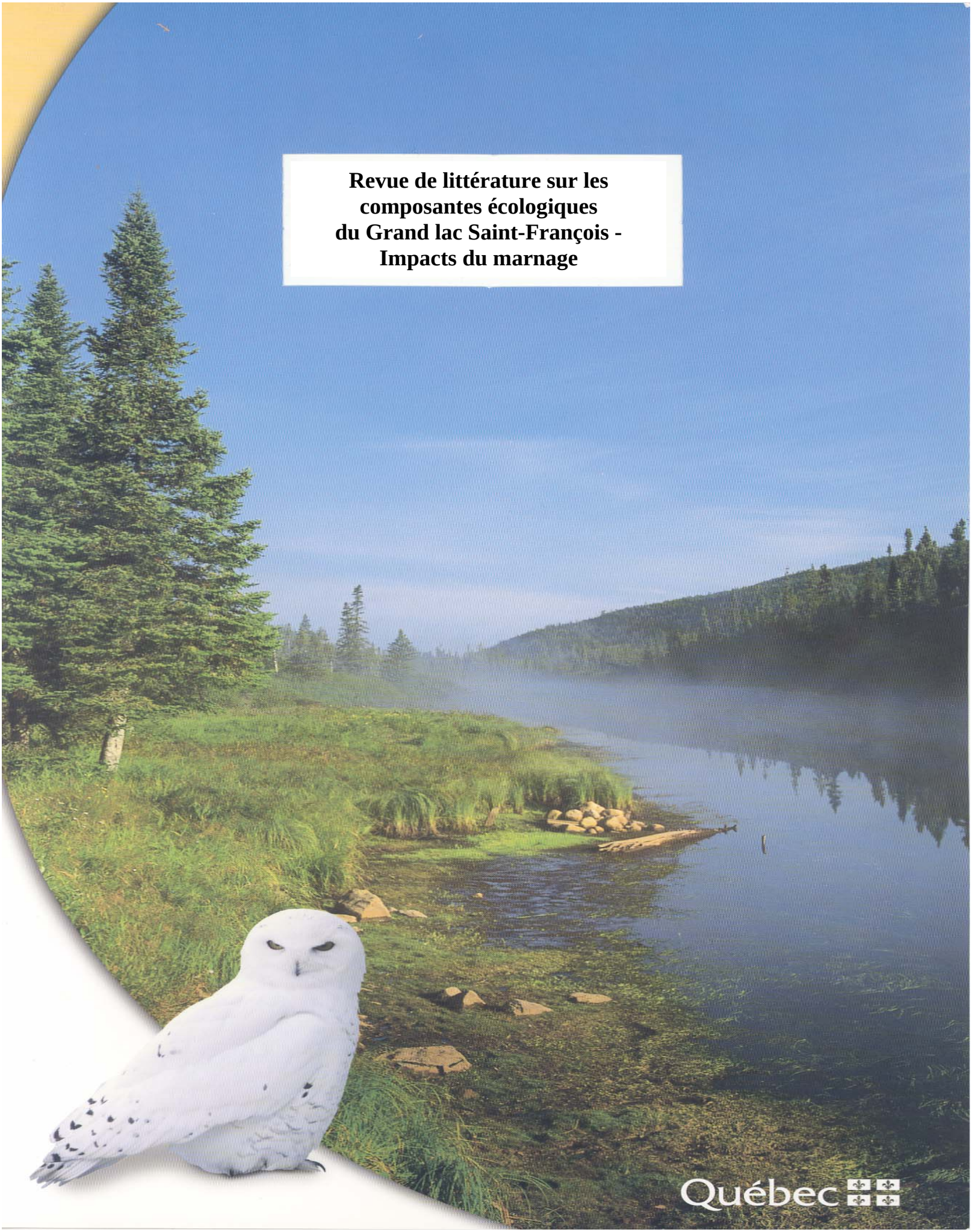
Revue de littérature sur les composantes écologiques du Grand lac Saint-François - Impacts du marnage



Québec

RAPPORT

Revue de littérature sur les composantes écologiques du Grand lac Saint-François - Impacts du marnage

DIRECTION DE L'AMÉNAGEMENT DE LA FAUNE
DE LA CAPITALE-NATIONALE ET DE LA CHAUDIÈRE-APPALACHES

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune
Québec

Direction de l'aménagement de la faune
de la Capitale-Nationale et de la Chaudière-Appalaches

Revue de littérature sur les composantes écologiques du Grand lac Saint-François - Impacts du marnage

Marc-André Houde-Fortin et François C. Gibeault

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune
Secteur Faune Québec

Juillet 2007

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Auteurs

Marc-André Houde-Fortin et François C. Gibeault

Coordination et révision des textes

Luc Major

Correction des textes et mise en forme

Linda Croteau

Photo de la page couverture : Jean-Sébastien Perron © Sépaq

Référence à citer :

HOUDE-FORTIN, M.-A. et. GIBEAULT, F. C. 2007. *Revue de littérature sur les composantes écologiques du Grand lac Saint-François - Impacts du marnage.* Ministère des ressources naturelles et de la faune du Québec, Direction de l'aménagement de la faune de la Capitale-Nationale et de la Chaudière-Appalaches. 33 p.

TABLE DES MATIÈRES

1- INTRODUCTION 1

2- MISE EN SITUATION 2

3- LES IMPACTS DU MARNAGE 5
3.1 Les impacts du marnage sur la flore 5
3.1.1 Problème de colonisation et de développement 5
3.1.2 Sélection et biodiversité 6
3.2 Les impacts du marnage sur les macro-invertébrés ou macro-zoobenthos 7
3.2.1 La perte d'habitat 8
3.2.2 La composition des communautés 9
3.3 Les impacts du marnage sur les poissons 10
3.3.1 Le succès reproducteur 10
3.3.2 La température et l'oxygénation de l'eau 11
3.3.3 La prédation 12
3.3.4 Alimentation 12
3.3.5 Isolation génétique des populations 13
3.4 Les impacts du marnage sur les amphibiens 13
3.4.1 Perte d'habitat 14
3.4.2 Succès reproducteur 14
3.5 Les impacts du marnage sur les reptiles 15
3.6 Les impacts du marnage sur les oiseaux 15
3.6.1 Nidification 16
3.6.2 Alimentation 16
3.7 Les impacts du marnage sur les mammifères 17
3.8 Les cyanobactéries 18
3.9 Autres impacts 21

4- CONCLUSION 21

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 25

ANNEXES 29

1- INTRODUCTION

Dans le monde d'aujourd'hui, il est rare de trouver, mis à part les endroits spécialement protégés, un milieu totalement naturel où l'homme n'a pas encore laissé sa trace. À l'origine, l'humain modifiait légèrement la nature pour se nourrir, se loger ou encore pour se protéger, mais avec le temps et les nouvelles technologies, ces manipulations sont devenues importantes. La production de nourriture en grande quantité, la recherche de minerais et la production d'énergie constituent quelques exemples des raisons qui poussent notre société à agir ainsi. Dans l'évaluation des retombées de nos réalisations, serait-il profitable d'ajouter aux chiffres économiques et aux bénéfices sociaux des considérations de préservation du milieu? Dans ce sens, il semble lentement naître au sein de notre société une prise de conscience de plus en plus marquée sur l'importance de préserver la nature dont nous avons si longtemps été dépendants, et dont nous dépendons encore, parfois à notre insu. Bien que nous continuions à modifier et à apprivoiser la nature et ses nombreuses ressources, nous reconnaissons maintenant leur importance et tentons de minimiser les impacts négatifs de nos actions sur les écosystèmes et l'environnement en général. Dans la situation actuelle, où notre planète entière subit d'énormes pressions d'origine anthropique, il est primordial d'adopter une approche consciencieuse envers nos actions et leurs conséquences sur celle-ci.

Parmi les modifications que l'homme a entraînées dans le milieu naturel, l'une des plus fréquentes est certes la création d'ouvrages de retenue sur des cours d'eau. Selon le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), il y aurait près de 10 000 barrages au Québec, la plupart bâtis il y a plus de cinquante ans pour des raisons multiples, dont le flottage de bois et la villégiature. Aujourd'hui par contre, les principales raisons de leur construction sont la production d'hydroélectricité ou encore la rétention de crues afin de protéger les villes et villages contre les inondations. Ces constructions ont non seulement changé la morphologie des cours d'eau et des lacs, mais cette modification en profondeur des écosystèmes locaux a parfois eu des retombées majeures sur l'habitat du poisson. Malgré le grand nombre de barrages construits, les évaluations d'impacts concernant leur construction, mais surtout leur gestion, restent imprécises et ne réussissent pas à cerner globalement les effets de ces derniers sur les écosystèmes. Plusieurs de ces études ont porté sur les impacts de leur construction sur la faune et ses habitats mais relativement peu d'études se sont intéressées aux impacts des régulations de niveaux d'eau sur la faune.

Or, la gestion du barrage Jules-Allard sur le lac Saint-François est axée sur la rétention des crues printanières et la production hydroélectrique. Le contrôle du niveau de l'eau occasionne des variations annuelles de 6 mètres et plus. Le marnage fait référence au changement du niveau de l'eau due aux marées dans les régions côtières, mais ce terme s'applique aussi aux lacs réservoirs soumis à une régulation de leur niveau d'eau. Compte tenu de l'ampleur de la variation annuelle, les riverains du Grand lac Saint-François s'inquiètent, avec raison, de la santé de leur lac et des impacts pouvant être ressentis par les différentes composantes biologiques de son écosystème. La Direction de l'aménagement de la faune de la Capitale-Nationale et de la Chaudière-Appalaches partage cette

préoccupation et considère important de documenter les impacts potentiels occasionnés par une telle gestion. La préoccupation est d'autant plus grande que certaines espèces possèdent un statut emblématique comme le grand héron, ou encore sportif, comme le doré jaune. Dans l'espoir de protéger et de préserver ces richesses, ce document se veut un premier pas dans la cueillette d'informations relatives au marnage, qui pourrait permettre d'orienter l'élaboration éventuelle d'une étude plus complète et spécifique au Grand lac Saint-François visant à mieux documenter les effets engendrés par cette pratique.

