

Direction de la recherche sur la faune

**Impacts des variations hydrologiques sur les poissons des marais
aménagés le long du Saint-Laurent fluvial**

par

Philippe Brodeur

Marc Mingelbier

et

Jean Morin

Société de la faune et des parcs du Québec
Québec, mars 2004

Référence à citer:

BRODEUR P., M. MINGELBIER et J. MORIN 2004. Impacts des variations hydrologiques sur les poissons des marais aménagés le long du Saint-Laurent fluvial. Société de la faune et des parcs du Québec, Direction de la recherche sur la faune. 60 p.

ABSTRACT

The goal of the present study was to determine the impact of water level fluctuations of the St. Lawrence River on fish populations in the managed marshes. The historical accessibility of all marshes since the beginning of flow regulation in the Lake Ontario – St. Lawrence system was quantified and the migration and reproduction chronology of northern pike (*Esox lucius*) and yellow perch (*Perca flavescens*) was determined in two managed marshes. High interannual variations in the duration of the access explained by hydrological conditions in the spring were observed since 1960 (1965 : no access; 1973 : 98 ± 38 days). Since 1975, a decrease of the annual access duration (1.1 day/year; $R^2 = 0.20$; $p = 0.01$) was registered, which could lead to a decrease of fish diversity and abundance in the marshes. Daily values of species richness in the fish community migrating to the studied marshes showed a bimodal distribution representing differences in the migration sequence of the different species. Pike and perch captures per unit of effort were positively influenced by daily variations of the water level ($R^2 : 0.64 - 0.89$; $p < 0.03$) while water temperature had no significant effect. Northern pike reproduction started when mean daily temperature reached $6.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ and adults had access to a proper spawning substrate (dense grasses). For yellow perch, 7-20 degree days ($> 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) had to be accumulated before reaching the maximum spawning time. This study suggests that the duration, the amplitude and the chronology of the spring flood has an impact on the species richness, the abundance of adult fish and the timing of the reproduction in the managed marshes. New field works will be necessary to validate the predictive models in the future, these results will help to improve the regulation of the St. Lawrence water flow by the International Joint Commission.

RÉSUMÉ

Le but de la présente étude était de développer des outils permettant d'estimer l'impact des variations hydrologiques du fleuve Saint-Laurent sur les poissons des marais aménagés en plaine inondable. Une analyse historique (1960-2002) de l'accessibilité de tous les aménagements depuis le début de la régularisation du système lac Ontario – fleuve Saint-Laurent a été réalisée et la chronologie de la migration et de la reproduction du grand brochet (*Esox lucius*) et de la perchaude (*Perca flavescens*) a été mesurée dans deux marais aménagés. De fortes variations interannuelles de la durée d'accès, attribuables aux conditions hydrologiques printanières, ont été observées depuis 1960 (1965 : aucun accès; 1973 : 98 ± 38 jours). Une diminution de la durée d'accès aux aménagements, estimée à 1,1 jour/année, a été enregistrée depuis 1975 ($R^2 = 0,20$; $p = 0,01$); ce qui pourrait s'être traduit par une baisse de la diversité et de l'abondance des poissons. Dans les marais ayant fait l'objet d'un échantillonnage, la richesse spécifique au sein de la communauté en migration a montré une distribution bimodale qui témoigne du caractère séquentiel du mouvement des différentes espèces vers les aménagements. Chez le brochet et la perchaude, les variations journalières du niveau de l'eau avaient une influence positive sur les prises par unité d'effort ($R^2 : 0,64 - 0,89$; $p : < 0,03$) tandis que les variations de la température de l'eau n'avaient aucun effet significatif. La reproduction du grand brochet est survenue lorsque la température journalière moyenne de l'eau a atteint 6,6 °C et que les géniteurs ont eu accès à la frange de végétation comportant des graminées denses. Chez la perchaude il a été observé qu'un nombre de degrés jours de 7-20 (> 10 °C) doit être accumulé avant que le maximum d'activité de reproduction soit atteint. Cette étude suggère que la durée, la hauteur et la chronologie de la crue printanière ont un impact sur la richesse spécifique, l'abondance des géniteurs et la date de la reproduction des frayeurs hâtifs dans les marais aménagés. De nouvelles mesures sur le terrain seront nécessaires pour valider les modèles prédictifs issus de nos résultats. Les résultats obtenus ont permis de formuler des recommandations préliminaires concernant la gestion des niveaux d'eau du fleuve Saint-Laurent par la Commission mixte internationale.

