcium contrôle la solubilité du phosphore (cas des lacs aux eaux dures), il arrive que le taux de relargage du phosphore soit davantage lié à la décomposition aérobie de la matière organique. Dans de tels cas, l'accroissement de la température de l'eau à l'interface eau-sédiment, causé par la circulation artificielle de l'eau, pourrait même augmenter la charge interne de phosphore. De plus, certains sédiments flocculeux qui ont un contenu en matière organique et en eau

élevé, peuvent avoir une fraction de phosphore faiblement lié pouvant être relargué facilement par le brassage de l'eau. Puisque le taux d'échange de phosphore dépend de la circulation de l'eau à l'interface eau-sédiment, le processus pourrait être activé par le brassage artificiel de l'eau. C'est du reste le degré de mélange estival qui semble avoir un effet dominant sur le relargage du phosphore dans les lacs peu profonds.

Le relargage du phosphore à partir des sédiments est particulièrement important dans les lacs eutrophes peu profonds et non stratifiés où l'interface eau-sédiment est habituellement bien oxygénée. Par conséquent, dans de telles conditions, on ne peut s'attendre à ce que le relargage du phosphore soit réduit par la circulation artificielle de l'eau. De plus, même si le relargage du phosphore et la concentration de celui-ci dans l'ensemble du lac étaient réduits par la circulation artificielle, la concentration de phosphore dans la zone photique pourrait quand même croître et stimuler la croissance d'algues. Par conséquent, la profondeur du plan d'eau est un critère très important à considérer lorsque vient le temps d'envisager la circulation artificielle comme moyen de contrôle des problèmes de production d'algues microscopiques (phytoplancton) et de relargage de phosphore. À moins que l'on puisse démontrer que l'oxygénation de l'eau réduira substantiellement le relargage du phosphore, le maintien de la stratification de l'eau peut être préférable pour contrôler le phosphore.

Parmi les autres changements potentiels qui peuvent découler de la circulation artificielle ou de l'aération de l'eau, il y a la conversion de l'azote ammoniacal en nitrate et la complexation et la sédimentation des métaux traces comme le fer et le manganèse.

Effets sur la composition phytoplanctonique

Dans les lacs dominés par une population d'algues bleues (cyanobactéries), la circulation artificielle de l'eau peut entraîner un changement de dominance qui favorise les diatomées ou les algues vertes. Trois hypothèses sont mentionnées pour expliquer ce phénomène, soit (1) le pH et le CO₂ libre, (2) la répartition verticale des cellules phytoplanctoniques, et (3) le broutage par le zooplancton.

Des études ont montré que des cultures algales dominées par des algues bleues se transformaient en cultures dominées par des algues vertes en réponse à une baisse de pH et à l'augmentation concomitante de la concentration de CO₂ libre. Ce phénomène serait attribuable au fait que les algues vertes ont une plus grande capacité que les algues bleues à assimiler le CO₂ libre lorsque les concentrations sont élevées. La circulation artificielle assure le transport vers la surface des eaux profondes riches en CO₂ en raison de la respiration et de l'absence de photosynthèse, ce qui a pour effet d'augmenter le CO₂ et de diminuer le pH dans la couche photique. Pour que la circulation artificielle entraîne un changement qui favorise la croissance des algues vertes, les eaux de surface ne doivent pas être pauvres en éléments nutritifs; si c'est le cas, l'apport d'azote et de phosphore causé par le brassage vertical de l'eau risque de stimuler la croissance des algues bleues déjà présentes.

Parce qu'elles possèdent des vacuoles de gaz qui leur permettent de contrôler leur flottabilité, les algues bleues ont un avantage marqué sur les algues vertes lorsque la stratification thermique et le temps calme assurent une grande stabilité de la colonne d'eau. À l'opposé, le brassage artificiel de la colonne d'eau pourrait favoriser les algues comme les diatomées, qui ont tendance à couler plus facilement dans des conditions de grande stabilité de l'eau.

L'inactivation du phosphore et des éléments traces associée à l'aération de l'eau peut réduire le relargage interne de ces éléments ainsi que la production algale, dans la mesure où ce processus est responsable de la majeure partie du phosphore qui stimule la production primaire du lac (sources externes sous contrôle). La circulation artificielle de l'eau peut réduire l'abondance des algues en augmentant la profondeur de la couche de mélange. Elle peut aussi réduire la production algale en augmentant la turbidité de l'eau, ce qui réduit du même coup l'épaisseur de la couche photique et la photosynthèse. Ce phénomène serait plus vraisemblable dans les lacs riches en éléments nutritifs.

