

Impacts de la régularisation du débit des Grands Lacs et des changements climatiques sur l'habitat des poissons du fleuve Saint-Laurent

Marc Mingelbier¹,
Philippe Brodeur¹ et
Jean Morin²

¹ Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec, Direction de la Recherche sur la Faune

² Environnement Canada, Service météorologique du Canada, Québec, Canada

Contexte général de l'étude

Depuis la fin du XIX^e siècle, des travaux majeurs ont été réalisés dans le bassin hydrographique des Grands Lacs et du Saint-Laurent. Le lit du Saint-Laurent fluvial a été dragué sur plusieurs mètres de profondeur (Morin et Côté, 2003) et divers ouvrages de régularisation ont graduellement modifié le régime naturel du Saint-Laurent. Ces interventions physiques, qui ont favorisé le développement économique du bassin des Grands Lacs, ont aussi eu des conséquences sévères sur les écosystèmes que ce bassin hydrographique abrite. Mentionnons notamment que les principales voies de migration des poissons en amont de Montréal ont été coupées par des barrages, que l'extension des marais riverains du lac Ontario et du Saint-Laurent a été fortement réduite et que divers habitats en eau calme et en eau vive ont connu des pertes reliées à l'aménagement du territoire (p. ex. remblais), à la stabilisation des niveaux d'eau (p. ex. lac Saint-François) et à la canalisation du Saint-Laurent (p. ex. barrages de roches dans les chenaux de l'archipel de Sorel).

Pour répondre à la pression exercée par divers groupes environnementalistes, la Commission Mixte Internationale (CMI) a obtenu en 2000 le soutien financier des gouvernements américain et canadien afin de conduire une étude quinquennale sur les impacts de la régularisation du débit des Grands Lacs au barrage Moses-Saunders de Cornwall sur le lac Ontario et le fleuve Saint-Laurent et de réviser les critères de gestion adoptés en 1956. La

contribution financière de la CMI a eu pour effet d'accélérer une étude sur le même sujet initiée au Québec en 1998 dans le cadre du Plan d'action Saint-Laurent Vision 2000. Elle a aussi eu pour effet de créer un réseau d'experts s'intéressant au lac Ontario et au Saint-Laurent, qui travaillent sur des aspects aussi variés que l'environnement, l'hydrologie reliée aux changements climatiques, à l'érosion des berges ou encore à la navigation de plaisance. Le plan de régularisation actuel, connu sous le nom de 1958DD, ne tient aucunement compte de l'environnement. Depuis les années 1960, il vise exclusivement à réduire l'amplitude des crues printanières, à faciliter la navigation en été et à optimiser la production d'hydroélectricité. L'étude de la CMI représentait donc une opportunité unique d'inclure au nouveau plan de gestion d'autres considérations telles que la santé de l'écosystème fluvial.

Les gouvernements fédéraux américain et canadien, les gouvernements provinciaux du Québec et de l'Ontario ainsi que plusieurs universités canadiennes et américaines sont impliqués dans le réseau d'experts formé dans le cadre de l'Étude de la CMI (voir www.ijc.org). Au Québec, puisque la gestion de la pêche en eau douce est sous la juridiction provinciale, la Société de la faune et des parcs (qui fait partie aujourd'hui du Ministère des Ressources Naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec) a pris en charge d'étudier les poissons et leurs habitats dans la section fluviale entre Cornwall et Trois-Rivières. Ce défi de taille est en train d'être relevé grâce à une collaboration étroite et fructueuse entretenue depuis 1997 avec le Service Météorologique du Canada, qui

développe un système de modélisation de la physique du fleuve (p. ex. limites d'inondation, courants, vagues, masses d'eau) et aussi de la végétation émergente et submergée du Saint-Laurent (Morin *et al.*, 2003).

Résumé

Le bassin hydrographique des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent abrite des écosystèmes sensibles aux variations du débit et du niveau d'eau. L'objectif général de l'étude était de réaliser une évaluation spatiale précise des impacts sur l'habitat des poissons en eau douce, attribuables aux variations du débit et des niveaux d'eau causés par les changements climatiques et la régularisation du débit sortant du lac Ontario. Les impacts ont été quantifiés sur les habitats de reproduction printaniers du grand brochet (*Esox lucius*) et de la perchaude (*Perca flavescens*) et sur les habitats de fin d'été de dix espèces de poissons adultes. La combinaison de modèles d'habitat avec la modélisation numérique 2D a permis de calculer les superficies d'habitat utilisables par les poissons selon différents scénarios de débit. L'ensemble des résultats obtenus pour les habitats de printemps et d'été illustre le large éventail de réponses des poissons aux variables d'habitat, qui elles-mêmes dépendent fortement du débit. Le débit a un impact positif sur les habitats de reproduction printaniers ainsi que sur l'habitat d'été de la plupart des espèces lotiques (vivant dans un écoulement rapide), mais il exerce un effet négatif sur les espèces lenticques (vivant dans un écoulement lent ou nul) dans certaines régions du Saint-Laurent. Nos résultats montrent que les quatre régions du Saint-Laurent réagissent différemment aux

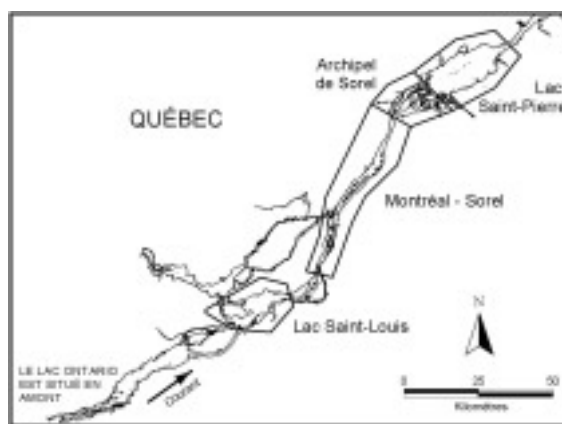
variations du débit principalement en raison de la morphologie locale du fleuve. La reconstitution historique des habitats potentiels entre 1960 et 2000 a révélé des effets de la régularisation tantôt négatifs, tantôt positifs sur la quantité d'habitats disponibles, selon l'espèce et la période considérée. Ces résultats suggèrent que le régime hydrologique du Saint-Laurent doit continuer de varier d'une année à l'autre pour satisfaire tout à tour les espèces qui ont des besoins écologiques et des niveaux de tolérance différents. La présente étude démontre également l'importance de considérer les différentes régions du fleuve individuellement pour estimer adéquatement l'impact des variations du débit et pour tester les nouveaux plans de régularisation. Les nouveaux outils développés dans cette étude sont mis à profit pour mieux comprendre la dynamique écosystémique du Saint-Laurent.

Introduction

Le débit des cours d'eau joue un rôle déterminant dans l'écologie des poissons, entre autres dans la répartition des habitats de reproduction et d'alimentation, la migration, la croissance, la survie, la composition des communautés et l'abondance des espèces (Stalnaker, 1979; Petts et Calow, 1996). Un grand fleuve comme le Saint-Laurent est influencé à divers degrés par les variations de débit (Vincent et Dodson, 1999), qui dépendent principalement du climat. Les niveaux d'eau des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent varient selon de longs cycles d'environ 30 ans (Chanut *et al.*, 1988). L'alternance d'épisodes de faible et de forte variabilité influe sur l'abondance de plusieurs espèces commerciales (Nilo *et al.*, 1997; Fortin *et al.*, 1990; Mingelbier *et al.*, 2001). Dans le bassin des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent, on anticipe que les changements climatiques pourraient causer une diminution du débit de l'ordre de 40 % au cours du XXI^e siècle (Mortsch et Quinn, 1996). Une telle diminution aurait un impact marqué sur l'accès au printemps à des habitats essentiels tels que les frayères naturelles et aménagées le long du fleuve Saint-Laurent (Brodeur *et al.*, 2004). La régularisation du débit sortant du lac Ontario et se déversant dans le fleuve Saint-Laurent a commencé au début des années 1960. Ces interventions créent des variations hydrologiques à plusieurs

Figure 1

L'aire d'étude, située dans la partie fluviale du Saint-Laurent, est divisée en quatre régions où règnent des conditions hydrographiques différentes.