2- MISE EN SITUATION

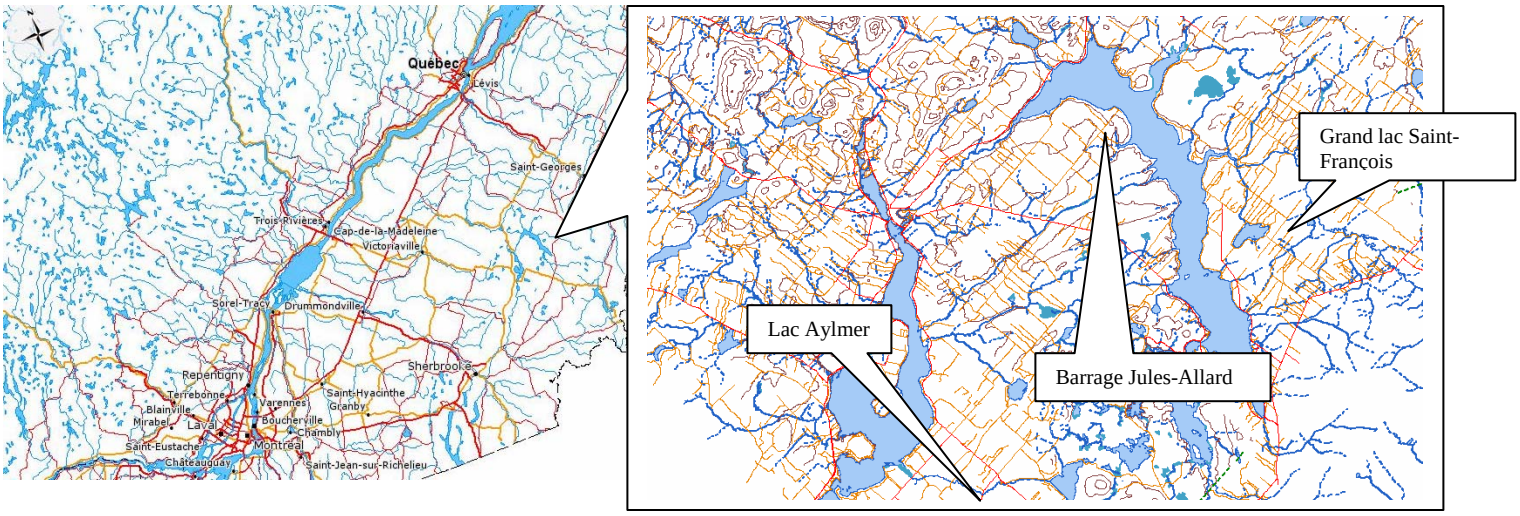


Figure 1. Localisation du Grand lac Saint-François

Le Grand lac Saint-François est situé à la frontière séparant les régions de la Chaudière-Appalaches et de l'Estrie, tout près de la ville de Thetford Mines. D'une superficie de 51,2 km^2, il est le plus grand lac de la région de la Chaudière-Appalaches, suivi de près par le lac Aylmer. Autrefois reconnu comme l'un des meilleurs lacs pour la pêche sportive, notamment pour celle au doré jaune, le Grand lac Saint-François est maintenant devenu un site de villégiature où les activités nautiques sont très répandues. Le parc national de Frontenac, fondé en 1987, occupe une partie importante du lac et de ses environs. Situé à 289 mètres au-dessus du niveau de la mer, le Grand lac Saint-François présente une longueur maximale de 27 kilomètres, une largeur moyenne de 1,7 kilomètre, une profondeur maximale de 40 mètres et une profondeur moyenne de 16 mètres. En 1917, le barrage Jules-Allard fut construit à l'exutoire du lac, résultant en une remontée des eaux de l'ordre de 7 mètres. Son établissement a ainsi entraîné la formation de plusieurs baies artificielles qui se retrouvent asséchées lors des périodes de basses eaux.

L'Association des Riverains du Grand lac Saint-François veille à la protection et à la préservation de la santé du lac. Cette association s'est d'ailleurs révélée très dynamique et proactive dans la sensibilisation des riverains ainsi que pour leur participation à de nombreux comités ou études concernant le lac. Mentionnons tout particulièrement le comité de consultation sur la gestion des eaux du Haut Saint-François qui est issu des

efforts des associations de riverains des lacs Aylmer et Saint-François. Ce genre de comportement consciencieux et responsable dont fait preuve cette association encourage les instances municipales et gouvernementales à participer aux efforts visant à préserver et à améliorer la santé de cet important plan d'eau.

Le barrage Jules-Allard aujourd'hui

Au moment de sa construction en 1917, alors que l'activité économique principale de la région était la coupe forestière, le barrage Jules-Allard avait comme principal but de permettre la « drave » des billots de bois vers l'aval de la rivière Saint-François. Par la suite, avec la construction de centrales hydroélectriques en aval et les changements de moyens de transport du bois, les principales fonctions attribuées au barrage sont devenues la régularisation du débit de la rivière Saint-François pour éviter les inondations en aval et la création d'une réserve d'eau pour alimenter de petites centrales hydro-électriques. Le barrage Jules-Allard fut reconstruit en 1987 pour mieux l'adapter à sa nouvelle vocation.

L'activité du barrage est régie par le Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) qui relève du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). Les gestionnaires doivent régulariser le niveau d'eau du lac de façon à protéger des inondations les habitants vivant en aval du lac sur les bords de la rivière Saint-François. Cela demande donc que le niveau d'eau du lac soit tenu bas en hiver, afin d'agir comme réserve tampon lors de la crue printanière. La gestion du barrage doit toutefois tenir compte de plusieurs autres impératifs, comme par exemple les activités de villégiature qui demandent un niveau d'eau plus élevé pendant la période estivale, ou encore la protection de la fraie du doré jaune qui sera abordée davantage dans une autre section du présent document. Compte tenu de toutes ces contraintes, la différence entre les niveaux d'eau estival et hivernal peut atteindre plus de 7 mètres, mais se situe généralement, selon les données du centre d'expertise hydrique du Québec, aux alentours de 5,7 mètres. Bien qu'il existe d'autres endroits dans le monde où un marnage d'amplitude semblable soit effectué, il est rare que des études aient été réalisées sur les impacts d'une telle variation ainsi que sur ses effets quand à la composition et la santé des écosystèmes d'eau douce.

Entre les mois de juin et d'août, le niveau d'eau du lac Saint-François reste sensiblement le même. Par contre, dès le mois de décembre, l'eau est expulsée par une vanne de fond,

diminuant ainsi le niveau du lac de 5,5 à plus de 7 mètres. Cet état est conservé pour l'hiver et ce n'est que vers le mois d'avril que le niveau de l'eau recommence à monter pour atteindre, vers le début mai, son niveau estival (figure 2).

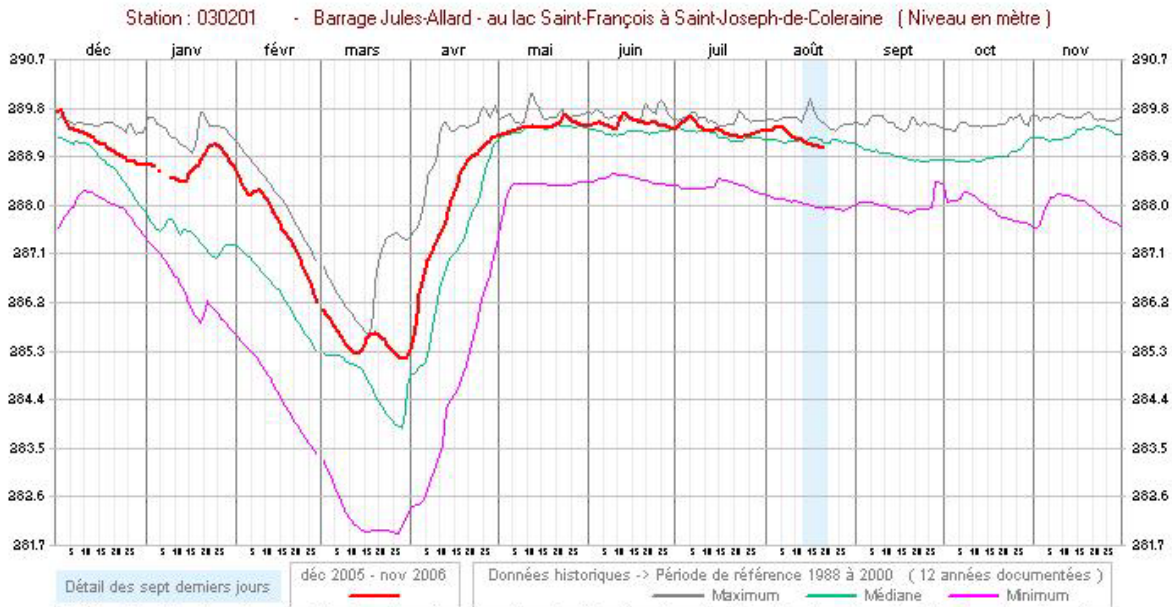


Figure 2. Variations des niveaux (mètres) du lac Saint-François (selon CEHQ)

Plusieurs baies sont ainsi inondées durant la période estivale alors qu'elles sont asséchées pendant l'hiver. Ce phénomène pourrait avoir de sérieuses conséquences non seulement pour les espèces animales se reproduisant dans ce genre de baies peu profondes, mais aussi pour la flore composant la bande de végétation transitoire entre l'écosystème terrestre et l'écosystème aquatique (écotone), qui est d'une grande valeur écologique. De plus, les impacts du marnage pourraient se faire ressentir sur d'autres espèces animales présentes dans le milieu, comme les oiseaux pêcheurs ou les petits mammifères. Les altérations hydrologiques comme le marnage peuvent donc avoir de sérieuses conséquences sur l'accessibilité et la qualité des habitats. Elles peuvent aussi créer des effets plus subtils, comme l'isolation génétique des populations, la détérioration de cycles alimentaires, la baisse de productivité du milieu ou encore la diminution de la biodiversité (Rosenberg et *al.* 2000). Les chapitres qui suivent constituent ainsi une revue bibliographique des publications pertinentes présentes dans la littérature scientifique relativement aux effets constatés ou potentiels du marnage sur différentes espèces animales et végétales.

Même si le présent rapport s'adresse plus particulièrement à la problématique du Grand lac Saint-François, compte tenu de l'ampleur du marnage qu'on y crée, il demeure tout de même pertinent pour d'autres plans d'eau comme par exemple le lac Aylmer, même si le marnage de ce dernier est d'un degré moindre.

3- LES IMPACTS DU MARNAGE

3.1 Les impacts du marnage sur la flore

Les plantes aquatiques sont des végétaux dont les parties utiles pour la photosynthèse se trouvent en permanence ou temporairement sous l'eau, près de la surface. Le terme de macrophyte désigne toutes les plantes aquatiques visibles à l'œil nu, qu'il s'agisse de plantes à fleurs, de fougères, de mousses ou d'algues. Les macrophytes aquatiques sont généralement des éléments essentiels dans les milieux aquatiques. Ils structurent l'habitat des poissons et des organismes de plus petite taille (bactéries, micro-algues et invertébrés), les protègent des courants et des prédateurs, abritent leurs œufs et, comme producteurs primaires, constituent eux-mêmes une importante source de nourriture. Ils jouent en outre un rôle essentiel dans le bilan en oxygène et en nutriments des plans d'eau (Göggle, 2005). Une variation du niveau d'eau d'un lac peut avoir des impacts considérables sur les communautés de macrophytes, affectant possiblement l'écosystème du lac en entier.