Par ailleurs, l'accroissement du CO₂ et la diminution du pH dans l'épilimnion, causés par le mélange des eaux profondes riches en CO₂, pourraient stimuler l'activité cyanophage et la lyse des algues bleues tout en stimulant la croissance des algues vertes. Ainsi, la taille plus grande des cellules phytoplanctoniques broutées par le zooplancton, combinée à l'accroissement de la taille de l'habitat adéquatement oxygéné et faiblement éclairé pouvant lui servir de refuge, pourrait résulter en une diminution importante du phytoplancton par broutage.

EFFETS DE LA CIRCULATION SUR LES INDICATEURS DE NIVEAU TROPHIQUE

Les quatre indicateurs qui ont affiché de façon soutenue une amélioration à la suite de la circulation artificielle de l'eau sont l'oxygène dissous, l'azote ammoniacal, le pH de l'épilimnion et les métaux traces comme le fer et le manganèse. L'augmentation de l'oxygène dissous et la diminution des métaux traces ont été observées dans un pourcentage élevé de cas étudiés, tandis que les changements favorables impliquant l'azote ammoniacal et le pH étaient moins fréquents. Tous ces changements étaient le résultat d'une aération accrue de la colonne d'eau, causée par un accroissement du contact avec l'atmosphère.

Les résultats rapportés pour le phosphore sont moins impressionnants que ceux obtenus pour le fer et le manganèse. Les cas où la concentration de phosphore a augmenté ou est demeurée inchangée à la suite d'une circulation artificielle de l'eau sont plus fréquents (65 %) que ceux où une diminution a été observée. Dans plusieurs cas, il se peut que d'autres sources internes plus importantes que le relargage en provenance des sédiments pélagiques dans la zone anoxique aient été impliquées. Ces sources pourraient inclure entre autres les apports de la zone littorale. De plus, les sources externes pourraient dans certains cas représenter les apports les plus importants dans la colonne d'eau.

Par ailleurs, dans les cas où le fer ne contrôle pas le phosphore, les apports provenant de la décomposition microbienne aérobie ou les échanges impliquant le phosphore faiblement lié pourraient devenir le principal mécanisme d'apport interne de phosphore dans les lacs non stratifiés. La déstratification, associée à la circulation accrue de l'eau à l'interface eau-sédiment et à l'augmentation de la température, pourrait alors être responsable d'un relargage de phosphore plus important qu'avant la circulation.

La transparence de l'eau, mesurée par le disque de Secchi, a été réduite plus souvent qu'elle n'a augmenté à la suite de la circulation de l'eau. La transparence pourrait décroître après le traitement si : (1) la zone photique, initialement limitée en éléments nutritifs, est enrichie par le brassage artificiel de l'eau; (2) la circulation trop faible résulte en une microstratification offrant des conditions de lumière qui favorisent la productivité; (3) la circulation est à ce point intense qu'elle cause la remise en circulation des sédiments dans la colonne d'eau.

La diminution du phytoplancton à la suite du brassage artificiel de l'eau a été observée dans moins de 50 % des cas examinés. Une diminution des algues bleues a toutefois été notée dans la majorité des cas. De plus, le rapport entre la quantité d'algues vertes et d'algues bleues a aussi augmenté de façon proportionnelle. Cela donne donc une forte indication que le phytoplancton peut être réduit par l'augmentation de la circulation de l'eau, tout particulièrement les algues bleues, dans les lacs où la lumière peut devenir un facteur limitant et où l'aération est suffisante pour empêcher la formation d'une microstratification. Les lacs ayant une profondeur moyenne de seulement trois mètres ne sont habituellement pas suffisamment profonds pour que le brassage de la colonne d'eau puisse induire une limitation de la productivité planctonique par la lumière.

EFFETS DE LA CIRCULATION SUR LES MACROPHYTES

On appelle *macrophytes* les plantes qui poussent dans les lacs, les étangs et les cours d'eau. Ces plantes aquatiques sont de tailles et de formes diverses. Certaines d'entre elles ont des feuilles qui flottent à la surface, d'autres sont complètement submergées. À des degrés modérés d'abondance, les plantes aquatiques sont attrayantes et nécessaires sur le plan environnemental. Leur présence dans le milieu aquatique est tout à fait naturelle et normale, et elles sont de fait un maillon important de l'écosystème aquatique d'un lac. Lorsqu'elles sont trop abondantes, par contre, elles peuvent interférer avec certains usages et être perçues comme un problème.

Parmi les nombreuses méthodes mentionnées dans la documentation scientifique pour le contrôle des macrophytes, on ne fait nullement mention de la circulation forcée de l'eau. La prolifération des plantes aquatiques est la plupart du temps liée au fait que les plans d'eau offrent des conditions favorables à leur implantation et à leur prolifération. Il s'agit habituellement de lacs peu profonds où la zone littorale occupe une partie importante de la superficie du plan d'eau. Cette zone offre un substrat adéquat (sédiments meubles constitués de matière organique) qui permet aux plantes de croître ainsi que de bonnes conditions de lumière en raison de la faible profondeur du lac. De plus, les macrophytes

qui se développent dans le littoral dépendent moins des conditions physico-chimiques de la colonne d'eau pour assurer leurs besoins en substances nutritives, puisqu'elles peuvent les puiser à même le substrat grâce à leurs racines.