échelles temporelles : (1) à l'échelle journalière pour répondre à la demande d'hydroélectricité, (2) hebdomadaire pour faciliter le passage des navires et (3) saisonnière pour faciliter la prise de la glace au début de l'hiver et pour modérer les inondations printanières en écrétant la crue et en retardant la crue des Grands Lacs par rapport à celle de la rivière des Outaouais (Morin et Leclerc 1998). Malgré les impacts connus des variations du débit sur les organismes vivants, les préoccupations environnementales n'ont jamais été prises en compte dans le plan de régularisation. L'actuelle révision du plan de gestion, qui vise à inclure de nouveaux critères dont la santé de l'écosystème fluvial, constituait une occasion unique de formuler des recommandations visant à protéger l'habitat des poissons du Saint-Laurent.

L'objectif de notre étude était de réaliser une évaluation spatiale précise des impacts des variations du débit et des niveaux d'eau sur l'habitat des poissons, attribuables à la régularisation du débit sortant du lac Ontario et aux changements climatiques. Les impacts ont d'une part été quantifiés sur les habitats de reproduction printaniers du grand brochet (*Esox lucius*) et de la perchaude (*Perca flavescens*), en raison de la coïncidence de leur période de reproduction avec la crue printanière et de l'utilisation de la plaine d'inondation comme habitat de fraye. D'autre part, les habitats de fin d'été de dix espèces de poissons adultes ont été modélisés pour rendre compte de la diversité des espèces piscicoles du Saint-Laurent et de leurs

habitats de croissance et d'alimentation. Pour ce faire, des modèles prédictifs de l'habitat des poissons ont été élaborés et ont été couplés à un modèle numérique 2D des habitats du fleuve afin de prédire les superficies d'habitat utiles selon huit scénarios de débit réalistes. Pour quantifier l'effet de la régularisation du débit, les relations établies entre la superficie d'habitat et le débit ont été utilisées de façon à recréer la série historique des superficies d'habitat entre 1960 et 2000.

Méthodologie

La méthodologie a été résumée pour alléger l'article. Plus de détails sont disponibles dans Brodeur *et al.* (sous presse), Mingelbier et Morin (sous presse) et Morin *et al.*, (2003).

Aire d'étude

Le fleuve Saint-Laurent affiche une grande hétérogénéité spatiale qui influe à la fois sur la distribution et la composition de la communauté ichtyologique (La Violette *et al.*, 2003; La Violette, 2004). Nous avons concentré notre travail sur la partie fluviale du Saint-Laurent entre Cornwall et Trois-Rivières, puisque les variations de niveaux d'eau attribuables au débit sont directement mesurables dans la section d'eau douce sans marée (figure 1). Le lac Saint-François n'a pas été considéré car ses niveaux d'eau sont fortement régularisés (marnage annuel d'environ 20 cm) et le tronçon situé entre les rapides de Lachine et le bassin de la Prairie a été exclu puisqu'il n'est pas couvert par le modèle numérique de terrain. L'aire d'étude a été subdivisée en

quatre régions présentant des caractéristiques différentes au niveau de l'hydrologie (Mingelbier et Morin, 2003) et des habitats (La Violette *et al.*, 2004) : (1) le lac Saint-Louis, (2) la section entre Montréal et Sorel, (3) l'archipel de Sorel et (4) le lac Saint-Pierre (figure 1).

Habitat de reproduction au printemps

L'habitat de reproduction disponible est directement fonction de la superficie inondée et de la qualité du terrain. Les hauts niveaux d'eau donnent accès aux frayères, localisées dans la plaine d'inondation du fleuve Saint-Laurent. Étant donné que certaines parcelles de terrain sont très propices à la reproduction alors que d'autres le sont moins, un *indice de qualité d'habitat* (IQH) a été développé pour attribuer une cote de qualité aux parcelles accessibles aux poissons (Brodeur *et al.*, sous presse). L'indice prend en compte la végétation, la profondeur et la vitesse du courant. L'IQH a été couplé à un modèle numérique 2D qui calcule avec une grande précision la superficie de l'habitat utilisable pour un débit donné. Le produit de l'IQH par la surface disponible équivaut à ce que nous avons appelé la *superficie utile pondérée* (SUP). Pour évaluer l'impact du débit sur la reproduction, la SUP a été estimée pour deux années contrastées (1998 et 2000) et huit scénarios de débit variant de 5 000 m³.s⁻¹ à 17 500 m³.s⁻¹ (Morin et Bouchard, 2000). Ce travail a été réalisé individuellement dans les quatre régions de l'aire d'étude pour déterminer leurs réponses au débit. Les SUP ont été exprimées en valeur absolue (ha) et relative (% par rapport à la valeur maximale observée dans chaque région) afin de déterminer la région la plus affectée par les variations du débit.

Habitat de croissance et d'alimentation en été

Les données utilisées pour bâtir les modèles prédictifs de l'habitat des poissons proviennent de trois échantillonnages du *Réseau de suivi ichtyologique* menés par la Société faune et parcs (voir l'article de La Violette dans ce numéro). La région de Montréal-Sorel a été échantillonnée en 2001, le lac Saint-Pierre en 2002, et l'archipel de Sorel en 2003. Ces échantillonnages des communautés de poissons ont été complétés par une description de l'habitat à chaque station

de pêche (profondeur, transparence, conductivité, température, diamètre du substrat, type et densité de végétation) obtenue par des mesures de terrain, ou simulée à l'aide d'un modèle 2D, lui-même validé avec des mesures de terrain (vitesse du courant, pente locale, exposition aux vagues, lumière disponible au fond et végétation submergée (Morin *et al.*, 2003). Des modèles multivariés d'habitat du poisson obtenus grâce à des régressions logistiques progressives ($p < 0,05$), accompagnées de validations croisées, ont été réalisés pour plusieurs espèces, dans chaque région du fleuve. Les modèles d'habitat ont été combinés au modèle 2D pour établir des cartes très précises représentant la probabilité de présence de chaque espèce de poissons. Après avoir fixé un seuil discriminant les présences et les absences de chaque espèce, la superficie des habitats disponibles a été calculée selon six scénarios de débit variant de 5 000 m³.s⁻¹ à 12 000 m³.s⁻¹ (Morin et Bouchard, 2000). Les superficies, analogues aux SUP de printemps, ont été mesurées pour les quatre régions hydrographiques de l'aire d'étude.

Reconstitution du potentiel d'habitat historique

Pour quantifier l'impact de la régularisation du Saint-Laurent sur les habitats de printemps et d'été, les SUP ont été estimées selon deux séries reconstituées de débit hebdomadaire du fleuve pour la période 1960 - 2000 : la série naturelle (débit sans régularisation) et la série 1958DD (débit régularisé) (Morin et Bouchard, 2000). Pour ce faire, les relations établies entre les SUP et le débit ont été couplées au débit annuel moyen en avril pour les habitats de printemps, période au cours de laquelle se déroule généralement la reproduction des deux espèces (Massé *et al.*, 1988; Brodeur *et al.*, 2004) et au débit moyen au début septembre pour les habitats de fin d'été. Pour illustrer les différences régionales dans la réponse à la régularisation, la série historique des habitats disponibles a été calculée pour plusieurs régions du fleuve.