ÉQUIPE DE TRAVAIL

Responsable : Marc Mingelbier – Société de la faune et des parcs du Québec

Rédaction : Philippe Brodeur - Société de la faune et des parcs du Québec
Marc Mingelbier - Société de la faune et des parcs du Québec
Jean Morin - Service météorologique du Canada (Env. Can.)

Collaboration :

Alain Armellin - Centre Saint-Laurent (Env. Can.)
Denis Lehoux – Service canadien de la faune (Env. Can.)
Claude Lemire - GVL Environnement

Assistance technique (en ordre alphabétique) :

Hélène Baron, Geneviève Bélanger, Anne-Marie Binette, Andréanne Blais, Marie-Josée Boisvert, Virginie Boivin, Denis Bourbeau, Olivier Champoux, Denise Deschamps, Daniel Dolan, Réjean Dumas, Olivier Jutras, Suzanne Lepage, Martin Léveillé, Yves Mailhot, Paul Messier, Marie-Pascale Munger, Grégoire Ouellet, Daniel Rioux, Yves Robitaille, Olivier Roy, Valérie Simard, Louis-Marc Soye.

Administration : Société de la faune et des parcs du Québec et Fondation de la faune du Québec

AVANT-PROPOS

Depuis 1998, un volet de la phase III du Plan d'action Saint-Laurent a été réservé à l'étude des niveaux d'eau. L'objectif est de quantifier les impacts des variations hydrologiques dues aux changements climatiques et à la régularisation du système Grands Lacs – Saint-Laurent sur les usages du fleuve et ses écosystèmes. Depuis avril 2000, la Commission mixte internationale a apporté une contribution financière substantielle dans le cadre du plan d'étude concernant la révision des critères faisant partie des ordonnances d'approbation pour la régularisation du niveau et du débit du lac Ontario et du fleuve Saint-Laurent. La contribution de la Commission mixte internationale a eu pour effet positif d'accélérer le travail entamé dans le cadre du Plan d'action SLV2000, puisque les objectifs des deux programmes étaient étroitement reliés. Avec l'appui de ces programmes, la Direction de la recherche sur la faune a été mandatée pour formuler des recommandations sur la régularisation du niveau et du débit du lac Ontario et du fleuve Saint-Laurent. Les recommandations présentées dans ce document doivent être considérées comme préliminaires car elles ne sont basées que sur la première de deux années de données de terrain. Elles feront l'objet d'une validation et seront raffinées d'ici à leur intégration dans le plan de la Commission.