EFFETS INDÉSIRABLES DE LA CIRCULATION DE L'EAU

Parmi les nombreux effets potentiellement néfastes associés à la circulation artificielle de l'eau, certains sont plus susceptibles de se produire. Ainsi, si la productivité de l'épilimnion est limitée par les éléments nutritifs, la circulation risque d'accroître le phosphore particulaire ou dissous dans la couche photique. La transparence de l'eau pourrait en retour être diminuée par l'augmentation des matières en suspension (limon et algues microscopiques). La prolifération des algues et la photosynthèse accrue pourraient diminuer le CO₂ de l'épilimnion et augmenter le pH de l'eau, ce qui aurait pour effet de prévenir le remplacement des algues bleues par les algues vertes. La dominance des algues bleues résultant de leur productivité accrue et des changements chimiques concomitants réduirait les pertes d'algues par le broutage du zooplancton, ce qui favoriserait davantage les algues bleues.

En réduisant la sédimentation des algues, la circulation artificielle favoriserait leur croissance. En revanche, puisque les algues les plus avantagées par ce procédé seraient les algues vertes et les diatomées, cette augmentation de la biomasse algale serait perçue comme moins néfaste que l'augmentation des algues bleues.

Un des effets les plus importants de la circulation complète de l'eau est l'augmentation de la température de l'eau dans l'hypolimnion. Cette hausse favoriserait les espèces de poissons d'eau chaude en augmentant la taille de leur habitat préférentiel. En contrepartie, elle risquerait de nuire aux espèces d'intérêt sportif comme la truite.

AÉRATION DE L'HYPOLIMNION

Comme nous l'avons mentionné plus tôt, l'appauvrissement de l'oxygène dissous dans l'hypolimnion des lacs eutrophes est un des premiers signes d'eutrophisation. Si l'enrichissement des eaux superficielles d'un lac devient à ce point important qu'une partie substantielle de l'oxygène dissous de la couche profonde est utilisée avant le mélange automnal, il peut en résulter une anoxie. Ce phénomène entraîne plusieurs changements indésirables qui altèrent la qualité du lac. Il peut alors se produire un relargage (recyclage) des éléments nutritifs, notamment du phosphore, à partir des sédiments, une solubilisation de certains métaux risquant de diminuer la qualité de l'eau d'approvisionnement et une réduction des espèces fauniques d'eau froide.

L'aération de l'hypolimnion, une technique d'aménagement des lacs et des réservoirs développée en Autriche, vise à contrer l'anoxie de l'hypolimnion et les problèmes qui y sont associés. Les objectifs poursuivis sont triples. Le premier est tout d'abord d'accroître le contenu en oxygène dissous de l'hypolimnion sans déstratifier l'ensemble de la

colonne d'eau ni réchauffer l'hypolimnion. Le deuxième objectif, qui est lié au premier, est d'accroître l'habitat et la nourriture des espèces de poissons d'eau froide. Le dernier objectif est de réduire le recyclage du phosphore des sédiments en assurant une oxygénation de l'interface eau-sédiment dans les lacs où le fer contrôle la solubilisation du phosphore. Par la même occasion, le maintien d'un niveau adéquat d'oxygène dans l'hypolimnion permettrait de réduire la production d'azote ammoniacal (NH_4^+), de fer et de manganèse.

Parrainé par l'Association pour la restauration et la protection écologique du lac Carré (ARPEC), un projet de réoxygénation de l'hypolimnion au moyen d'un appareil appelé « *Speece cone* » est présentement en cours sur le lac Carré, situé à Saint-Faustin-Lac-Carré. Une étude sur l'efficacité de ce procédé et son impact sur la physico-chimie et la faune aquatique du lac Carré sera menée par l'équipe de Louise St-Cyr, chercheure recommandée par le Groupe de recherche interuniversitaire en limnologie (GRIL). Selon les résultats obtenus relativement au lac Carré, ce procédé de restauration des lacs pourrait être utilisé dans d'autres lacs aux prises avec des problèmes similaires d'anoxie.

RECOMMANDATIONS

Il convient de rappeler aux municipalités et aux associations de propriétaires riverains de lacs qu'il n'existe pas de solution miraculeuse pour restaurer rapidement un lac, pas plus qu'il n'existe de solution unique pour tous les problèmes qui touchent les lacs de villégiature. De plus, il n'y a pas deux lacs identiques, chacun possédant ses caractéristiques physiques particulières (bathymétrie, superficie, bassin de drainage, etc.) et sa propre histoire. Les pressions de pollution qui s'exercent sur eux sont tout aussi particulières. Par conséquent, les solutions envisagées pour régler les problèmes d'un lac donné pourraient ne pas convenir pour un autre lac.