Résultats et discussion

Habitat de reproduction au printemps

Superficie d'habitat et débit

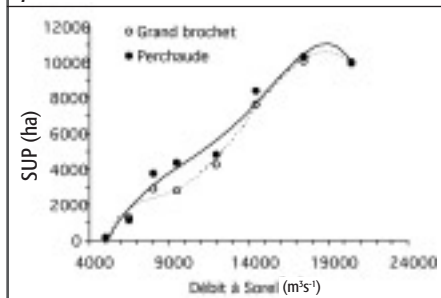
Le débit du fleuve Saint-Laurent a un impact positif sur la disponibilité des

habitats de reproduction du grand brochet et de la perchaude. Globalement, les habitats des deux espèces ont augmenté presque linéairement avec le débit du fleuve et ont atteint une superficie maximale aux débits les plus élevés ($\geq 17 500$ m³.s⁻¹; figure 2). Ces conditions optimales sont observés environ une fois tous les 16 ans (Morin et Bouchard, 2000). La forme de la relation et la position du maximum étaient comparables pour les deux espèces, mais l'habitat de reproduction du grand brochet était plus réduit que celui de la perchaude à des débits moyens de l'ordre de 9 000 m³.s⁻¹ (figure 2). Les conditions hydrologiques différentes observées dans le Saint-Laurent en 1998 et en 2000 illustrent l'effet du débit sur les habitats de reproduction printaniers. La SUP de 2000 équivaut à environ la moitié de celle de 1998 pour le grand brochet (3 664 ha contre 7 136 ha; figure 3ab) et pour la perchaude (4 121 ha contre 7 540 ha; figure 3cd). Au lac Saint-Pierre, les valeurs d'IQH des deux espèces en 1998 et en 2000 montrent qu'un débit élevé entraîne une augmentation de la superficie globale des habitats de reproduction et plus spécifiquement celle des habitats de meilleure qualité (figure 3).

Les résultats détaillés pour chaque région du système indiquent que les quatre régions répondent différemment aux variations du débit (figures 4a et 5a). Comme en témoignent les SUP relatives, l'habitat de reproduction du grand brochet et de la perchaude a montré une augmentation rapide avec la hausse du débit dans les régions du lac Saint-Louis et dans le tronçon Montréal-Sorel (figures 4b

Figure 2

Superficie utile pondérée (SUP) pour la reproduction du grand brochet (trait plein) et de la perchaude (trait pointillé) dans le fleuve Saint-Laurent, selon huit scénarios de débit printanier.



et 5b). Ces deux régions ont été les moins affectées par le débit puisque des SUP élevées par rapport au maximum potentiel de chaque région ont été atteintes à faible débit et ce, pour les deux espèces à l'étude. Au contraire, les régions du lac Saint-Pierre et de l'archipel de Sorel étaient plus limitantes à faible débit. Les différentes réponses des quatre régions s'expliqueraient par la morphologie du lit du fleuve, la vitesse d'écoulement à débit élevé ainsi que par la superficie et l'élévation des milieux humides dans la plaine d'inondation. Par exemple, la région entre Montréal et Sorel est caractérisée par un écoulement relativement rapide et par des milieux humides réduits à une mince bande riveraine autour des îles et le long de la voie maritime. Ces milieux sont rapidement inondés lors des faibles crues et perdent du potentiel lorsque le débit est élevé, en raison de l'augmentation de la profondeur et de la vitesse d'écoulement. Ces résultats soulignent l'importance de considérer individuellement les différentes régions du fleuve pour estimer adéquatement l'impact des variations du débit sur les écosystèmes du Saint-Laurent.

Reconstitution historique du potentiel d'habitat

Pour quantifier l'effet de la régularisation du débit sur la disponibilité des sites de reproduction, deux séries historiques de débit du Saint-Laurent ont été comparées. La régularisation, qui a débuté en 1960, a presque systématiquement entraîné une diminution du débit printanier sur une base hebdomadaire, provoquant ainsi une baisse de la superficie moyenne des habitats printaniers dans l'ensemble du Saint-Laurent évaluée à -5 % chez le grand brochet et à -4 % chez la perchaude (figures 6 et 7). Après 40 ans, la régularisation a causé une diminution cumulée d'habitat de 10 408 ha chez le grand brochet et de 10 014 ha chez la perchaude. Cet impact a été encore plus prononcé au cours des années de faible hydraulité (jusqu'à 17 % de diminution; figure 7), alors que la disponibilité des habitats était déjà fortement réduite. Cette réduction accrue d'habitat est parfois survenue pendant plusieurs années consécutives (e. i. 1960-1965; figures 6 et 7). L'analyse détaillée souligne à nouveau les différences propres aux quatre régions du fleuve (figure 7). En pratique, il est difficile d'estimer avec

précision l'impact des diminutions de superficies provoquées par la régularisation sur les populations de grands brochets et de perchaudes. Il faudrait disposer de longues séries temporelles telles que celles qui ont été traitées en Ontario par Casselman et Dietrich (2003). À tout le moins, on peut présumer que la régularisation a eu des conséquences négatives ponctuelles et cumulées au cours du temps sur l'abondance du grand brochet puisque Armellin *et al.* (2003) mentionnent que la

force des classes d'âge de cette espèce dans le Saint-Laurent est liée positivement au niveau d'eau printanier, qui influence entre autres la disponibilité des sites de reproduction.

Habitat de croissance et d'alimentation en été

Modèles d'habitat

Les résultats des régressions logistiques univariées et multivariées, qui ne sont pas présentés ici en détail, reflétaient la grande



ICI ON RECYCLE !

Kruger recycle des papiers et des cartons depuis 1960

Kruger est fière d'annoncer que son usine d'emballages de LaSalle a obtenu l'attestation de reconnaissance pour sa gestion efficace des matières résiduelles, dans le cadre du programme Recyc-Québec « **ICI ON RECYCLE !** »