PARTENARIAT

Ce travail a été réalisé par la Société de la faune et des parcs du Québec (FAPAQ) en étroite collaboration avec plusieurs organismes. Le Service météorologique du Canada d'Environnement Canada a procédé à la modélisation de la température de l'eau à partir de variables météorologiques (sections 2.5 et 3.3). Le Service canadien de la faune d'Environnement Canada a contribué à l'élaboration de recommandations conjointes avec la FAPAQ afin de cerner les besoins de la sauvagine et des poissons de façon à éviter d'éventuels conflits d'usage. Au sein de la FAPAQ, plusieurs directions ont été impliquées dont principalement la Direction de la recherche sur la faune et les Directions régionales de la Montérégie, de Lanaudière et du Centre du Québec. Le ministère des Pêches et des Océans du Canada et le Centre Saint-Laurent d'Environnement Canada ont contribué à l'acquisition des données de terrain alors que la Fondation de la faune du Québec a assuré une partie de l'administration du projet. Le ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec et la firme GVL Environnement ont, quant à eux, mis à notre disposition les données d'un échantillonnage des géniteurs de perchaudes effectué au printemps 2002 au lac Saint-Pierre. Le Plan d'étude de la Commission mixte internationale, initié en 2000, a généré des collaborations supplémentaires avec des chercheurs de l'Ontario et des États-Unis intéressés par le système Grands Lacs – Saint-Laurent. Ce groupe assure une cohérence entre les travaux réalisés en amont et en aval du barrage de Moses-Saunders à Cornwall.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	iii
ÉQUIPE DE TRAVAIL	v
AVANT-PROPOS	vii
PARTENARIAT	ix
TABLE DES MATIÈRES	xi
LISTE DES TABLEAUX.....	xiii
LISTE DES FIGURES	xv
1. INTRODUCTION	1
2. MÉTHODOLOGIE.....	3
2.1. Approche expérimentale	3
2.2. Sites à l'étude.....	3
2.3. Accessibilité des aménagements.....	7
2.3.1. Cote d'opération et superficie d'habitat.....	7
2.3.2. Analyse des niveaux d'eau historiques	7
2.4. Processus biologiques	9
2.4.1. Échantillonnage des poissons	9
2.4.2. Structure des populations.....	10
2.4.3. Chronologie et durée de la migration.....	10
2.4.4. Chronologie et durée de la reproduction.....	12
2.5. Modélisation de la température de l'eau	12
3. RÉSULTATS ET DISCUSSION	14
3.1. Accessibilité des aménagements.....	14
3.1.1. Cote d'élévation et superficie d'habitat	14
3.1.2. Analyse des niveaux d'eau historiques	14
3.2. Processus biologiques	20
3.2.1. Structure des populations.....	20
3.2.2. Chronologie et durée de la migration.....	25
3.2.3. Chronologie et durée de la reproduction.....	35
3.3. Modélisation de la température de l'eau	42
4. CONCLUSION ET PERSPECTIVE POUR LA GESTION DES NIVEAUX D'EAU.....	49
RÉFÉRENCES	55

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Fonction des marais aménagés au lac Saint-Pierre et mode de contrôle du niveau d'eau.....	5
Tableau 2. Facteur de correction moyen (1960-2001) entre le niveau d'eau mesuré à Sorel et les marais aménagés et distance par rapport à la station de Sorel.	8
Tableau 3. Cote d'élévation des marais aménagés au lac Saint-Pierre telle que mesurée à la station de Sorel et superficie en eau correspondante (n. d. = donnée non disponible).....	15
Tableau 4. Nombre d'individus et date de la première capture dans deux marais aménagés au printemps 2002.....	21
Tableau 5. Température de l'eau rapportée dans la littérature pour la migration et la reproduction du grand brochet (n. d. = donnée non disponible).....	29
Tableau 6. Coefficient des régressions linéaires pour le modèle $\text{Log(PUE)} = \text{Cte} + \Delta T + \Delta N$ chez les brochets mâles et femelles capturés au marais Saint-Barthélemy au printemps 2002.....	30
Tableau 7. Longueur moyenne des brochets mâles et femelles entre le premier jour de la migration et le maximum de fraye aux marais Saint-Barthélemy et Saint-Eugène au printemps 2002.....	30
Tableau 8. Coefficient des régressions linéaires pour le modèle $\text{Log(PUE)} = \text{Cte} + \Delta T + \Delta N$ chez les perchaudes mâles et femelles capturées au marais Saint-Barthélemy au printemps 2002.....	34
Tableau 9. Longueur moyenne des perchaudes mâles et femelles entre le premier jour de la migration et le maximum de fraye en milieu aménagé (Saint-Barthélemy et Saint-Eugène) et naturel (Longue Pointe) au printemps 2002.....	34
Tableau 10. Température de l'eau rapportée dans la littérature pour la reproduction de la perchaude (<i>Perca flavescens</i>) et de la perche (<i>Perca fluviatilis</i>) (n. d. = donnée non disponible).....	39