Nymphe odorante
Photo : René Charest © Sépaq

3.1.1 Problème de colonisation et de développement

Les variations du niveau de l'eau constituent une force dominante qui influence grandement la distribution, la composition et la biomasse des zones humides riveraines (Hudon et *al.*, 2005). D'un point de vue purement végétal, les variations de niveau d'eau représentent un facteur dommageable pour la dynamique de colonisation des zones de

retenue, tant au point de vue de la diversité que de l'abondance des végétaux. Ainsi, la végétation peut avoir du mal à s'implanter et à former une couverture homogène et protectrice, ce qui augmente la sensibilité des berges à l'érosion et les rend inhospitalières vis-à-vis la faune (Fraisse, 1999). De plus, un fort marnage provoque en période hivernale, l'émergence des rhizomes de plantes d'herbiers tels que *Polygonum amphibium, Nuphar variegatum, Brasenia schreberi et Sparganium sp*. Ces derniers, non protégés par la couche d'eau, gèlent et voient leur croissance ralentie au printemps. Le mécanisme de création de grands herbiers est ainsi altéré. Les jeunes pousses sont particulièrement vulnérables aux changements de niveau d'eau qui peuvent les placer en eaux trop profondes ou boueuses, ce qui les empêchent donc d'avoir accès à une quantité suffisante de lumière. Elles peuvent aussi se retrouver en eaux peu profondes et ainsi être exposées à la turbulence, la dessiccation ou encore à l'enfouissement sous les sédiments (Smart et Dick 1999). En comparaison à profondeurs équivalentes, les herbiers et les marais du lac de la Barbue qui ne sont pas soumis à un fort marnage artificiel, se développent plus vite, plus abondamment et plus précocement en saison que ceux de la Baie Sauvage du lac Saint-François, qui eux sont asséchés en hiver (Philippe et Ruaux, 2002).

3.1.2 Sélection et biodiversité

Une des principales conséquences majeures du marnage sur la flore semble se situer au niveau de la composition des communautés. Selon une étude française, le développement végétal serait freiné lorsque la période d'émergence coïncide avec la période hivernale. En effet, cela obligerait parfois les végétaux à boucler leur cycle phénologique à contre-saison, c'est-à-dire en hiver (Fraisse, 1999). De ce fait, une sélection des espèces capables de subsister et de boucler leur cycle vital dans de telles conditions est inévitable, aux dépens d'autres espèces végétales moins adaptées à ces changements de niveau de l'eau. Par exemple, le marnage imposerait, pour la portion la plus immergée des berges, une pression sélective importante favorisant les espèces fortement tolérantes et résilientes, comme *Polygonum spp*., *Leersia* et les algues filamenteuses (Hudon, 1997). Dans l'éventualité où aucune espèce fortement tolérante ne se retrouve à proximité, une berge soumise à un marnage sévère se dénudera et deviendra stérile. Il en résultera une destruction des biotopes amphibies et pérennes, soit les zones de frayères pour le poisson, ainsi que les zones de couvert et de nourriture pour l'avifaune et la faune terrestre (Fraisse, 1999).

Cependant, il est important de mentionner que des changements dans le niveau d'eau n'ont pas seulement des effets négatifs. Il est normal que le niveau d'un lac varie légèrement selon la période de l'année et les conditions climatiques. Un niveau d'eau trop stable pourrait réduire l'hétérogénéité du milieu, diminuant ainsi la biodiversité en plus d'augmenter les chances que des plantes terrestres envahissent l'espace (Hawes, 2003). En fait, il semble que la biodiversité en général soit corrélée avec le niveau de perturbation du milieu. Un niveau de perturbation « intermédiaire » correspond à un maximum de biodiversité alors que l'absence ou de trop fortes perturbations correspondent à une faible biodiversité (Figure 3). L'ampleur du marnage au lac Saint-François le classe du côté droit de la courbe.

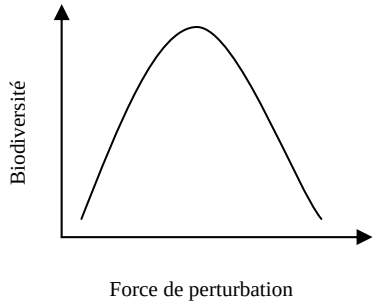


Figure 3. Relation entre la biodiversité et la force de perturbation d'un milieu.

Le niveau optimal de perturbation est variable et dépend de plusieurs facteurs, comme de sa nature (vague, courant, vent, température, etc.), de la géomorphologie du milieu (lac, marais, montagnes, etc), mais surtout des espèces animales et végétales présentes. Il a été avancé que le marnage pourrait avoir un effet sur l'envahissement des berges du Grand lac Saint-François par le roseau commun (phragmite), une espèce introduite envahissante de plus en plus présente au Québec. M. René Charest, responsable du service de la conservation et de l'éducation au parc national de Frontenac, a d'ailleurs émis cette hypothèse dans un rapport sur le suivi des populations de roseau commun au Grand lac Saint-François. Si l'augmentation de roseau commun au détriment d'espèces indigènes s'avère être le résultat direct du marnage, il y aura réduction de la biodiversité végétale du milieu. L'habitat de ces organismes en serait alors modifié et pourra également contribuer à diminuer la diversité faunique locale.

En conclusion, pour le bénéfice de la santé des lacs, il est intéressant de savoir que les zones de végétations riveraines sont de bons indicateurs de leur santé écologique (Hawes, 2003). De plus, il est important de mentionner que les zones de végétation riveraines sont importantes d'un point de vue faunique, car elles représentent des habitats clés pour de nombreuses espèces animales qui prennent avantage du couvert et des sources de nourritures qui leur sont offertes par les macrophytes qui croissent, se développent et meurent. La perte de biodiversité et la dénudation des berges sont des problèmes causés par le marnage qui ont de troublantes répercussions sur la faune du lac.

3.2 Les impacts du marnage sur les macro-invertébrés ou macro-zoobenthos

La dénomination de « macro-invertébrés benthiques » fait référence à la faune benthique visible à l'oeil nu. Elle englobe les insectes, crustacés, mollusques, sangsues, vers, acariens et autres. Ces groupes sont d'une importance capitale dans l'écosystème d'un lac puisqu'ils dégradent la matière organique, mangent des algues et surtout, servent de nourriture pour une multitude d'espèces de poissons. Ils sont donc à la base de l'apport d'énergie dans l'écosystème limnologique. Plusieurs études démontrent que la biodiversité des macro-

invertébrés est un bon indicateur de la santé d'un lac ou d'une rivière. D'ailleurs, plusieurs pays utilisent cette caractéristique depuis longtemps dans l'évaluation de la qualité de leurs écosystèmes aquatiques. Pour évaluer la qualité de l'eau, la richesse spécifique en groupes d'éphémères (éphéméroptères), de perles (plécoptères) et de phryganes (trichoptères) est souvent utilisée comme critère de qualité d'habitat: plus un cours d'eau est riche en espèces correspondantes, meilleur est son état (Göggle, 2006).

Écrevisse

3.2.1 La perte d'habitat

Évidemment, les organismes benthiques de la zone littorale sont grandement influencés par les changements de niveau d'eau. En fait, le maintien de communautés prolifiques de macro-invertébrés dépend non seulement de la bonne qualité de l'eau, mais aussi des caractéristiques morphologiques naturelles du plan d'eau. Une baisse importante du niveau d'eau expose de larges zones de sédiments littoraux à l'action des vagues et du vent, ce qui peut entraîner une augmentation de l'érosion des sédiments, une perte de matière organique, une perte de macrophytes et une dégradation de la qualité et de la structure de l'habitat. Par exemple, la réduction des lits de macrophytes dans les zones de bas niveau d'eau pourrait réduire la complexité de l'habitat (i.e., aire de surface, accessibilité de la niche) et donc l'abondance des macro-invertébrés benthiques pourrait y être plus réduite que dans les zones naturelles, où les densités de macrophytes sont importantes (Furey et *al*., 2006). Les stades de développement de beaucoup d'espèces sont par exemple liés à la présence d'interstices dans le substrat. Si, à cause du marnage, l'érosion des berges dénudées s'accentue, ces interstices seront possiblement colmatés, ce qui peut provoquer la perte de biotopes pour certaines espèces. Pour passer du stade larvaire au stade adulte, plusieurs espèces ont besoin de structures bien ancrées sur les rives comme des plantes, des souches d'arbres morts ou encore des blocs rocheux (Göggle, 2006). La variation du niveau de l'eau, en plus de nuire au développement d'une de ces structures (soit les plantes), peut réduire leur accessibilité et donc nuire au développement des macro-invertébrés. Bien sûr, comme les macro-invertébrés sont sensibles au gel et à la

dessiccation par l'air, une baisse subite du niveau de l'eau peut avoir de sérieux impacts sur la survie des larves d'insectes et des autres invertébrés pendant la saison hivernale. Enfin, une baisse de niveau d'eau peut entraîner un manque d'oxygène dissous dans l'eau et des problèmes d'abrasion des berges, favorisant ainsi l'eutrophisation du lac.

3.2.2 La composition des communautés

La structure et la distribution des communautés de macro-invertébrés benthiques que l'on peut trouver dans le benthos varient en fonction des caractéristiques morphologiques et géochimiques des sédiments, de la qualité et de la quantité des détritus, de la biomasse en macrophytes et de la complexité de l'habitat. Comme le marnage change significativement ces caractéristiques, des effets indirects sur les communautés d'invertébrés sont donc à prévoir. Une étude récente effectuée sur l'île de Vancouver, portant sur la composition des populations de macro-invertébrés benthiques, tire la conclusion que la densité et la biomasse de ceux-ci sont généralement plus grandes dans un lac réservoir influencé par un changement saisonnier important de son niveau d'eau (marnage) que dans un lac naturel où les changements du niveau d'eau sont minimes (Furey et *al*., 2006). Les auteurs mentionnent toutefois qu'il semble y avoir un changement dans la composition des populations, les espèces exprimant des caractères de survie de type « r » seraient favorisées, soit des organismes de petite taille se reproduisant en grand nombre. Les espèces de la famille des chironomidés sont de bons exemples de ce genre de stratégie, ce qui facilite leur colonisation et leur survie dans des lacs réservoirs. Cette conclusion est contraire à plusieurs autres études qui avaient démontré qu'habituellement, les macro-invertébrés sont moins abondants dans les lacs réservoirs que dans les lacs naturels. Il semble que la relation entre la biodiversité et la force de perturbation illustrée à la figure 3 s'applique donc aussi aux communautés de macro-invertébrés.

Comme on peut le constater, le marnage peut avoir de sérieux impacts sur les macro-invertébrés, du point de vue de l'habitat, de la densité et de la composition des populations. Bien que les effets directement attribuables au marnage sur les communautés de macro-invertébrés soient faciles à observer, il est difficile de dire à quel point ces perturbations influenceront les niveaux trophiques supérieurs. Sur ce point, Furey et *al.* (2006) indiquent que différents régimes de régulation du niveau de l'eau peuvent occasionner des impacts significatifs sur le réseau alimentaire benthique et sur le transfert vertical de l'énergie et des nutriments au niveau pélagique. Une forte majorité d'études s'entendent pour dire que la régulation des niveaux d'eau dans un lac réservoir peut avoir de grands impacts sur les communautés d'organismes vivants dans le benthos et qu'ils ont une portée bien plus grande que les communautés littorales, étant donné l'importance des macro-invertébrés pour les processus dans les réseaux alimentaires, ainsi que les transferts d'énergie entre les niveaux trophiques.

Enfin, une recherche sur les impacts du marnage en Suisse a aussi démontré qu'il est possible d'établir un lien direct entre le marnage et l'échouage par rapport à la dérive des organismes(Meile 2006).