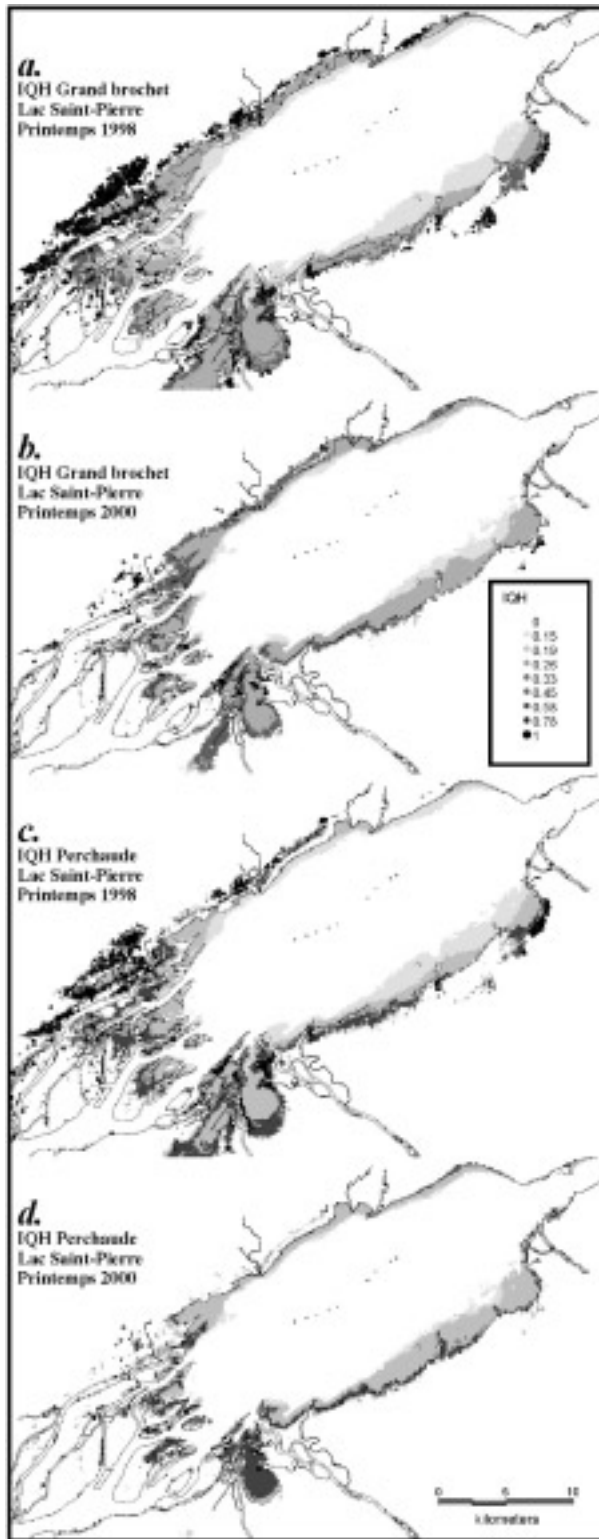




Recycler, ça rapporte !

Figure 3

Habitat disponible au lac Saint-Pierre pour la fraye (a, b) du grand brochet et (c, d) de la perchaude. Une forte crue printanière a été observée en 1998 et une faible en 2000.



hétérogénéité des habitats du Saint-Laurent et la large gamme de préférences des dix espèces de poissons (Mingelbier et Morin, sous presse; figure 8). La capacité

de prédiction des modèles probabilistes était excellente puisque la concordance entre les présences de poissons prédites et observées oscillait entre 77 % et 89 %

avec une variance expliquée de 0,21-0,56 (R^2 mis à l'échelle), selon l'espèce et la région du fleuve. Les modèles d'habitat les plus performants correspondaient aux espèces dont les exigences sont précises (p. ex. esturgeon jaune, queue à tache noire, méné jaune, achigan à grande bouche et doré jaune), alors que les modèles les moins performants correspondaient aux espèces les plus tolérantes ou ubiquistes (p. ex. la perchaude, le meunier noir) et aux espèces peu représentées dans les bases de données (p. ex. l'achigan à petite bouche).

Les variables d'habitat corrélées négativement à la présence de poissons ont été interprétées comme des variables limitantes. Par exemple, la vitesse du courant était parmi les variables les plus significatives, ce qui souligne la dichotomie des espèces lenticques et lotiques en matière de répartition spatiale. Les espèces lotiques se trouvaient dans des zones de courant rapide à faible couverture végétale (p. ex. esturgeon jaune, doré jaune et doré noir), alors que les espèces lenticques, se trouvaient dans des zones à végétation submergée généralement dense (p. ex. grand brochet, méné jaune, queue à tache noire, achigan à grande bouche, crapet-soleil et barbotte brune).

La présence de poissons était également corrélée positivement à des variables d'habitat telles que la végétation aquatique, qui était très dense dans l'habitat du grand brochet, du crapet-soleil, du méné jaune, du queue à tache noire, de la perchaude et de la barbotte brune. L'achigan à grande bouche et le crapet de roche se trouvaient au-dessus de substrats grossiers, tandis que la barbotte brune se trouvait principalement associée au limon. Les présences du crapet-soleil, du grand brochet, du méné jaune et de la perchaude, qui fréquentent tous un habitat où la couverture végétale est dense, étaient aussi corrélées négativement aux habitats dénudés d'argile.

L'ensemble des résultats indique que le transfert d'un modèle d'habitat d'une région du fleuve à une autre doit être fait prudemment, car les modèles d'habitat calculés individuellement dans chaque région ne sélectionnaient pas toujours les mêmes variables explicatives selon les espèces (p. ex. grand brochet, crapet de

roche et catostomidés). En général, ces changements reflétaient des effets reliés à la topographie locale et aux tolérances ou aux préférences d'habitat de chaque espèce (pour plus de détails voir Mingelbier et Morin, sous presse).

Superficie d'habitat et débit

Les surfaces d'habitat globales obtenues pour le Saint-Laurent fluvial entre le lac Saint-Louis et Trois-Rivières couvrent un large éventail de valeurs. Les relations surfaces d'habitat par rapport au débit ont été classées en deux catégories (figure 9). Premièrement, de fortes relations positives ont été observées entre le débit et l'habitat du doré jaune, de l'esturgeon jaune, du doré noir et du grand brochet (figure 9). Deuxièmement, les relations atteignant un maximum à débit relativement faible suivi par une relation négative ont été obtenues pour la perchaude, la barbotte brune, le crapet-soleil, le méné jaune, le queue à tache noire et l'achigan à grande bouche. Cela indique que l'habitat d'une espèce qui utilise la plaine d'inondation (deuxième type de relations) peut devenir limitant à un débit supérieur à $9\,500\text{ m}^3\text{s}^{-1}$, tandis que l'habitat d'une espèce qui utilise le lit principal du fleuve ne l'est pas (premier type de relations).

L'étude individuelle des quatre régions du fleuve montre, quant à elle, des relations différentes d'une région à l'autre, particulièrement pour les espèces qui utilisent la plaine d'inondation. L'habitat d'un cyprinidé (méné jaune) est présenté à titre d'exemple pour illustrer que l'examen par région peut révéler des réponses contrastées (figure 10). Lorsque le débit est faible (de l'ordre de $6\,000\text{ m}^3\text{s}^{-1}$), on trouve un maximum d'habitat pour les cyprins au lac Saint-Pierre, alors que cet habitat est presque inexistant entre Montréal et Sorel et dans l'archipel de Sorel. De plus, la relation dans l'archipel de Sorel est rendue complexe en raison de la faible altitude des îles. Dans cet exemple, il apparaît clairement que le lac Saint-Pierre influence fortement la superficie absolue d'habitat disponible dans le fleuve et que si le plan de régularisation ne considérait que la réponse globale, les habitats des cyprins pourraient venir à manquer entre Montréal et l'archipel de Sorel. En termes de gestion, ce résultat indique qu'il serait plus prudent d'identifier les régions du fleuve où la

Figure 4

Relation entre la superficie utile pondérée (SUP) pour la reproduction du grand brochet et huit scénarios de débit à Sorel (m^3s^{-1}). Les quatre régions du fleuve Saint-Laurent sont présentées individuellement. Les SUP sont présentées (a) en valeurs absolues et (b) relatives.