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Localisation des marais aménagés au lac Saint-Pierre.	6
Figure 2.	Superficie cumulée de marais aménagé au lac Saint-Pierre en fonction du niveau d'eau du Saint-Laurent. Chaque point représente la cote d'opération d'un aménagement..	16
Figure 3.	Durée annuelle moyenne de l'inondation printanière (mars - juin) de chaque marais aménagé au lac Saint-Pierre, calculée pour la période 1960-2001, en fonction du niveau de l'eau du Saint-Laurent. Les données de 2002 (mars - juin et mars - mai) sont également présentées.	16
Figure 4.	Durée de contact moyenne au printemps entre le fleuve et les marais aménagés (histogramme) et superficie (courbe) qui aurait été disponible annuellement si tous les marais aménagés au lac Saint-Pierre avaient été mis en opération en 1960.....	18
Figure 5.	Niveau d'eau maximum consécutif (Log Pearson 3) mesuré au printemps (1 ^{er} mars au 30 juin) à Sorel entre 1960 et 2001. Les récurrences 1, 2, 5, 10, 20, 50 et 100 ans (trait plein) ainsi que les données de 2002 (trait pointillé) ont été représentées.....	19
Figure 6.	Distribution des fréquences de taille des grands brochets femelles et mâles capturés dans deux marais aménagés au cours du printemps 2002. Les distributions en taille des femelles et des mâles ne diffèrent pas entre les sites selon un test de Kolmogorov-Smirnov ($p > 0,05$).	22
Figure 7.	Distribution des fréquences de taille des perchaudes femelles et mâles capturées en milieu aménagé (Saint-Barthélemy et Saint-Eugène) et naturel (Maskinongé et Longue Pointe) au cours du printemps 2002. Les distributions en taille des femelles et des mâles accompagnées de lettres différentes diffèrent significativement selon un test de Kolmogorov-Smirnov ($p < 0,05$).	23
Figure 8.	Distribution des fréquences d'âge des perchaudes femelles et mâles capturées dans deux marais aménagés au cours du printemps 2002. Les distributions en âge des femelles et des mâles ne diffèrent pas entre les sites selon un test de Kolmogorov-Smirnov ($p > 0,05$).	24
Figure 9.	Nombre d'espèces (trait plein) et indice de diversité de Shannon-Weiner (trait pointillé) au sein de la communauté de poissons en migration (a) et déjà présente (b) dans le marais de Saint-Barthélemy au printemps 2002.....	26

Figure 10. Prises par unité d'effort du grand brochet dans deux marais aménagés du lac Saint-Pierre durant le printemps 2002. La température moyenne de l'eau, le niveau d'eau du Saint-Laurent et les dates du déclenchement de la reproduction (*) sont représentés.	28
Figure 11. Prises par unité d'effort de la perchaude dans deux marais aménagés (Saint-Barthélemy et Saint-Eugène) et naturels (Maskinongé et Longue Pointe) du lac Saint-Pierre durant le printemps 2002. La température moyenne de l'eau, les dates du maximum de la reproduction (*) et le niveau d'eau du fleuve sont représentés.....	32
Figure 12. Évolution de la proportion des grands brochets femelles qui se sont reproduits dans deux marais aménagés du lac Saint-Pierre durant le printemps 2002. Les températures moyenne, minimum et maximum de l'eau sont représentées.	36
Figure 13. Évolution de la proportion de perchaudes femelles qui se sont reproduites dans deux marais aménagés (Saint-Barthélemy et Saint-Eugène) et naturels (Maskinongé et Nicolet) du lac Saint-Pierre durant le printemps 2002. Les températures moyenne, minimum et maximum de l'eau sont représentées.	38
Figure 14. Température moyenne journalière de l'eau calculée en fonction de la température moyenne journalière de l'eau mesurée en 2002.....	42
Figure 15. Températures moyennes journalières de l'eau et de l'air mesurées comparativement aux valeurs de températures calculées à l'aide de l'équation optimisée et profondeur d'eau à l'emplacement du thermographe.....	43
Figure 16. Température moyenne journalière de l'eau calculée en fonction de la température moyenne journalière de l'eau mesurée en 2002.....	44
Figure 17. Températures moyennes journalières de l'eau et de l'air mesurées comparativement aux valeurs de températures calculées à l'aide de l'équation optimisée et profondeur d'eau à l'emplacement du thermographe.....	44
Figure 18. Température moyenne journalière de l'eau calculée en fonction de la température moyenne journalière de l'eau mesurée en 2002.....	45
Figure 19. Températures moyennes journalières de l'eau et de l'air mesurées comparativement aux valeurs de températures calculées à l'aide de l'équation optimisée et profondeur d'eau à l'emplacement du thermographe.....	45
Figure 20. Température moyenne journalière de l'eau calculée en fonction de la température moyenne journalière de l'eau mesurée en 2002.....	46