3.3 Les impacts du marnage sur les poissons

Les conséquences du marnage sur la faune ichthyenne du Grand lac Saint-François constitue l'une des principales préoccupations des riverains et ce, depuis plusieurs années. Plusieurs pensent que le marnage sévère constitue une nuisance à la reproduction et une explication plausible de la forte diminution dans l'abondance de certaines espèces comme le doré jaune. Dans une perspective objective sur le sujet, voici, selon la littérature, les impacts possibles du marnage sur la faune ichthyenne.

Grand brochet

3.3.1 Le succès reproducteur

Selon un rapport sur l'état de la population de doré jaune au Grand lac Saint-François (Major et *al.*, 2001), une relation significative a été établie entre le recrutement de dorés et le niveau d'eau du lac lors de la reproduction de cette espèce. En effet, l'abondance de dorés a diminué de façon importante et systématique lors des années présentant un niveau d'eau inférieur à 286,1 mètres pendant la période de fraie et d'alevinage. Lors des années où le niveau d'eau est supérieur à cette valeur, le recrutement de dorés présente une certaine variabilité typique de cette espèce. Cette étroite relation entre le recrutement et le niveau d'eau pourrait être due à une perte d'habitats d'alevinage sur le pourtour du lac, ou encore à l'accessibilité restreinte à certaines frayères en période de niveaux d'eau très bas. Il est fort probable que les impacts du marnage se fassent également ressentir par d'autres espèces puisque la perchaude et le brochet utilisent des zones de végétation peu profondes comme habitat de fraie. Des brochets ont d'ailleurs été observés en 1998 tentant en vain d'accéder à des zones de végétation exondées par le marnage (Luc Major 2006, comm. pers.). Le même type d'observation de brochets et de dorés jaunes incapables d'accéder à leurs sites de fraie a déjà été répertorié dans d'autres plans d'eau soumis à un marnage similaire (Gaboury et Patalas,1983). De plus, ces auteurs mentionnent qu'une baisse prononcée du niveau de l'eau pendant la période hivernale diminue le succès de la

reproduction du grand corégone et du cisco de lac, deux espèces se reproduisant tard à l'automne. Les frayères deviennent complètement asséchées, ce qui entraîne la mort des œufs par déshydratation. Ces mêmes situations ont été documentées par une étude sur les effets du marnage dans le lac Namakan et le lac Rainy (Kitchell et Koshinsky, 1996). Les auteurs affirment que le niveau d'eau printanier tardait trop longtemps à monter pour procurer un accès adéquat aux sites de fraie pour le doré. De plus, le niveau de l'eau demeurait trop élevé et trop stable en été pour revégétaliser les zones de fraie du doré, et tombait trop bas en hiver pour préserver les œufs de corégone ainsi que les organismes servant de nourriture importante comme les invertébrés. L'inondation de la végétation riveraine semble par contre augmenter la croissance du doré jaune, du grand brochet, de la carpe et de plusieurs autres espèces de poissons (Bryan et *al*., 1995).

Selon Bonvechio et Allen (2005), il en serait de même pour l'achigan, pour lequel la force de recrutement est corrélée avec le niveau d'eau au moment de la reproduction et des premiers stades de vie. Un haut niveau lui procure un apport important de nourriture, de plus grandes zones de reproduction et des abris contre la prédation. Certaines espèces, dont l'achigan à petite bouche, ne fraieront pas tant et aussi longtemps que les niveaux d'eau ne seront pas assez élevés pour leurs exigences.

Les variations du niveau de l'eau font changer la profondeur du lac, rendant ainsi certains habitats moins optimaux pour la ponte des œufs et moins attrayants pour les reproducteurs. La désertion des mâles pour ces habitats peut avoir de sérieuses conséquences puisqu'il a été démontré que la survie de certains poissons, comme le crapet de roche, dépend directement de la quantité de protection qui leur est accordée par les mâles protecteurs lors de leurs premiers stades de vie (Clark et *al.*, 1998). La survie des oeufs semble également être liée directement à l'importance du marnage pendant les périodes de fraie. Un niveau d'eau bas en hiver causera des situations de dessiccation des œufs, un manque d'oxygène, un apport important de sédiments et une turbidité accrue; tous des phénomènes diminuant les chances de survie des œufs (Sutela et *al.*, 2002).

3.3.2 La température et l'oxygénation de l'eau

Le marnage peut avoir des impacts sur la température et la stratification thermique de l'eau, influençant directement et indirectement les espèces ichthyennes. Par exemple, le doré, qui est extrêmement sensible à la température, se verra forcé de se déplacer pour retrouver des profondeurs auxquelles la température sera adéquate pour lui. Cependant, la quantité d'oxygène peut devenir un facteur limitant à une plus grande profondeur. De plus, ses proies de prédilection comme les crapets, peuvent réagir différemment à ces changements de température. En ne recherchant pas les mêmes profondeurs idéales que le doré, ce dernier peut ainsi se voir privé d'une importante source de nourriture. Il en sera donc clairement affecté à moins qu'il ne trouve une proie de remplacement. Bien que théorique, cette relation entre changement de température et succès alimentaire causée par le marnage devrait être considérée et vérifiée ultérieurement. La baisse du niveau de l'eau en hiver peut induire une autre problématique, c'est-à-dire une baisse plus importante de la

température de l'eau en profondeur, ce qui peut freiner le développement de certaines espèces de poissons, comme le doré jaune qui cesse de se développer en dessous de 12° C. Un bas niveau d'eau peut aussi être néfaste pour d'autres espèces de poissons, principalement à cause d'un manque en oxygène (Manitoba Minister of Conservation, 2003). La création d'un réservoir est aussi susceptible de modifier le régime thermique des eaux qui se déversent vers l'aval du barrage. L'été, la température de l'eau peut tendre à être inférieure à la normale. Par contre, lors de la période hivernale, l'eau peut être plus chaude qu'à l'habitude. Le régime thermique modifié de façon importante peut ainsi affecter le taux de croissance des poissons, les dates de reproduction et d'éclosion de leurs œufs et même l'émergence des alevins (chez les salmonidés) (Hydro-Québec et MRN, 2002).

3.3.3 La prédation

En réduisant l'habitat disponible pour les poissons, la baisse du niveau de l'eau en hiver tend à les concentrer, changeant de cette manière la dynamique des interactions entre les organismes aquatiques. Olden et Jackson (2001) ont d'ailleurs démontré qu'une diminution du niveau d'eau augmentait significativement la prédation. En effet, lorsque le niveau d'eau est très bas, les proies sont beaucoup plus accessibles pour les prédateurs. Dès lors, une augmentation de la croissance de ces derniers est observable. Par contre, la croissance des prédateurs peut tendre à diminuer si cette situation de basses eaux persiste, car à un certain point, la densité de proies, ainsi que la production des macro-invertébrés et des petits poissons, diminuent (Bryan et *al*.,1995). La concentration des individus dans un espace plus retreint lors du marnage hivernal est réelle, mais les impacts en découlant peuvent varier d'un écosystème à un autre.

3.3.4 Alimentation

Les fluctuations de niveaux affectent le succès et le régime alimentaire de plusieurs espèces de poissons. La température de l'eau et la grandeur de l'habitat disponible, mais surtout l'accessibilité aux zones d'alimentation, représentent des facteurs qui influenceront l'alimentation des individus. Par exemple, l'alimentation des juvéniles de nombreuses espèces se compose principalement de petits invertébrés. Une réduction de ceux-ci ou de leur accessibilité peut entraîner une difficulté d'alimentation pour les juvéniles et éventuellement une réduction du recrutement. La disposition des macrophytes et la morphologie du substrat sont deux autres facteurs qui influencent le succès alimentaire des poissons et qui sont affectés par le marnage.

Les espèces fauniques aquatiques peuvent êtres vulnérables aux changements de niveau d'eau de façon directe, par l'effet de la profondeur de l'eau ou par les caractéristiques de qualité de l'eau reliées à son niveau. Elles peuvent aussi être affectées de façon indirecte par l'effet de l'hydrologie sur l'accessibilité au zones humides herbacées critiques pour

l'accomplissement des différents stades leur vie (Hudon et *al.*, 2005). Il est connu que certaines d'entre elles sont plus aptes à survivre que d'autres à des changements dans leur environnement. Par contre, ces changements naturels sont souvent de l'ordre de quelques centimètres lorsque l'on parle de niveau d'eau dans des lacs, ce qui est loin des 7 mètres souvent imposés aux populations du Grand lac Saint-François. D'autant plus que les variations à court terme de l'environnement influencent les communautés de poissons et que pour persister, les animaux aquatiques doivent êtres adaptés à survivre aux contraintes d'une baisse périodique graduelle du plan d'eau et donc, de sa superficie. Alors, est-il possible de s'adapter à une différence aussi importante que celle observée au Grandu lac Saint-François et en si peu de temps? L'adaptation est d'autant plus difficile pour des espèces comme le doré jaune et le grand brochet qui utilisent les habitats littoraux. Il est aussi particulièrement intéressant de noter que Kitchell et Koshinsky (1996) n'ont observé aucun signe d'adaptation compensatoire dans les stratégies de vie et de reproduction des communautés de poissons des lacs réservoirs Namakan et Rainy et cela, même après des dizaines d'années consécutives de marnage.

3.3.5 Isolation génétique des populations

En plus des répercussions du marnage, le barrage lui-même peut avoir des conséquences sérieuses sur la faune piscicole. En effet, le barrage Jules-Allard est dépourvu de structure permettant aux poissons remontant la rivière Saint-François d'accéder au lac. Il ne peut donc pas y avoir de mélange entre les populations de poissons présentes dans le lac et celles en aval de celui-ci. Ce phénomène peut avoir comme conséquence une diminution de la diversité génétique de la population du lac Saint-François et donc une plus grande vulnérabilité de celle-ci face aux maladies. Une perte partielle de son pouvoir d'acclimatation face aux changements des conditions du milieu peut également survenir. De plus, tel que démontré par la popularité de la pêche sportive printanière juste en aval du barrage, il semble que des géniteurs du lac se retrouvent en aval du barrage au printemps. Comme ceux-ci se retrouvent dans l'impossibilité de retourner au lac, il peut en résulter une perte nette de poissons pour le Grand lac Saint-François. Il serait toutefois surprenant que ce phénomène soit d'une amplitude assez importante pour expliquer la diminution de l'abondance de certaines espèces de poissons comme le doré jaune.

3.4 Les impacts du marnage sur les amphibiens

Même s'ils sont beaucoup plus tolérants à la dessiccation que les macro-invertébrés, les amphibiens vivant à proximité des lacs dépendent eux aussi de l'accessibilité à l'eau. Ils constituent, entre autres, une source importante de nourriture pour la faune aquatique, mais aussi pour la faune terrestre et aviaire. Ils possèdent donc un rôle essentiel dans l'écosystème. Les abords du lac Saint-François abriteraient 10 espèces d'amphibiens, soit le crapaud d'Amérique, la rainette crucifère, la grenouille des bois, la grenouille léopard, la

grenouille des marais, la grenouille verte, la salamandre maculée, la salamandre rayée et le triton vert.