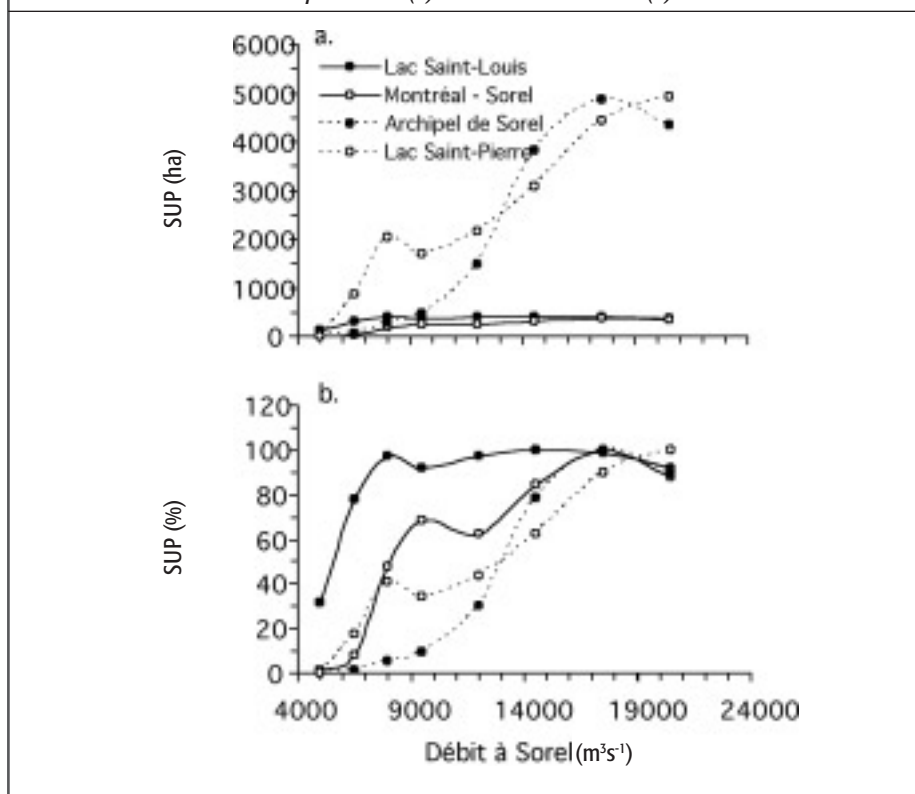


Figure 5

Relation entre la superficie utile pondérée (SUP) pour la reproduction de la perchaude et huit scénarios de débit à Sorel (m^3s^{-1}). Les quatre régions du fleuve Saint-Laurent sont présentées individuellement. Les SUP sont présentées (a) en valeurs absolues et (b) relatives.

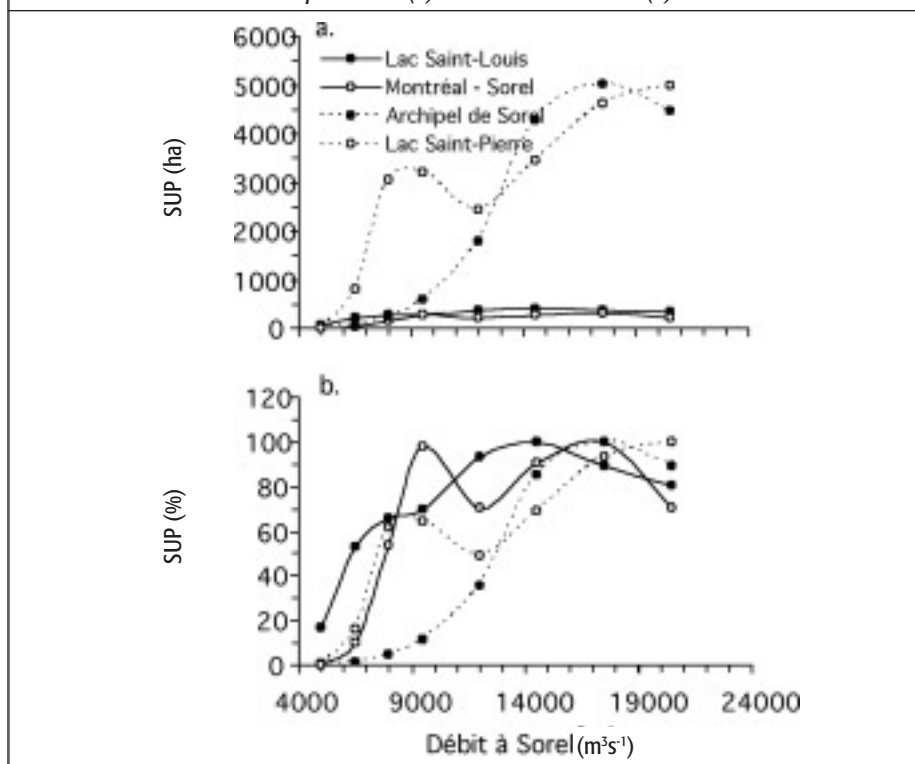


Figure 6

Exemple de reconstitution historique du potentiel d'habitat disponible dans le Saint-Laurent fluvial entre 1960 et 2000. On compare deux séries de débit moyen en avril à Sorel, l'un régularisé selon le plan 1958DD tel qu'il a été mesuré (trait pointillé) et l'autre naturel tel qu'il aurait été mesuré en absence de régularisation (trait plein). La figure présente (a) les deux débits et les superficies (SUP) correspondantes disponibles pour la reproduction (b) du grand brochet et (c) de la perchaude dans l'ensemble du fleuve Saint-Laurent.

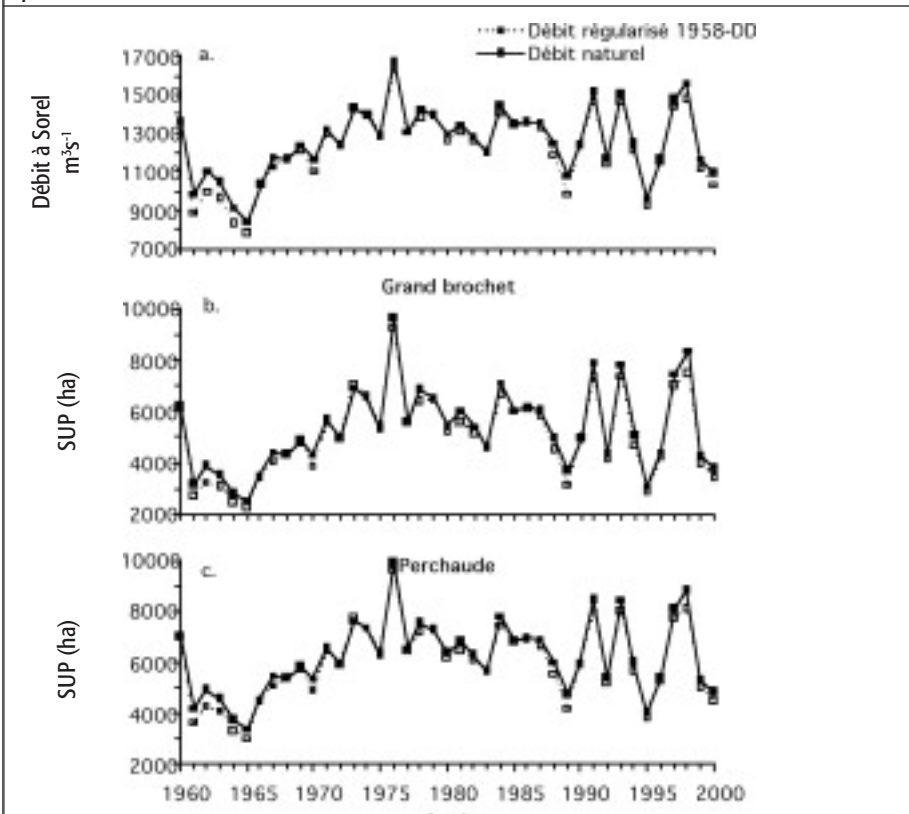
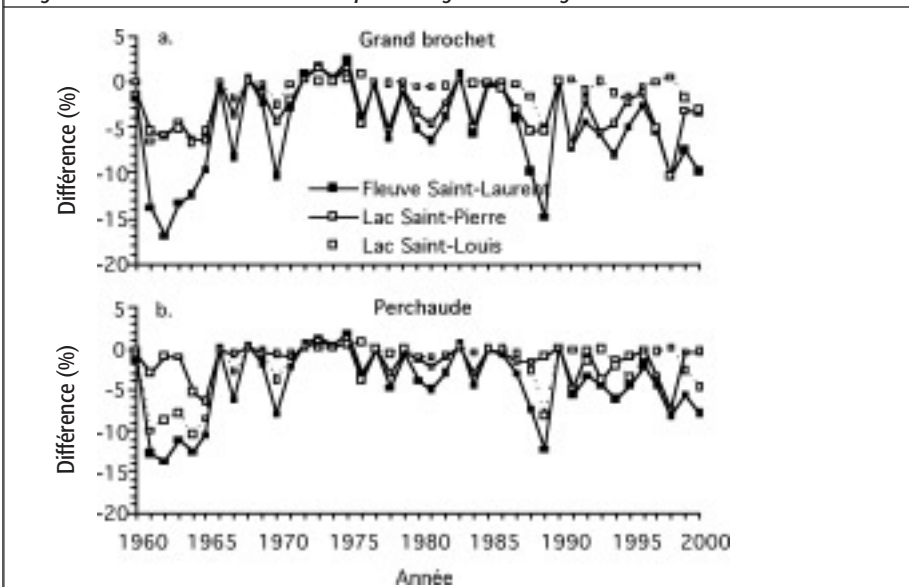