Figure 21. Températures moyennes journalières de l'eau et de l'air mesurées comparativement aux valeurs de températures calculées à l'aide de l'équation optimisée et profondeur d'eau à l'emplacement du thermographe.....	46
Figure 22. Température moyenne journalière de l'eau calculée en fonction de la température moyenne journalière de l'eau mesurée en 2002.....	47
Figure 23. Températures moyennes journalières de l'eau et de l'air mesurées comparativement aux valeurs de températures calculées à l'aide de l'équation optimisée et profondeur d'eau à l'emplacement du thermographe.....	47
Figure 24. Recommandations préliminaires basées sur les résultats obtenus pour les poissons des marais aménagés et pour la sauvagine. Les niveaux d'eau à éviter sont représentés en pointillé pour les poissons des marais aménagés et en hachuré pour la sauvagine. Les niveaux recommandés correspondent à la zone grise.....	54

1. INTRODUCTION

L'étude des facteurs qui influencent la chronologie de la migration et de la reproduction des poissons est nécessaire à la compréhension des stratégies du cycle vital des poissons (Brenkman *et al.* 2001) et aussi à une saine gestion de l'hydrologie des réservoirs hydroélectriques (Paragamian et Kruse 2001), des pêcheries et des ensemencements (Merritt et Roberson 1986, Springborn *et al.* 1998). Ceci s'applique plus particulièrement à des systèmes hydriques fortement régularisés et dans lesquels les phénomènes biologiques peuvent être sévèrement altérés par des interventions anthropiques (Farrell 2001, Paragamian et Kruse 2001). Il existe une littérature imposante concernant les facteurs environnementaux qui contrôlent la migration et la reproduction de plusieurs espèces de poissons (Jonsson 1991, Trépanier *et al.* 1996). Il a été rapporté que la température de l'eau, le débit, la phase lunaire et/ou la photopériode sont des variables susceptibles de contrôler la chronologie et l'intensité du mouvement des poissons (Witkowski et Kowalewski 1988; Jonsson 1991, Rodriguez-Ruiz et Granado-Lorencio 1992, Garrett et Bennett 1995, Brenkman *et al.* 2001, Paragamian et Kruse 2001). Pour sa part, la reproduction est influencée par une panoplie d'interactions entre des facteurs environnementaux, endocriniens et sociaux (Dabrowski *et al.* 1996). En zone tempérée, la température de l'eau et la photopériode sont considérées comme étant les principaux stimuli déclenchant la reproduction des poissons (Dabrowski *et al.* 1996).