Triton vert juvénile

Crapeau d'Amérique

3.4.1 Perte d'habitat

La baisse du niveau d'eau en hiver pourrait avoir un effet néfaste sur les amphibiens. À la fin de l'été, ceux-ci s'enfouissent dans la vase au fond de l'eau. Or, le niveau d'eau chutant, ils se retrouvent dans une vase sèche qui ne peut jouer son rôle d'isolant durant la mauvaise saison. Ces animaux qui respirent par la peau doivent donc toujours être dans un milieu humide pour que les échanges gazeux entre l'air et leur organisme se réalisent. L'assèchement des vases pourrait donc entraîner une perte partielle des populations d'amphibiens qui s'en servent pour se cacher (Philippe et Ruaux, 2002).

3.4.2 Succès reproducteur

Comme le niveau du lac ne revient pas à son maximum avant le début de mai, il se pourrait que la reproduction de quelques espèces soit retardée, comme par exemple, celle du crapaud d'Amérique, de la grenouille des bois, de la grenouille léopard et de la salamandre maculée, lesquelles se reproduisent au printemps. De plus, il est possible que les œufs déposés dans des mares avant la remontée complète du niveau d'eau se retrouvent à des profondeurs importantes lors de leur éclosion, ce qui pourrait entraîner des retombées négatives sur la survie des jeunes à court terme.

La durée d'immersion des oeufs constitue un élément particulièrement important parce qu'il détermine le temps disponible pour le développement larvaire d'un individu qui conditionne lui-même le succès de la reproduction (Grillas et *al.*, 2004). Certaines espèces ont d'ailleurs un cycle larvaire très long (2 à 4 mois). Il serait toutefois étonnant que la durée d'immersion au Grand lac Saint-François soit problématique pour le développement larvaire des amphibiens puisque la période de hautes eaux est maintenue pendant environ 7 mois et aussi parce que les amphibiens sont capables, dans une certaine mesure, d'adapter

leur durée de développement larvaire à la durée de mise en eau. Le marnage pourrait par contre avoir des effets négatifs sur les populations d'amphibiens habitant dans les baies les plus tardivement submergées au printemps et les plus hâtivement émergées à l'automne, puisque l'hydro-période est d'une grande importance pour la reproduction et la persistance des espèces dans le temps. Elle conditionne largement le succès de la reproduction et détermine conséquemment quelles espèces sont présentes sur un site donné.

En lien avec les impacts du marnage sur les communautés de macrophytes, il est à noter que la présence d'une végétation aquatique sera déterminante pour plusieurs espèces, notamment pour y fixer leurs œufs (triton et rainette).

Les amphibiens sont aussi considérés comme des sentinelles écologiques. C'est-à-dire que des perturbations relatives à leur abondance, leur santé et leur succès reproducteur constituent des signes précurseurs d'éventuels problèmes chez d'autres espèces ainsi que dans leurs milieux. Ils sont donc de bons indicateurs de la qualité d'un écosystème.

Il est donc important de se préoccuper du sort des amphibiens puisque 3 des 9 espèces présentes au Grand lac Saint-François sont considérées comme menacées, vulnérables ou susceptibles de l'être (MRNF, 2007).

3.5 Les impacts du marnage sur les reptiles

Seules deux espèces (à confirmer) de reptiles sont répertoriées au Grand lac Saint-François dans l'Atlas des amphibiens et reptiles du Québec, soit la couleuvre rayée et la couleuvre à ventre rouge. Pour ces deux espèces, il est fort possible que les impacts du marnage soient minimes. En effet, bien qu'elles préconisent les étangs, les marais, les lacs et les rivières comme habitats, elles sont très opportunistes et s'adaptent facilement à divers autres milieux comme les forêts, les champs et les endroits perturbés tels les constructions anthropiques. Par contre, les couleuvres sont de très bonnes nageuses qui se nourrissent principalement de vers de terre, de petits poissons, de têtards, de salamandres, de crapauds et de grenouilles. Comme plusieurs de ces proies risquent d'être affectées par le marnage, il est possible que leur succès alimentaire en soit perturbé lors de la période de changement du niveau d'eau, ou qu'elles aient à se rabattre sur d'autres types de proie. Il serait surprenant que la baisse du niveau de l'eau entraîne une mortalité de couleuvres durant l'hiver, puisque celles-ci n'hibernent pas dans des zones affectées par le marnage.

3.6 Les impacts du marnage sur les oiseaux

Bien que n'étant pas strictement aquatiques, les oiseaux vivant aux alentours d'un lac font partie intégrante de l'écosystème de celui-ci. Pour eux, le lac et ses berges constituent une source de nourriture importante, une zone de nidification, un espace de protection contre les prédateurs ainsi qu'une zone de repos pour les espèces migratrices. Les altérations dans

la géomorphologie des berges, dans la végétation riveraine et dans la distribution des organismes causées par le marnage ont donc des impacts importants sur les espèces d'oiseaux utilisant cet habitat.

3.6.1 Nidification

Les berges partiellement inondées du Grand lac Saint-François servent de lieu de nidification à plusieurs espèces d'oiseaux. En effet, il a été possible de certifier la nidification de certains anatidés dans le secteur de la baie Sauvage, soit le canard colvert, le canard noir et le grand harle. Les effets du marnage sur la nidification de ces espèces sont méconnus bien qu'il soit possible qu'une variation du niveau de l'eau pendant cette période nuise à certaines espèces d'oiseaux. De plus, l'accessibilité à un substrat propice à l'établissement des espèces nichant sur la berge dépend du niveau de l'eau (Powell,1987). Il est difficile de dire si le marnage agit comme perturbation assez importante pour décourager la colonisation de certaines espèces d'oiseaux, qui préfèreront chercher d'autres plans d'eau pour faire leur nid. Il est également possible que certains niveaux d'eau attirent certains oiseaux alors que des niveaux différents peuvent en favoriser d'autres.

Grand héron Photo : Claude Ponthieux © Sépaq

3.6.2 Alimentation

Beaucoup d'oiseaux dépendent plus ou moins fortement des espèces aquatiques pour leur alimentation. Cette alimentation se compose de poissons de différentes tailles, d'amphibiens comme les salamandres ou les grenouilles, et d'invertébrés comme les insectes aquatiques ou les écrevisses. Puisque le marnage peut avoir de sérieux impacts sur

l'abondance, la diversité et la distribution de ces proies potentielles, les oiseaux en seront indirectement affectés.

Les impacts du marnage sur l'avifaune étant peu documentés, il pourrait être intéressant d'élaborer une étude afin de nous éclairer davantage sur le sujet. Il est cependant possible d'anticiper des changements dans le succès reproducteur, le recrutement et le succès alimentaire de certaines espèces.

3.7 Les impacts du marnage sur les mammifères

Plusieurs espèces de mammifères dépendent de près ou de loin de l'accès à l'eau, principalement pour s'alimenter. Par exemple, le rat musqué se nourrit de plantes aquatiques, alors que d'autres espèces préfèrent chasser des poissons, des amphibiens ou encore des invertébrés. La disponibilité de ces ressources alimentaires est donc importante pour leur survie et leur développement. De plus, la présence d'un couvert de végétation est essentielle pour plusieurs espèces de micromammifères puisqu'ils s'en servent pour se camoufler des prédateurs.

Une étude a été effectuée sur les effets d'un marnage hivernal de 2,3 mètres sur les castors du Voyageurs National Park, Minnesota, É.U. Les facteurs considérés étaient le comportement, les déplacements et la mortalité des individus. En période hivernale, les castors du réservoir ont passé moins de temps dans leurs huttes que ceux localisés à des endroits où les niveaux d'eau sont stables. Plusieurs ont dû faire davantage de forage sous la glace et ont été incapables d'utiliser pleinement leurs réserves alimentaires. Même si un seul cas de famine mortelle est répertorié, les castors de réservoirs où le niveau de l'eau est régulé ont survécu à l'hiver de façon beaucoup plus difficile que ceux de lacs où le niveau est maintenu élevé. Le marnage a donc affecté le comportement des castors (Smith D.W. and Peterson R.O., 1993). On peut aussi facilement prévoir qu'en été et à l'automne, les castors profitent de la stabilité du niveau de l'eau pour aménager leurs huttes sur les abords des réservoirs. C'est aussi pendant cette période qu'ils emmagasinent leurs réserves de nourriture pour survivre à la saison froide. Par contre, les installations des castors sont exondées lors de l'abaissement du niveau d'eau, perturbant ainsi l'accès à leurs provisions et abris. La remontée d'eau au printemps risque, quand à elle, de détruire les huttes par inondation ou à cause de l'érosion des berges, ou encore de ne pas atteindre un niveau adéquat pour les castors. Les nouveaux-nés, qui sont moins mobiles que leurs parents, sont particulièrement affectés par ce phénomène (Nault 1983).

L'assèchement annuel des marais et autres milieux humides, comme par exemple la Baie aux Rats Musqués du Grand lac Saint-François, risque d'affecter plusieurs espèces dont le rat musqué et le vison d'Amérique (voir annexe 4). En effet, ces espèces créent leurs abris et trouvent plusieurs sources de nourriture végétales (graminées, plantes aquatiques) et animales (amphibiens) dans ces milieux. Il faut mentionner que le rat musqué peut, comme le castor, voir sa demeure (tanière ou hutte) exondée par l'abaissement de l'eau à l'automne. Les individus touchés devront partir à la quête de nouveaux territoires. Comme

pour le castor, il serait donc possible que des nouveaux-nés périssent lors de l'inondation des terriers. Le vison lui, voit son terrain de chasse se modifier sans cesse par les changements de niveau, ce qui le poussera souvent à chercher un secteur plus favorable à son mode de vie (Hydro-Québec et MRN, 2002), c'est-à-dire un territoire avec une bande végétale (herbacée/arbustive/arborescente) suffisante pour lui permettre de se cacher de ses prédateurs. Le vison est généralement apprécié des riverains et des agriculteurs puisqu'il contrôle l'abondance de rats musqués et d'autres petits rongeurs, ceux-ci constituant ses proies de prédilection.

D'autres mammifères sont susceptibles de ressentir les effets du marnage. Par exemple, le raton laveur qui s'alimente de grenouilles, insectes et autres petits mammifères, ainsi que la loutre, un prédateur aquatique carnivore qui consomme des poissons, des oiseaux, des campagnols, des amphibiens et des insectes.

Que ce soit par une diminution résultante de proies ou encore par la destruction de leurs abris, ces espèces sont contraintes à s'adapter (difficilement), se déplacer de façon permanente ou alors de mourir. Une partie additionnelle de biodiversité est donc hypothéquée.