Figure 7

Différence entre les superficies d'habitat annuelles disponibles (SUP) calculées avec le débit régularisé tel qu'il a été mesuré pour la période 1960-2000 et comparé avec le débit naturel tel qu'il aurait été mesuré en absence de régularisation. Les séries d'habitat de reproduction ont été calculées (a) pour le grand brochet et (b) la perchaude au lac Saint-Pierre, lac Saint-Louis et tout le Saint-Laurent fluvial. Une valeur négative indique une diminution de SUP attribuable à la régularisation du débit et une valeur positive signifie une augmentation.



superficie d'habitat est la plus limitante plutôt que d'estimer une superficie globale pour l'ensemble du Saint-Laurent fluvial. Généralement, les populations de poissons sont présentes localement et l'équilibre écologique (trophique) pourrait souffrir, par exemple, de l'absence d'un groupe de poissons fourrage aussi important que les cyprins dans la région entre Montréal et Sorel ou bien dans l'archipel de Sorel, si le débit estival approchait les 6 000 m³s⁻¹ au cours de plusieurs étés consécutifs. Cela illustre le besoin de faire un examen détaillé et une interprétation écologique approfondie des résultats avant de les traduire en outils de gestion.

Reconstitution historique du potentiel d'habitat

Nous avons retenu l'habitat du doré jaune pour représenter les espèces lotiques et celui d'un cyprin (ménés jaune) pour les espèces lenticques, en fonction du débit reconstitué à Sorel. Les deux séries de débit, régularisé et naturel, indiquent que la gestion a pour effet d'augmenter le débit estival par rapport au régime naturel (figure 11a), ce qui est contraire au printemps (figure 6a). Les conséquences de cette augmentation sont reflétées presque systématiquement par un effet positif sur l'habitat du doré jaune (figure 11b et 12a) et par un effet négatif sur celui des cyprins (figure 11c et 12b). Après 40 ans de régularisation du débit, le cumul des superficies dans le Saint-Laurent fluvial indique un gain de l'ordre de 49 084 ha sur l'habitat du doré jaune et une perte de 26 782 ha sur celui du ménés jaune. Il importe ici de rappeler que les valeurs de superficies sont purement indicatives et délicates à interpréter car elles concernent l'habitat d'une espèce considérée isolément de la communauté de poissons et retirée d'un contexte écologique qui évolue aussi dans le temps. Il reste cependant que les régimes hydrologiques élevés observés au milieu des années 1970 correspondaient à un fort potentiel d'habitat pour les poissons lotiques et à un faible potentiel d'habitat pour les poissons lenticques. Cette situation était inversée au cours des périodes de faibles débits telles que celles observées au milieu des années 1960. Plusieurs de ces tendances ont été corroborées par des relations empiriques calculées à partir d'une série historique indépendante provenant d'une pêche

Figure 8

Superficie d'habitat potentiel simulée pour dix espèces clés de poissons et correspondant à un débit estival de 9500 m³s⁻¹ à Sorel. Les secteurs en gris présentent la probabilité de présence de chaque espèce et les secteurs en blanc la probabilité d'absence.

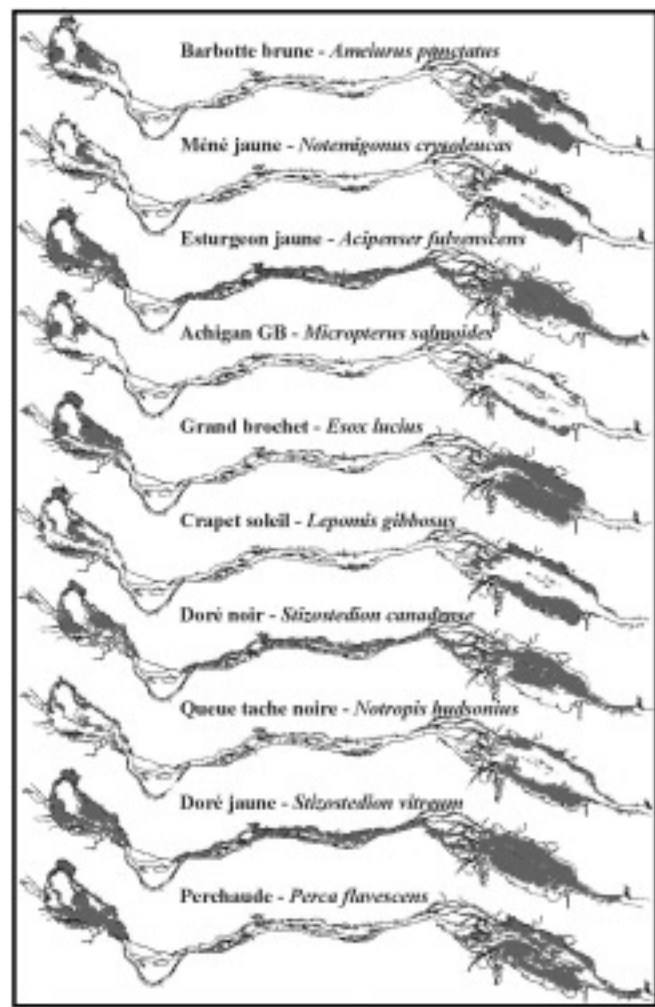


Figure 9

Relations entre les superficies d'habitat potentiel et le débit à Sorel. Les courbes noires indiquent des relations positives avec le régime hydrologique, tandis que les courbes grises indiquent les relations négatives avec une réduction du potentiel d'habitat aux débits >9500 (m³s⁻¹).

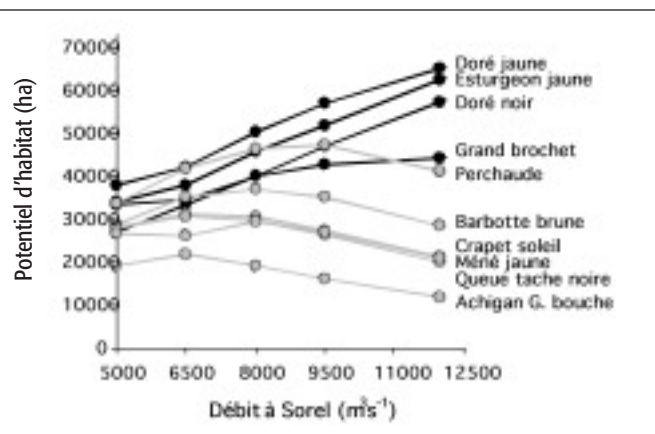
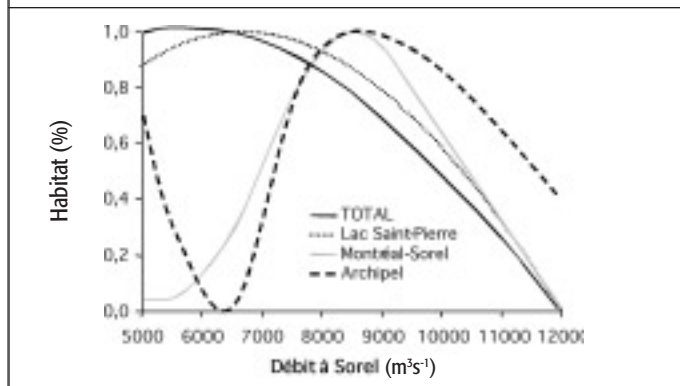


Figure 10

Exemple de relation entre la superficie d'habitat potentiel et le débit à Sorel (m³s⁻¹) pour un cyprin (méné jaune) dans les trois régions individuelles du lac Saint-Pierre, Montréal-Sorel et l'archipel, et aussi globalement dans le Saint-Laurent fluvial. Les superficies d'habitat disponible sont exprimées en valeur relative pour la comparaison.



expérimentale située près de Québec (de Lafontaine et Marchand, 2003).