Au Québec, plusieurs études ont démontré que les marais aménagés constituent des sites de reproduction et d'alevinage productifs, particulièrement pour les espèces à fraye hâtive, dont le grand brochet (*Esox lucius*) et la perchaude (*Perca flavescens*) (Lepage et Lalumière 2003, Mingelbier et Douguet 1999). Des résultats préliminaires tendent à démontrer que la croissance des jeunes perchaudes de l'année dans les milieux aménagés est plus élevée que dans des milieux naturels, ce qui pourrait améliorer leur taux de survie et le succès de la reproduction (Tardif *et al.* 2003). Durant la période 1987-2001, 14 marais (1 326 ha) ont été aménagés au lac Saint-Pierre pour les poissons et la sauvagine dans le but de compenser des pertes d'habitat. Dans cette région, les marais aménagés représentent une portion non négligeable de la superficie totale des milieux humides, soit 5-10 % de la plaine inondable lors des crues à récurrence de deux ans. La

hausse printanière du niveau d'eau du fleuve Saint-Laurent permet généralement aux poissons de se rendre dans les marais aménagés et les caractéristiques spécifiques à cette crue se répercutent sur leur écologie. La durée et la chronologie de la crue influencent la longueur de la période d'accès pour les poissons alors que sa hauteur détermine la superficie d'habitat disponible. Des niveaux d'eau trop bas lors de la migration et de la reproduction empêcheraient les marais aménagés de jouer leur rôle compensatoire en bloquant l'accès des poissons à des habitats de qualité. La phase III du Plan d'action Saint-Laurent et la révision du plan de gestion de la Commission mixte internationale étaient une occasion unique de quantifier l'impact des variations hydrologiques sur les aménagements et de formuler des recommandations pour la régularisation du système lac Ontario - fleuve Saint-Laurent. Le grand brochet et la perchaude ont été retenus comme principales espèces indicatrices 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 (Fortin *et al.* 1982; Craig 2000).

Les objectifs étaient : (1) de quantifier l'accessibilité des marais aménagés aux populations de poissons en fonction du niveau de l'eau du Saint-Laurent, (2) de déterminer l'influence du niveau de l'eau et de la température sur la chronologie et la durée des processus biologiques (migration : toutes les espèces; reproduction : grand brochet et perchaude) dans les marais aménagés et naturels et (3) de modéliser la température de l'eau à partir de données météorologiques. Ce document fait état des résultats de la première de deux années de travaux de terrain qui permettront de développer des indicateurs visant à estimer l'impact des variations hydrologiques sur les poissons des marais aménagés. La version des recommandations présentée dans ce rapport est préliminaire et sera raffinée d'ici à son intégration dans le plan de la Commission mixte internationale.

2. MÉTHODOLOGIE

2.1 APPROCHE EXPÉRIMENTALE

Accessibilité des aménagements. Les cotes d'opération, assurant le fonctionnement optimal de chaque aménagement, ont été colligées et associées à une superficie inondée. Les niveaux d'eau historiques du Saint-Laurent (1960-2002) ont été mis en relation avec les cotes d'opération dans le but de quantifier l'accessibilité des différents sites en terme de durée de contact et de superficie d'habitat disponible (indicateurs de l'accessibilité).

Processus biologiques. Des poissons ont été capturés et des mesures d'habitat ont été réalisées dans deux marais aménagés et deux marais naturels situés dans la région du lac Saint-Pierre. La chronologie de la migration et de la reproduction mesurée *in situ* sera exprimée ultérieurement en fonction du niveau et de la température de l'eau pour une espèce et/ou un groupe d'espèces cibles. Ces indicateurs biologiques, couplés aux indicateurs d'accessibilité des aménagements, permettront de proposer des niveaux d'eau visant à optimiser la diversité et l'abondance des poissons dans les marais.

Modélisation de la température de l'eau. Des modèles visant à prédire la température de l'eau à partir de données météorologiques ont été établis. En se basant sur ces modèles, il sera possible de recréer l'environnement thermique qui prévalait dans le passé de façon à reproduire la séquence des processus biologiques en milieu aménagé et naturel et ainsi quantifier l'impact des variations hydrologiques passées.