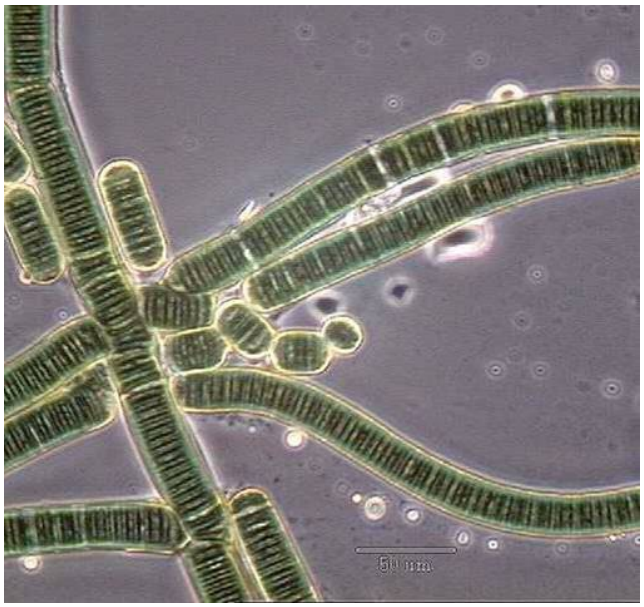
Loutre

3.8 Les cyanobactéries

Partout au Québec, un phénomène des plus inquiétant survient par épisodes de plus en plus récurrents et intensifs durant la période estivale. Les cyanobactéries, aussi connu sous le nom d'algues bleu-vert, ont proliféré sur plus de 70 plans d'eau québécois lors de l'été 2006 et même davantage cette année (2007), affectant grandement une partie du bassin versant de la rivière Saint-François. Les cyanobactéries, qui voient leur croissance optimisée par l'apport important de nutriments dans les cours d'eau, principalement le phosphore, engendrent l'apparition de fleurs d'eau. Lorsqu'elles meurent, les cyanobactéries libèrent des cyanotoxines qui s'accumulent dans l'eau, la rendant impropre

à la consommation et à la baignade. Les intoxications potentielles qui résultent de ce phénomène peuvent même conduire à la mort. Les riverains des lacs du bassin versant connaissent d'ailleurs de nombreux désagréments depuis quelques années déjà. Même si les lacs naturels sont vulnérables à de tels épisodes de cyanobactéries, il est encore plus préoccupant de constater que le marnage peut contribuer à amplifier la situation. Plusieurs recherches ont été publiées sur l'incidence des régulations de niveau d'eau sur les concentrations de phosphore dans les lacs.

Le phosphore est généralement considéré comme le nutriment limitant des milieux d'eau douce. Il régit l'abondance et la croissance des plantes et des animaux faisant partie intégrante des écosystèmes de lacs. De nombreux problèmes tels la prolifération de plantes, d'algues et une diminution de la qualité de l'eau menant à l'eutrophisation, sont induits par des quantités excessives de phosphore. Dans un lac, la charge interne de phosphore provient entre autre du relâchement à partir des sédiments, vers la colonne d'eau. Lorsque les sédiments s'assèchent par leur exposition à l'air, le relâchement de phosphore augmente de façon variable, mais significative. De plus, s'ils subissent une période de gel, comme en hiver, les sédiments peuvent relâcher jusqu'à 70 fois plus de phosphore (Klotz, Lawrence and Susan, 2000).



Cyanobactéries (vue microscope)

Une autre étude effectuée sur le sujet a réussi à établir un lien entre le marnage et les quantités de matière en suspension et de phosphore exportées par le lac Columbia, situé dans une zone urbaine de l'Ontario. Les concentrations de particules en suspension et celles de phosphore contenues dans l'eau sortant du réservoir ont augmenté drastiquement lors de l'abaissement du niveau de l'eau. Ces hausses ont été attribuées à la remise en suspension des sédiments cohésifs de fond, lors de l'atteinte du niveau critique du lac, soit 0,65 m sous le niveau estival. Les chercheurs ont conclu que le transport en aval peut être

minimisé si la régulation du niveau de l'eau du lac Columbia ne dépasse pas un abaissement de 0,5 m sous le niveau d'été (Price and Al., 2004), à un taux de descente égal ou inférieur à 12 cm par heure afin d'éviter que de jeunes poissons ne s'échouent sur le rivage (Meile, 2006).

Des conclusions similaires avaient préalablement été établies dans une publication relatant l'observation des différences saisonnières de potentiel de sédiments de deux réservoirs australiens, et le relâchement de phosphore en conditions aérobiques. L'auteur conseillait, entre autres, aux gestionnaires de réservoirs, où de grandes quantités de sédiments sont exposées lors de l'abaissement de lacs, de maintenir préférablement de hauts niveaux d'eau, lorsque possible, durant la période estivale, en modifiant les pratiques du marnage (Watts, 2000).

On constate aussi que ces problèmes se répercutent sur les milieux humides qui subissent des perturbations davantage perceptibles puisque leur capacité d'absorption est inférieure aux lacs et réservoirs qui sont généralement plus grands (Qiu and McComb, 1994).

Fleurs d'eau de cyanobactéries

Considérant l'ampleur du phénomène de fleurs d'eau de cyanobactéries sur les lacs du Québec ainsi que l'importance que l'on peut attribuer au phosphore quand au rôle de premier plan qu'il joue dans l'alimentation et la croissance des cyanobactéries, il devient impératif de contrôler toutes les sources ou formes de contribution à l'augmentation du bilan phosphorique de tous les plans et cours d'eau. Les pratiques de marnage doivent tenir compte des impacts qu'elles provoquent, comme par exemple l'augmentation des concentrations de phosphore dans l'eau qui contribue inévitablement à la prolifération de cyanobactéries et aux problèmes qui lui sont attribuables.

3.9 Autres impacts

En dépit de certaines vertus attribuables au marnage, entre autres, de favoriser la restauration de lacs qui présentent des signes d'eutrophisation, comme par exemple le contrôle de certaines espèces de macrophytes indésirables, il reste que son utilisation est très déconseillée pour les lacs qualifiés de mésotrophes (Devidal S., 2007). Rappelons que le Grand lac Saint-François est classé comme lac mésotrophe-eutrophe (Major et al., 2001).

Les sources d'eau potable étant primordiales pour l'être humain, il est préoccupant d'apprendre que les eaux souterraines liées à un réservoir peuvent aussi être influencées par le marnage de ce réservoir. Le niveau des nappes phréatiques peut en effet s'abaisser et même conduire à l'assèchement de puits qui en dépendent. La Direction régionale de l'environnement de Provence-Alpes-Côte d'Azur (France) recommande de ne pas effectuer de régulation artificielle de niveau d'eau, afin de maintenir la stabilité et la qualité des nappes phréatiques ainsi que celles des eaux dormantes. Il est donc important de mentionner que 7 municipalités du bassin versant du Grand lac Saint-François possèdent une prise d'eau potable commune et qu'on retrouve quelques 490 puits individuels (GOGESAF 2007).

Pour ce qui est de la possibilité d'augmentation des concentrations de mercure et de formation de méthylmercure, et étant donné les nombreux facteurs à considérer en ce qui a trait à la transformation du mercure, des études spécifiques au Grand lac Saint-François devraient être effectuées afin d'évaluer les variations de ces concentrations relativement au niveau d'eau. Pour vérifier s'il y a possibilité d'établir un lien entre les deux, voici quelques uns des facteurs à considérer :

- Le temps de rétention hydrique (temps que l'eau reste dans le lac);
- L'abondance de matière organique dans l'eau;
- Le pH du lac;
- La concentration d'oxygène dissous;
- Les conditions transitoires oxiques/anoxiques;
- Le potentiel de migration du mercure avec du fer réduit;
- La température de l'eau.

4- CONCLUSION

La gestion des zones de marnage des systèmes lentiques et courants soumis aux fluctuations de niveau d'eau est souvent délicate. Ces zones sont soumises à de sévères contraintes qui limitent l'implantation d'un couvert végétal et de ce fait, favorise l'érosion des berges, augmente la turbidité de l'eau, favorise le relâchement de phosphore dans la colonne d'eau et diminue même la biodiversité des lacs.

Comme plusieurs études sont contradictoires sur certains points, des recherches plus approfondies devront être effectuées pour les effets du marnage sur les concentrations de nitrites, de nitrates, d'ammonium ainsi que sur le zooplancton contenu dans l'eau des lacs où le niveau de l'eau est contrôlé. Cependant, on constate que les effets de l'hydrologie sur les zones humides créent des changements importants dans la chaîne alimentaire, puisque des conditions de niveaux d'eau très bas favorisent la formation d'habitats propices à certains oiseaux aquatiques et mammifères alors que les conditions de niveaux d'eau plus haut augmentent l'étendue des habitats favorables aux invertébrés, aux poissons ainsi qu'à d'autres espèces d'oiseux et de mammifères (Environnement Canada 2004).

La construction de réservoirs, en plus d'entraver la migration des poissons, peut causer une perte d'habitats terrestres et aquatiques pour la faune et la flore. Elle détruit également des habitats riverains qui supportent des espèces de mammifères semi-aquatiques et de faune ailée. Affectés par un marnage imposé de plusieurs mètres, les nouveaux rivages s'avèrent plutôt réfractaires à toute colonisation végétale et animale. Suite à l'inondation de territoires, un déplacement des populations animales vers de nouveaux habitats peut survenir et provoquer ainsi une compétition avec les populations déjà établies (Conseil de la conservation et de l'environnement, 1988). Par ailleurs, les inondations causent de la mortalité chez les animaux qui ne peuvent s'établir ailleurs en raison du phénomène de territorialité, de la capacité de support du milieu et de la fidélité au site de naissance (Environnement Canada, 1993).

Les fluctuations du niveau de l'eau contribuent également à favoriser le relâchement du phosphore contenu dans les sédiments vers la colonne d'eau. Cette charge de phosphore s'ajoute aux autres sources de nutriments qui alimentent les cyanobactéries. Il peut alors y avoir formation de fleurs d'eau de cyanobactéries, rendant hasardeux tout contact direct avec l'eau. En plus des épisodes de cyanobactéries qui sont néfastes pour la santé humaine, les floraisons de certaines micro-algues et macro-algues accélèrent le processus d'eutrophisation de lacs, soit leur vieillissement prématuré.

Lors de la mise en eau de réservoirs, un autre phénomène inquiétant se produit. Le mercure se solubilise et subit une transformation pour devenir du méthylmercure, une forme qui s'avère être plus toxique et plus persistante dans le milieu. Le méthylmercure peut s'infiltrer dans la chaîne alimentaire, rendant le poisson impropre à la consommation pour les 20 à 30 premières années suivant la construction du réservoir (Gouvernement du Québec, 1992). Éventuellement, il y a contamination des prédateurs qui s'en nourrissent, soit les oiseaux et les mammifères. Plusieurs cas d'une telle bioaccumulation chez l'homme sont répertoriés sur le territoire canadien, notamment sur les réserves autochtones.

Les nappes phréatiques ainsi que les eaux dormantes peuvent aussi être affectées par le marnage. Les gens qui dépendent de celles-ci comme source d'approvisionnement en eau potable peuvent voir leur puit contaminé et même asséché. Il est à noter qu'avec la pénurie mondiale d'eau potable déjà en branle dans de nombreux pays, la préservation de la qualité des réserves d'eau douce est d'une importance cruciale et un aspect d'actualité à prendre très au sérieux.