Conclusion et perspectives

D'une façon générale, ce travail, qui a mis à profit divers types d'expertises et qui a créé des liens entre plusieurs bases de données majeures au Québec, démontre la pertinence d'une approche multidisciplinaire lors de l'étude écosystémique des grands cours



Promoteurs immobiliers, entrepreneurs en excavation, consultants en environnement :

Pour vos sols contaminés par des hydrocarbures pétroliers, HAP, créosote, PCP, phénols ou solvants, faites appel à une SOLUTION :

Rapide

Prise en charge immédiate des sols

Économique

Prix compétitifs

Définitive

Destruction des polluants

Contactez l'équipe professionnelle de Solution Eau Air Sol (EAS) inc. :

Montréal • Québec
(866) 653-3584

Figure 11

Exemple de reconstitution historique du potentiel d'habitat disponible dans le Saint-Laurent fluvial entre 1960 et 2000. On compare deux séries de débit moyen en septembre à Sorel, l'un régularisé selon le plan 1958DD tel qu'il a été mesuré (trait pointillé) et l'autre naturel tel qu'il aurait été mesuré en absence de régularisation (trait plein). La figure présente (a) les deux débits et les superficies (SUP) correspondantes disponibles pour l'habitat estival (b) du doré jaune et (c) d'un cyprin (méné jaune) dans l'ensemble du fleuve Saint-Laurent.

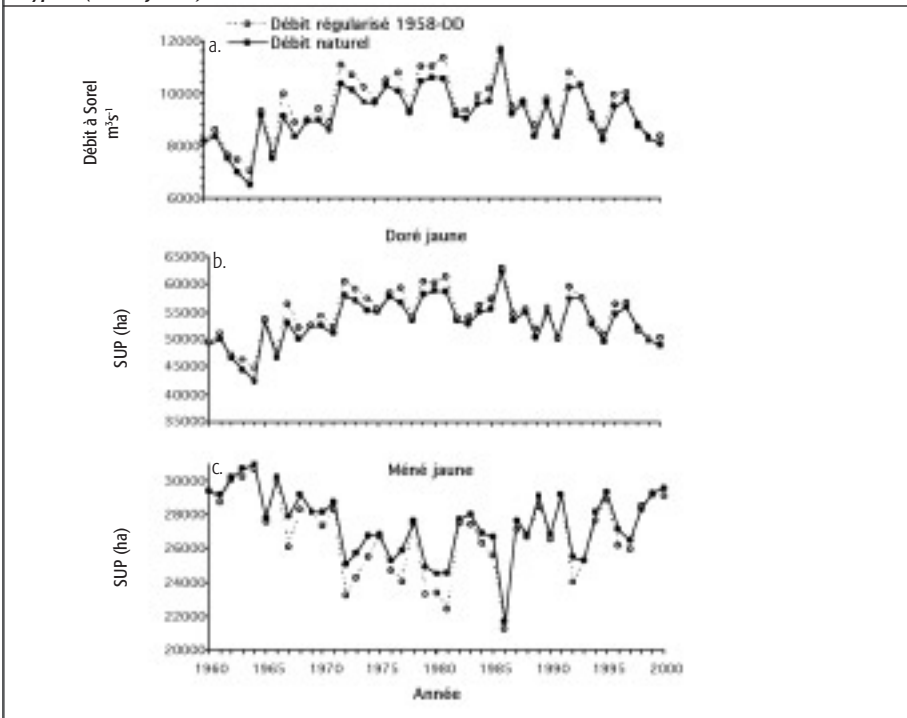
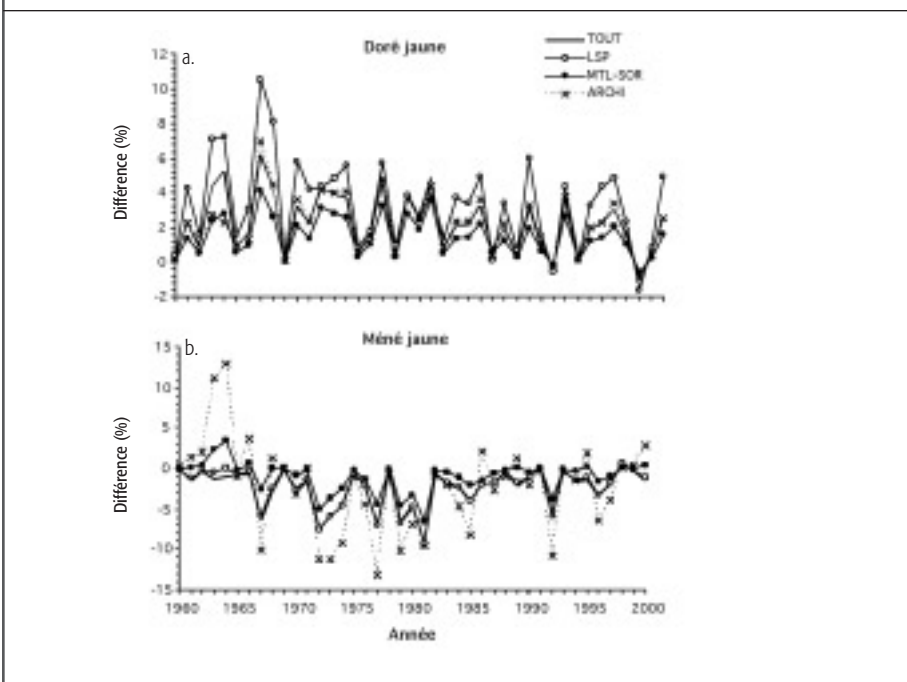


Figure 12

Différence entre les superficies d'habitat annuelles disponibles (SUP) calculées avec le débit régularisé tel qu'il a été mesuré pour la période 1960-2000, comparé avec le débit naturel tel qu'il aurait été mesuré en absence de régularisation. Les séries d'habitat de reproduction ont été calculées (a) pour le doré jaune et (b) le méné jaune dans les régions du lac Saint-Pierre, Montréal-Sorel, l'archipel et tout le Saint-Laurent fluvial. Une valeur négative indique une diminution de SUP attribua



d'eau. L'étude qui portait sur les impacts de la régularisation sur l'écosystème du fleuve Saint-Laurent fut l'occasion d'élaborer des modèles prédictifs de l'habitat des poissons et un premier modèle de terrain numérique 2D à haute résolution spatiale couvrant ce large territoire, ce qui est inusité.