Quelle que soit l'action envisagée en vue de restaurer un lac, il importe d'adopter une approche globale et d'obtenir avant toute chose un portrait le plus complet possible de la situation actuelle du lac. Lorsque toutes les informations nécessaires sont disponibles et que l'on comprend bien la situation, il est alors plus facile de se fixer des objectifs et de prendre les décisions qui s'imposent pour les atteindre. L'état actuel du lac empêche-t-il certains usages? Quels sont les usages compromis? Quelles sont les causes probables de la détérioration de la qualité de l'eau? Quelles sont les actions réalistes qui peuvent être entreprises pour améliorer la situation à court, à moyen et à long terme?

En ce qui concerne l'utilisation de procédés comme la circulation ou l'aération artificielle, aucune étude complète et objective semblable à celle qui est en cours pour tester le procédé d'aération de l'hypolimnion sur le lac Carré n'a été réalisée pour tester adéquatement leur efficacité réelle. La documentation scientifique sur ces procédés suggère qu'ils puissent théoriquement produire des effets bénéfiques sur le milieu, dans certaines situations. On peut toutefois s'interroger sur l'efficacité de ces procédés pour le contrôle des macrophytes. En effet, les lacs qui sont aux prises avec des problèmes

associés à la présence de plantes aquatiques sont habituellement peu profonds et davantage sujets à ce genre de problème en raison de leur stade de vieillissement.

En dernier lieu, les municipalités et associations de propriétaires riverains qui désirent obtenir une diagnose écologique de leur lac devraient choisir prudemment leur consultant. Il est préférable qu'elles consultent une personne compétente qui saura leur donner l'heure juste, plutôt que des entreprises qui offrent à la fois la vente d'équipements et des services conseils. Il s'avère pertinent de solliciter une deuxième opinion, au besoin, avant de se précipiter et d'investir des sommes importantes dans des équipements coûteux qui pourraient ne pas améliorer l'état de leur lac, et même, dans certains cas, le détériorer davantage.

En bref, les équipements servant à la circulation et à l'aération artificielle de l'eau des lacs qui impliquent un brassage et une déstratification de la colonne d'eau ne sauraient être recommandés dans les cas suivants :

- pour oxygéner les lacs eutrophes peu profonds (profondeur moyenne de moins de 3 mètres) et non stratifiés;
- pour contrer l'invasion du lit des lacs par les macrophytes;
- pour empêcher le relargage du phosphore par les sédiments :
 - dans les cas où le recyclage interne du phosphore provenant de la couche anoxique du lac ne constitue pas la source principale de cet élément;
 - dans les cas où le relargage du phosphore n'est pas contrôlé par les complexes hydroxy-ferriques (lacs aux eaux dures et lacs acides);
 - dans les cas où le relargage du phosphore est lié à la décomposition aérobie de la matière organique ou associé à des sédiments flocculeux constitués d'une forte proportion d'eau et de matière organique.

Après une étude approfondie des caractéristiques morphométriques et physico-chimiques d'un lac, ces équipements pourraient être considérés pour le contrôle des populations d'algues bleues (cyanobactéries) dans les cas où la productivité de l'épilimnion du lac (couche d'eau superficielle) n'est pas limitée par les éléments nutritifs tels que l'azote et le phosphore. Dans le cas contraire, le brassage de la colonne d'eau pourrait entraîner dans la couche de surface des eaux riches en CO₂ et en éléments nutritifs, ce qui pourrait alors stimuler la croissance des algues bleues déjà présentes.

BIBLIOGRAPHIE

BEUTEL, M. W. et A. J. HORNE, 1999. « A Review of the Effects of Hypolimnetic Oxygenation on Lake and Reservoir Water Quality », *Journal of Lake and Reservoir Management*, vol. 15, n° 4, p. 285-297.

COOKE, G. D., E. B. WELCH, S. A. PETERSON et P. R. NEWROTH, 1993. *Restoration and Management of Lakes and Reservoirs*, 2^e éd., Boca Raton (Florida), Lewis Publishers, 548 p. ill. réf.

ILLINOIS ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2000. *Effects of Destratification / Circulation*, [en ligne],
<http://www.epa.state.il.us/water/conservation-2000/lake-notes/aeration-circulation/effects.html>

RYDING, S.-O. et W. RAST, 1994. *Le contrôle de l'eutrophisation des lacs et des réservoirs*, Paris, Masson, 294 p. (Sciences de l'environnement : 9).

WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF ECOLOGY, 2002. *Aquatic Plant Management, Water Quality Program*, [en ligne],
<http://www.ecy.wa.gov/programs/wq/plants/management/>