Enfin, on se rend rapidement compte que les variations du débit hydrique influencent toutes les espèces animales ou végétales riveraines, y compris les êtres humains (Conseil de la conservation et de l'environnement, 1988). Une profonde remise en question se doit d'être faite quand à la pratique du marnage ainsi que sur les répercutions qu'elle engendre. Soulignons particulièrement que la détérioration des milieux aquatiques et humides touche directement à notre patrimoine naturel et culturel qu'on ne peut se permettre de négliger. Il faut se demander si l'adaptation de la nature à l'être humain s'avère être une solution bénéfique pour tous les partis impliqués. Il devient donc déterminant d'attacher une importance prioritaire à tous les facteurs mentionnés afin d'établir une relation saine et équilibrée entre notre développement social, notre économie, nos décisions et actions politiques ainsi que la mise en valeur et la conservation des écosystèmes dans le but d'établir des sociétés responsables et des milieux de vie durables.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Adamus P., Brandt K . (en mise à jour) Impacts on quality of inland wetlands of the U.S. : A survey of indicators, techniques and applications of community level biomonitoring data exerpts from report #EPA/600/390/073, U.S. Environmental Protection Agency.

Bain M., Mills K. (2004) Modeling Hydroecological Relations for Assessing Impacts of Water Regulation Plans on Lake Ontario. Environmental Technical Working Group, International Joint Commission's Lake Ontario, St-Lawrence River Study Board.

Barwick D., Kwak T. J. (2004) Fish Populations Associated with Habitat-Modified Piers and Natural Woody debris in Piedmont Carolina Reservoirs. N. Am. J. Fish. Man. 24:1120-1133

Bonvechio, T. F. et Allen, M. S. (2005) relations Between Hydrological Variables and Year-Class Strenght of Sportfish in Eight Florida Waterbodies. Hydrobiologia 532: 193-207*

Brunaud D. (2005) Rôle du Marnage sur la Biodiversité dans un Étang peu profond du Limousin (France). Thèse de géographie, UMR 6042 GEOLAB CNRS, 39e rue Camille Guérin, 87036 Limoges. 19 pages

Bryan SD, Hill TD, Lynott ST, Duffy WG (1995) The influence of changing water levels and temperatures on the food-habits of walleye in lake Oahe, South-Dakota. J. FreshWater Eco. 10 (1): 1-10**

CHAREST, R. (2006). Bilan du suivi des populations de roseau commun au Grand lac Saint-François. Publication du Parc national de Frontenac.

Chow-Fraser P. (2005) Ecosystem response to changes in water level of Lake Ontario marshes: lessons from the restoration of Cootes Paradise Marsh. Hydrobiologia 539:189-204

Clark M. E., Rose K. A., Chandler J. A., Richter T. J., Orth D. J., Winkle W. V. (1998) Simulating smallmouth bass reproductive success in reservoirs subject to water level fluctuations. Env. Bio. Fish. 51: 161-174*

Cooke, D.G. (1980) Lake level drawdown as a macrophyte control technique, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., EPA/600/J-81/179 (NTIS PB81201337)

Devidal S. (2007) Marnage selon : Solution curatives pour la restauration de lacs présentant des signes d'eutrophisation. Observatoire de l'environnement et du développement durable de l'Université de Sherbrooke.

Dierberg F.E. and Potts J., Workman T., (2003) Field and laboratory assessments for sediment reduction and nutrient control in restoring Mullet Lake (Central Florida) DB Environmental; Rockledge, FL. St. Johns River Water Management District; Palatka, FL

Encina L., Rodriguez-Ruiz A. et Granado-Lorencio C. (2004) Trophic Habits of the Assemblage in an Artificial Freshwater Ecosytem : the Joaquin Costa Reservoir, Spain. Folia Zool. 53(4): 437-449

Environnement Canada (2004) Impact of Water-Level Fluctuations on Aquatic Plants, The Green Lane™, Environment Canada's World Wide Web site: http://www.qc.ec.gc.ca/csl/inf/inf042_e.html*

Fraissé T. (1999) Protection et végétalisation des zones de marnage des plans d'eau, guide méthodologique. Les études des agences de l'Eau, no 66. 96pp.***

Furey P.C., Nordin R. N., Mazumder A. (2006) Littoral benthic macroinvertebrates under contrasting drawdown in a reservoir and a natural lake. J. N. Am. Benthol. Soc. 25(1):19-31**

Gaboury, M. N. et Patalas, W. (1984) Influence of water drawdown on the fish populations of Cross Lake, Manitoba. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 41:118-125*

Göggle W. (2006) EAWAG; système modulaire gradué; Méthodes pour l'appréciation des cours d'eau en Suisse. http://www.modul-stufen-konzept.ch/seiten-f/mzb-f.htm***

Grillas P., Gauthier P., Yavercovski N. & Perennou C. (2004) Les mares temporaires Méditerranéennes *Volume 1* – Enjeux de conservation, fonctionnement et gestion, Station biologique de la Tour du Valat. France*

Hawes I. (2003) Water level fluctuations in Lake Rotoiti and their ecological implications. Report made by NIWA, 7pp. **

Hudon C., Gagnon P., Amyot J.P., Létourneau G., Jean M., Plante C., Rioux D., Deschênes M. (2005) Historical changes in herbaceous wetland distrribution induced by hydrological conditions in Lake Saint-Pierre (St. Lawrence River, Quebec, Canada) Hydrobiologia 539:205-224***

Hudon C. (1997) Impact of water level fluctuations on St-Lawrence River aquatic vegetation. St. Lawrence Center, Environment Canada, 105 McGillST, 7th floor, Montréal, Qc H2Y 2E7, Canada. Christiane.Hudon@ec.gc.ca*

Huusko A., Vuorimies O. et Sutela T. (1996) Temperature- and light-mediated predation by perch on vendace larvae. J. Fish. Bio. 49: 441-457

Hydro-Québec et Ministère des Ressources Naturelles (2002) Régularisation des crues du bassin versant du lac Kénogami – Étude d'impact sur l'environnement Volume 2, Aménagement du réservoir Pikauba.

Jackson J. R. et Noble R. L. (2000) Relationship between Annual Variations in Reservoir Conditions and Largemouth Bass Year-Class Strength. Transaction of the Am. Fish. Soc. 129:699-715

Jones B. (2003) Restoring the Kissimmee river: Early ecological responses. South Florida Water Management District
West Palm Beach, FL

Kitchell J.F. and Koshinsky G.D. (1996) Review of Proposed Changes in Water Level Regulation for Rainy and Namakan Lakes: Their Consequent Ecological Effects on Fisheries and Related Aquatic Ressources. Independent assessments for the International Steering Committee. *

Klotz R.L. and Linn S.A. (2001) Effect of lake drawdown on phosphorus release from sediments. State University of New York College at Cortland, Department of Biological Sciences, Cortland, NY 13045

Kushlan J.A. (1976) Environmental Stability and Fish Community Diversity. Eco 57: pp. 821-825

Levy K.H. Pinellas County Department of Environmental Management; Clearwater, FL **Roman E., Willitizer J. and Champeau T**., Florida Fish and Wildlife Conservation Commission; Lakeland, FL. **Griffin J.,** Southwest Florida Water Management District; Brooksville, FL. (2003) The use of portable dams to restore and enhance aquatic habitat in Lake Seminole, Pinellas County, Florida.

Major, L. (2006) Communication personnelle, direction de l'aménagement de la faune de Chaudière-Appalaches

Major, L., Pettigrew P. et Collin P-Y. (2001) Caractérisation ichtyologique du lac Saint-François et état de la population de dorés jaunes (*Stizostedion vitreum)*, 1998-2000. Société de la faune et des parcs du Québec. Direction de l'aménagement de la faune de la Chaudière-Appalaches. 28p

Manitoba Minister of Conservation (2003) Regulation of Water Levels on Lake Manitoba and along the Fairford River, Pineimuta Lake, Lake St. Martin and Dauphin River and Related Issues. Volume 2: Main Report*

Marttunen M. Vehanen T. (2004) Toward adaptive management: The impacts of different management strategies on fish stocks and fisheries in a large regulated lake. Envir. Man. 31:6: 840-854

Maynard L. et Wilcox D. (1996) Great Lakes Coastal Wetlands. Environment Canada, National Biologic Service

McGowan S., Leavitt, P. R. et Hall, R. I. (2005) A Whole-Lake Experiment to Determine the Effects of Winter Droughts on Shallow Lakes. Ecosystems 8:694-708**

Meile, T. (2006). Le marnage dans les cours d'eau. Eawag News 61f/Novembre.

Olden J. D. et Jackson D. A. (2001) Fish-Habitat Relationships in Lakes : Gaining Predictive and Explanatory Insight by Using Artificial Neural Networks. Am. Fisheri. Soc. 130:878-897*

Philippe L. et Ruaux B. (2002) Caractérisation des habitats riverains du lac Saint-François et de sa biodiversité ornithologique et herpétologique. Parc National de Frontenac, 43pp.***

Poff N.L. et Allan J.D. (1995) Functional Organisation of Stream Fish Assemblage in Relation to Hydrological Variability. Ecological Society of America, Eco 76(2), pp. 606-627. *

Porvari P. (1998) Development of fish mercury concentrations in Finnish reservoirs from 1979 to 1994. T. Sc. Tot. Envir. 213: 279-290

Powell G. (1987) Habitat Use by Wading Birds in a Subtropical Estuary: Implications of Hydrography. The Auk 104:740-749*

Price J., Stone M., Shantz., Dowsett E., Canham E., Tavernier G. (2004) The effect of drawdown on suspended solids and phosphorus export from Columbia Lake, Waterloo, Canada. Department of Geography, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, N2L 3G1, Canada. Hydrological Processes, 2004 (Vol. 18) (No. 5) 865-878

Qiu S., McComb AJ. (1994) Effects of oxygen concentration on phosphorus release from reflooded air-dried wetland sediments. Australian Journal of Marine and Freshwater Research 45(7) 1319-1328. Doi : 10.1071/MF9941319

Rosenberg, D. M., McCully P. et Pringle, C. M.(2000) Global-Scale Environmental Effects of Hydrological Alterations: Introduction. BioScience vol.50 No.9*

Smart, R.M. and G.O. Dick. 1999. Propagation and establishment of aquatic plants: A handbook for ecosystem restoration projects. APCRP Technical Notes Collection (Tec. Report A-99-4). US. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station. Vicksburg, MS. 26 pp.

Slivitzky M. (2002) Ecological Impacts of Water Use and Changes in Levels and Flows, A Litterature Review. The Great Lakes Commission, Limno-Tech, Inc. 94pp.

Smith, D.W. and R.O. Peterson. (1988) The Effects of Regulated Lake Levels on Beaver in Voyageurs National Park, Minnesota. U.S. Department of the Interior, National Park Service, Research/Resources Management Report MWR-11. 84 p.

Société d'histoire naturelle de la vallée du Saint-Laurent et Ministère des Ressources naturelles et de la Faune Atlas des amphibians et reptiles du Québec. Banque de données.

Sorensen J. A., Kallemeyn L. W., Sydor M. (2005) Relationship between Mercury Accumulation in Young-of-the-Year Yellow. Perch and Water-Level Fluctuations. Environ. Sci. Technol. 39, 9237-9243

St-Louis V. L. et al. (2004) The rise and fall of mercury methylation in an experimental reservoir. Environ. Sci. Technol. 38: 1348-1358

Sutela T., Mutenia A., Salonen E. (2002) Relationship between Annual Variation in Reservoir Conditions and Year-Class Strength of Peled (*Coregonus peled*) and Whitefish (*C. lavaretus*). Hydrobiologia 485:213-221*

Vulink J. T. (1999) Impact of water-level fluctuation and herbivorous water birds on the expansion of emergent vegetation along lake shores.