Plusieurs constats suggèrent que le régime hydrologique du Saint-Laurent doit continuer à varier d'une année à l'autre à une échelle qui reste à définir pour satisfaire tour à tour les espèces qui ont des besoins écologiques et des niveaux de tolérance différents. Premièrement, l'ensemble des résultats obtenus pour les habitats de printemps et d'été illustre le large éventail de réponses des poissons aux variables d'habitat, qui elles-mêmes dépendent fortement du débit. Par exemple, si le débit a un impact positif sur l'habitat de reproduction du grand brochet et de la perchaude au printemps ainsi que la plupart des espèces lotiques en été, il peut également exercer un effet négatif sur d'autres espèces lenticques. Deuxièmement, la présente étude tend à démontrer l'importance de considérer les différentes régions du fleuve séparément pour estimer adéquatement l'impact des variations du débit du Saint-Laurent. Les quatre régions du Saint-Laurent réagissent différemment à la variation du débit. Troisièmement, la reconstitution historique des habitats potentiels depuis que le fleuve est régularisé a aussi révélé que la régularisation a eu des effets tantôt négatifs, tantôt positifs sur la quantité d'habitats disponibles, dépendamment de l'espèce et de la période considérée.

La présente étude constitue une première exploration des relations entre le débit et les habitats de reproduction, de croissance et d'alimentation des poissons du Saint-Laurent. Les recherches ultérieures devraient porter sur la validation avec des ensembles de données historiques d'abondance des populations et sur le raffinement des modèles d'habitat par l'ajout, par exemple, de la température de l'eau et de l'exposition au vent pour les habitats printaniers et de l'abondance et de la taille des poissons pour les habitats d'été. L'utilisation d'une échelle spatiale plus fine pour décrire la végétation émergente améliorera aussi les prédictions (Turgeon *et al.*, 2004). Il serait aussi crucial de rassembler les espèces dans des groupes

fonctionnels pour évaluer les impacts sur la communauté ichtyologique.

Ces travaux sur l'habitat des poissons s'inscrivent dans un programme global, qui comprend des études sur l'évaluation de la mortalité des premiers stades de vie des poissons et des conditions environnementales pendant leur saison de croissance, visant à établir des liens réalistes avec le cycle biologique et la dynamique des populations de poissons. Nous souhaitons qu'une telle modélisation de l'habitat soit utilisée plus intensivement par d'autres experts pour approfondir les connaissances écosystémiques du Saint-Laurent et pour améliorer son plan de régularisation.

Remerciements

Nous remercions Réjean Dumas, Martin Léveillé, Yves Mailhot et Pierre Dumont pour leurs précieux commentaires ainsi que Denise Deschamps, Olivier Champoux et Sylvain Martin pour leur aide technique. Ce projet a été rendu possible grâce aux financements conjoints de la Commission mixte internationale, du Plan d'action Saint-Laurent, du Plan Conjoint des Habitats de l'Est et de la Société de la faune et des parcs du Québec.

Références bibliographiques

Armellin, A., M. Mingelbier et J. Morin. 2003. Water Level Fluctuation and Year-Class Formation of Northern Pike in the St. Lawrence River. American Fisheries Society, Québec, août 2003.

Brodeur, P., M. Mingelbier et J. Morin. 2004. Impact des variations hydrologiques sur les poissons des marais aménagés du Saint-Laurent fluvial. *Le Naturaliste Canadien* 128-2: 66-77.

Brodeur, P., M. Mingelbier et J. Morin. Sous presse. Impact du débit sur la disponibilité des habitats de reproduction des poissons de la plaine inondable du Saint-Laurent mesuré avec un modèle numérique 2 D. *Le Naturaliste Canadien*.

Casselman, J. et J. Dietrich. 2003. Effects of climatic and hydrological variability on recruitment of Northern pike in the upper St. Lawrence River and lake Ontario. American Fisheries Society, Québec City, Aug. 2003.

Chanut, J.P., D. D'Astous et M.I. El-Sabh. 1988. Modelling the natural and anthropogenic variations of the St. Lawrence water level. In *Natural and man-made hazards*. Edited by El-Sabh, M.I. et T.S. Murty. D. Reidel Publishing Company. pp. 377-394.

De Lafontaine, Y. et F. Marchand. 2003. Fish Community Changes in the Lower St. Lawrence River during the Past 30 Years. American Fisheries Society, Québec, août 2003.

Fortin, R., M. Léveillé, P. Laramée et Y. Mailhot. 1990. Reproduction and year-class strength of the Atlantic tomcod (*Microgadus tomcod*) in the Sainte-Anne River, at La Pérade, Québec. *Can. J. Zool.* 68: 1350-1359.

La Violette, N. 2004. Les lacs fluviaux du Saint-Laurent : Hydrologie et modifications humaines. *Le Naturaliste Canadien* 128(1): 98-104.

La Violette, N., D. Fournier, P. Dumont et Y. Mailhot. 2003. Caractérisation des communautés de poissons et développement d'un indice d'intégrité biotique pour le fleuve Saint-Laurent, 1995-1997. Société de la faune et des parcs du Québec, Direction de la recherche sur la faune. 237 p.

Massé, G., R., Fortin, P. Dumont et J. Ferraris. 1988. Étude et aménagement de la frayère multispécifique de la rivière aux Pins et dynamique de la population de Grand brochet *Esox lucius* L., du fleuve Saint-Laurent, Boucherville, Québec. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche. 224 p.

Mingelbier, M. et J. Morin. 2003. Hydrological delineation of the St. Lawrence River using water level and discharge variability. American Fisheries Society, Québec, août 2003.

Mingelbier, M. et J. Morin. Sous presse. Modélisation numérique 2 D de l'habitat des poissons du Saint-Laurent fluvial pour évaluer l'impact des changements climatiques et de la régularisation. *Le Naturaliste Canadien*.

Mingelbier, M., F. Lecomte et J.J. Dodson. 2001. Climate change and abundance cycles of two sympatric populations of smelt

(*Osmerus mordax*) in the middle estuary of the St. Lawrence River, Canada. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58: 2048-2058.

Morin, J. et A. Bouchard. 2000. Les bases de la modélisation du tronçon Montréal /Trois-Rivières. Rapport scientifique SMC-Hydrologie RS-100. Environnement Canada, Sainte-Foy, 56 p.

Morin, J., M. Mingelbier, J.A. Bechara, O. Champoux, Y. Secretan, M. Jean et J.J. Frenette. 2003. Emergence of new explanatory variables for 2 D habitat modelling in large rivers: the St. Lawrence experience. *Canadian Water Resources Journal* 28(2): 1-24.

Morin, J. et J.-P. Côté. 2003. Modifications anthropiques sur 150 ans au lac Saint-Pierre: une fenêtre sur les transformations de l'écosystème du Saint-Laurent. *Vertigo – La revue en sciences de l'environnement*. 4: 3.

Mortsch, L. et F.H. Quinn. 1996. Climate change scenarios for Great Lakes Basin ecosystem studies. *Limn. Oceanogr.* 41: 903-911.

Nilo, P., P. Dumont et R. Fortin. 1997. Climatic and hydrological determinants of year-class strength of St. Lawrence River lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54: 774-780.

Petts, G. et P. Calow. 1996. River biota. Blackwell Sciences Ltd. 257 pp.

Stalnaker, C. B. 1979. The use of habitat structure preference for establishing flow regimes necessary for maintenance of fish habitat In Ward and Stanford (eds.). *The Ecology of Regulated Streams*: pp. 326-337.

Turgeon, K., O. Champoux, S. Martin et J. Morin. 2004. Modélisation des milieux humides de la plaine inondable du Saint-Laurent, du lac Saint-Pierre au lac Saint-Louis. Rapport scientifique RS-104. Environnement Canada, SMC-Hydrologie, Sainte-Foy, 70 pages.

Vincent, W. F. et J.J. Dodson. 1999. The St. Lawrence River, Canada-USA: the Need for an Ecosystem-Level Understanding of Large Rivers. *Jpn. J. Limnol.* 60: 29-50. 