Watts C.J. (2000) Seasonal phosphorus release from exposed, re-inundated littoral sediments of two Australian reservoirs. Division of Ecosystem Management, School of Rural Science and Natural Resources, University of New England, Armidale, NSW

ANNEXES

Annexe 1 : Liste des espèces animales présentes au Grand lac Saint-François

Poissons

- Barbotte brune (*Ictalurus nebulosus*)
- Chevalier blanc (*Moxostoma anisurum*)
- Crapet soleil (*Lepomis gibbosus*)
- Crapet de roche (*Ambloplites rupestris*)
- Cyprins (plusieurs espèces)
- Doré jaune (*Stizostedion vitreum*)
- Éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*)
- Fouille-roche zébré (Percina cader)
- Grand Brochet (*Esox lucius*)
- Grand corégone (*Coregonus clupeaformis*)
- Lotte (*Lota lota*)
- Méné jaune (*Notemigonus crysoleucas*)
- Meunier noir (*Catostomus commersoni*)
- Meunier rouge (*Catostomus comersoni*)
- Omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*)
- Ouananiche (*Salmo salar o.*)
- Ouitouche (*Semotilus corporalis*)
- Perchaude (*Perca flavescens*)
- Truite Brune (*Salmo trutta)*

Amphibiens

- Crapaud d'Amérique (*Bufo americanus americanus*)
- Rainette crucifère (*Pseudacris crucifer crucifer*)
- Grenouille des bois (*Rana sylvatica*)
- Grenouille des marais (*Rana palustris*)
- Grenouille léopard (*Rana pipiens*)
- Grenouille verte (*Rana clamitans melanota*)
- Salamandre maculée (*Ambystoma maculatum*)
- Salamandre rayée (*Plethodon cinereus*)
- Triton vert (*Notophthalmus viridescens viridescens*)

Reptiles

- Couleuvre rayée (*Thamnophis sirtalis*)
- Couleuvre verte (*Opheodrys vernalis)*
- Couleuvre à collier (*Diadophis punctatus*)
- Tortue des bois (*Clemmys insculpta*)

Annexe 2 : Liste des oiseaux présent au parc national Frontenac, Grand lac Saint-François(Source; SEPAQ)

Frontenac

Gaviidae

- ☐Plongeon catmarin
- ☐Plongeon huard

Podicipedidae

- ☐Grèbe à bec bigarré
- ☐**Grèbe esclavon**
- ☐Grèbe jougris

Ardeidae

- ☐Bihoreau gris
- ☐Butor d'Amérique
- ☐Grand héron
- ☐Grande aigrette
- ☐Héron vert

Phalacrocoracidae

- ☐Cormoran à aigrettes

Anatidae

- ☐Bernache cravant
- ☐Bernache du Canada
- ☐Canard branchu
- ☐Canard chipeau
- ☐Canard colvert
- ☐Canard d'Amérique
- ☐Canard noir
- ☐Canard pilet
- ☐Eider à duvet
- ☐Fuligule à collier
- ☐Fuligule à dos blanc
- ☐Fuligule à tête rouge
- ☐Fuligule milouinan
- ☐Garrot à oeil d'or
- ☐Grand harle
- ☐Harle couronné
- ☐Harle huppé
- ☐Macreuse à front blanc
- ☐Macreuse brune
- ☐Macreuse noire
- ☐Oie des neiges
- ☐Petit fuligule
- ☐Petit Garrot
- ☐Sarcelle à ailes bleues
- ☐Sarcelle d'hiver

Cuculidae

- ☐Coulicou à bec noir

Strigidae

- ☐Chouette épervière
- ☐Chouette rayée
- ☐Grand-duc d'Amérique
- ☐Hibou moyen-duc
- ☐Petite nyctale

Apodidae

- ☐Martinet ramoneur

Trochilidae

- ☐Colibri à gorge rubis

Alcedinidae

- ☐Martin-pêcheur d'Amérique

Picidae

- ☐Grand pic
- ☐Pic à dos noir
- ☐Pic à dos rayé
- ☐Pic chevelu
- ☐Pic flamboyant
- ☐Pic maculé
- ☐Pic mineur

Alaudidae

- ☐Alouette hausse-col

Bombycillidae

- ☐Jaseur boréal
- ☐Jaseur d'Amérique

Certhiidae

- ☐Grimpereau brun

Corvidae

- ☐Corneille d'Amérique
- ☐Geai bleu

Fringillidae

- ☐Bec-croisé bifascié
- ☐Bec-croisé des sapins
- ☐Chardonneret jaune
- ☐Durbec des sapins
- ☐Gros-bec errant
- ☐Roselin pourpré
- ☐Sizerin flammé
- ☐Tarin des pins

Hirundinidae

- ☐Hirondelle à ailes hérissées
- ☐Hirondelle bicolore
- ☐Hirondelle de rivage
- ☐Hirondelle noire
- ☐Hirondelle rustique
- ☐Hirondelles à front blanc

Laniidae

- ☐Pie-grièche grise

Mimidae

- ☐Moqueur chat
- ☐Moqueur polyglotte
- ☐Moqueur roux

Motacillidae

- ☐Pipit d'Amérique

Muscicapidae

- ☐Grive à dos olive
- ☐Grive à joues grises
- ☐Grive des bois
- ☐Grive fauve
- ☐Grive solitaire
- ☐Merle d'Amérique
- ☐Merle bleu de l'Est
- ☐Roitelet à couronne dorée
- ☐Roitelet à couronne rubis

Parides

- ☐Mésange à tête brune
- ☐Mésange à tête noire
- ☐Mésange bicolore

Accipitridae

☐Autour des palombes
☐Balbuzard pêcheur
☐Busard Saint-Martin
☐Buse à épaulettes
☐Buse à queue rousse
☐Buse pattue
☐Épervier brun
☐**Épervier de Cooper**
☐Petite Buse
☐Pygargue à tête blanche

Cathartidae

☐Urubu à tête rouge

Falconidae

☐Crécerelle d'Amérique
☐Faucon émerillon
☐**Faucon pèlerin**

Phasianidae

☐**Dindon sauvage**
☐Gélinotte huppée
☐Tétras du Canada

Charadriidae

☐Pluvier argenté
☐Pluvier kildir
☐Pluvier semipalmé

Laridae

☐Goéland à bec cerclé
☐Goéland argenté
☐Goéland marin
☐Mouette de Bonaparte

Scolopacidae

☐Bécasse d'Amérique
☐Bécasseau minuscule
☐Bécasseau semipalmé
☐Bécassine de Wilson
☐Chevalier grivelé
☐Chevalier solitaire
☐Grand chevalier
☐Petit chevalier
☐Phalarope à bec large
☐Phalarope de Wilson
☐Tournepierre à collier

Columbidae

☐Pigeon biset
☐Tourterelle triste
☐Grand corbeau
☐Mésangeai du Canada

Emberizidae

☐Bruant à couronne blanche
☐Bruant à gorge blanche
☐Bruant chanteur
☐Bruant de Lincoln
☐Bruant des marais
☐Bruant des neiges
☐Bruant des prés
☐Bruant familier
☐Bruant fauve
☐Bruant hudsonien
☐Bruant vespéral
☐Cardinal à poitrine rose
☐Carouge à épaulettes
☐Goglu des prés
☐Junco ardoisé
☐Oriole de Baltimore
☐Paruline à calotte noire
☐Paruline à collier
☐Paruline à couronne rousse
☐Paruline à croupion jaune
☐Paruline à flancs marron
☐Paruline à gorge grise
☐Paruline à gorge noire
☐Paruline à gorge orangée
☐Paruline à joues grises
☐Paruline à poitrine baie
☐Paruline à tête cendrée
☐Paruline bleue
☐Paruline couronnée
☐Paruline des pins
☐Paruline des ruisseaux
☐Paruline du Canada
☐Paruline flamboyante
☐Paruline jaune
☐Paruline masquée
☐Paruline noir et blanc
☐Paruline obscure
☐Paruline rayée
☐Paruline tigrée
☐Paruline triste
☐Passerin indigo
☐Quiscale bronzé
☐Quiscale rouilleux
☐Sturnelle des prés
☐Tangara écarlate
☐Tohi à flancs roux
☐Vacher à tête brune

Passeridae

☐Moineau domestique

Sittidae

☐Sittelle à poitrine blanche
☐Sittelle à poitrine rousse

Sturnidae

☐Étourneau sansonnet

Troglodytidae

☐Troglodyte familier
☐Troglodyte mignon

Tyrannidae

☐Moucherolle à côtés olive
☐Moucherolle à ventre jaune
☐Moucherolle des aulnes
☐Moucherolle des saules
☐Moucherolle phébi
☐Moucherolle tchébec
☐Pioui de l'est
☐Tyran huppé
☐Tyran tritri

Vireonidae

☐Viréo à tête bleue
☐Viréo aux yeux rouges
☐Viréo de Philadelphie
☐Viréo mélodieux

Annexe 3 : Autres barrages et plans d'eau du Québec soumis à des conditions de marnage semblables à celles du Grand lac Saint-François.

Barrage	Municipalité	Lac	Max	Min	Diff.	Construction	Type d'utilisation
*Jules-Allard	Sainte-Praxède	Grand Saint-François	289,7	284	5,7	1987	Hydroélectricité Villégiature Contrôle des inondations
*Kiamika	Chute-Saint-Philippe	Kiamika	269	264,5	4,5	1954	Hydroélectricité
*Rapides-des-Cèdres	Notre-Dame-de-Laus	Poisson Blanc	201,5	194,2	7,3	1930	Hydroélectricité
*Des Commissaires	Lac-Bouchette	Des Commaissaires	329,4	325,2	4,2	1971	Hydroélectricité
*Pibrac-Est Portages-des-Roches	Saguenay	Kénogamie	164	156,5	7,5	1924 1924	Hydroélectricité Hydroélectricité
*Morin	St-Alexandre De Kamouraska	Morin	195	189,8	5,2	1943	Hydroélectricité
Cabonga	Lac-Pythonga	Cabonga				1955	Hydroélectricité
Des Quinze	Angliers	Des Quinze	263,6	260,6	3	1911	Régulation Contrôle des inondations
Dozois	La Tuque	Dozois				1965	Anciennement flottage

*Les références de hauteurs correspondent à la médiane des niveaux d'eau enregistrés par le centre d'expertise hydrique sur une période de référence allant de 1988 à 2000.

Annexe 4 : Photos de la baie aux Rats Musqués

Frayère aux Rats musqués – niveau d'eau élevé (26 avril 2000)

Frayère aux Rats musqués – niveau d'eau bas (30 avril 1999)

Photographie : [illegible]

Ministère des
Ressources naturelles
et de la Faune
Québec

Direction de l'aménagement de la faune
Capitale-Nationale—Chaudière-Appalaches
8400, avenue Sous-le-Vent
Charny (Québec) G6X 3S9
Téléphone : (418) 832-7222
Télécopieur : (418) 832-1827
Site Internet : www.mrnf.gouv.qc.ca