2.2 SITES À L'ÉTUDE

La présente étude a été réalisée dans la région du lac Saint-Pierre située sur le cours du fleuve Saint-Laurent. Le Saint-Laurent prend sa source à l'exutoire des Grands Lacs sortant du lac Ontario. Le débit à la sortie des Grands Lacs varie annuellement entre 6 000 et 9 000 m³/s, ce qui représente approximativement 60 % du débit entrant dans le lac Saint-Pierre au printemps (Morin *et al.* 2003). Le lac Saint-Pierre est un lac fluvial typique qui a été qualifié de réserve écologique de la biosphère par l'UNESCO. Il a une

superficie d'environ 31 500 ha, une profondeur moyenne de 3,17 m au débit moyen et une imposante plaine d'inondation atteignant 14 000 ha durant cinq à neuf semaines lors des crues à récurrence de deux ans (Frenette *et al.* 2003, Lessard 1991). Le lac Saint-Pierre supporte plus de 40 espèces de poissons et sa communauté est dominée par la perchaude (Vachon 2000; La Violette *et al.* 2003).

Accessibilité des aménagements. Les marais aménagés situés dans la plaine inondable du lac Saint-Pierre ont été considérés dans la présente étude (tableau 1; figure 1). Ceux-ci présentent des fonctions très variées. Certains d'entre eux sont conçus et gérés pour les poissons, d'autres pour la sauvagine, d'autres encore ont des fonctions mixtes. Les marais dédiés uniquement à la sauvagine ne sont accessibles aux poissons que lors des crues exceptionnelles et leur gestion n'est pas adaptée à la faune ichthyologique. Dans la présente étude, seuls les marais aménagés situés dans la zone des crues à récurrence comprise entre 1 et 5 ans ont été considérés.

Le niveau d'eau des marais aménagés L niveau d'eau stable dans le marais et de l'abaisser au moment opportun afin d'évacuer les poissons avant la formation du couvert de glace et ainsi éviter la mortalité hivernale. Dans d'autres cas, les marais aménagés constituent des fossés piscicoles ou des étangs qui ne présentent aucun ouvrage de contrôle (niveau en phase avec le Saint-Laurent). Plus de détails sur la gestion actuelle des aménagements sont disponibles dans Lepage et Lalumière (2003).

Processus biologiques et modélisation de la température. Au cours de la saison 2002, une série de variables abiotiques, dont la température de l'eau, a été mesurée dans trois marais aménagés (marais Saint-Eugène (46°17'N, 72°39'O), segment 4 du complexe d'aménagement de Saint-Barthélemy (46°10'N, 73°00'O) et marais de l'Île du Moine (46°06'N, 72°57'O)) et dans deux marais naturels situés au lac Saint-Pierre (baie de Maskinongé (46°12'N, 72°58'O) et secteur de Longue Pointe (46°11'N, 72°45'O)) (figure 1, tableau 1). Les processus biologiques (marais aménagés: chronologie de la migration chez toutes les espèces, chronologie de la reproduction chez le brochet et la perchaude; marais naturels: chronologie de la migration et de la reproduction chez la

perchaude) ont été mesurés dans deux (c.-à-d. Saint-Eugène et Saint-Barthélemy) des trois marais aménagés ainsi que dans les deux marais naturels.

Tableau 1. Fonction des marais aménagés au lac Saint-Pierre et mode de contrôle du niveau d'eau.

Contrôle	Aménagement	Fonction
<i>Habitat exclusif aux poissons</i>		
Non	Commune de Baie-du-Febvre (segment 4)	Fossés piscicoles
	Yamachiche	Fossés piscicoles
Oui	Rivière Marguerite	Fossés piscicoles
	Saint-Barthélemy (segment 4)	Marais endigué
<i>Habitat accessible à la sauvagine et aux poissons</i>		
Non	Étangs de Baie-du-Febvre	Étangs aménagés
	Île Moras	Étangs aménagés
	Louiseville (Porte de la Mauricie)	Îlots de nidification
	Maskinongé-Yamachiche	Îlots de nidification et étangs aménagés
Oui	Baie Lavallière	Marais endigué et îlots de nidification
	Commune de Baie-du-Febvre (segments 2 et 3)	Rigoles et planches agricoles
	Île du Moine	Marais endigué
	Île Dupas (segment 1)	Rigoles et planches agricoles
	Marais Saint-Eugène	Marais endigué

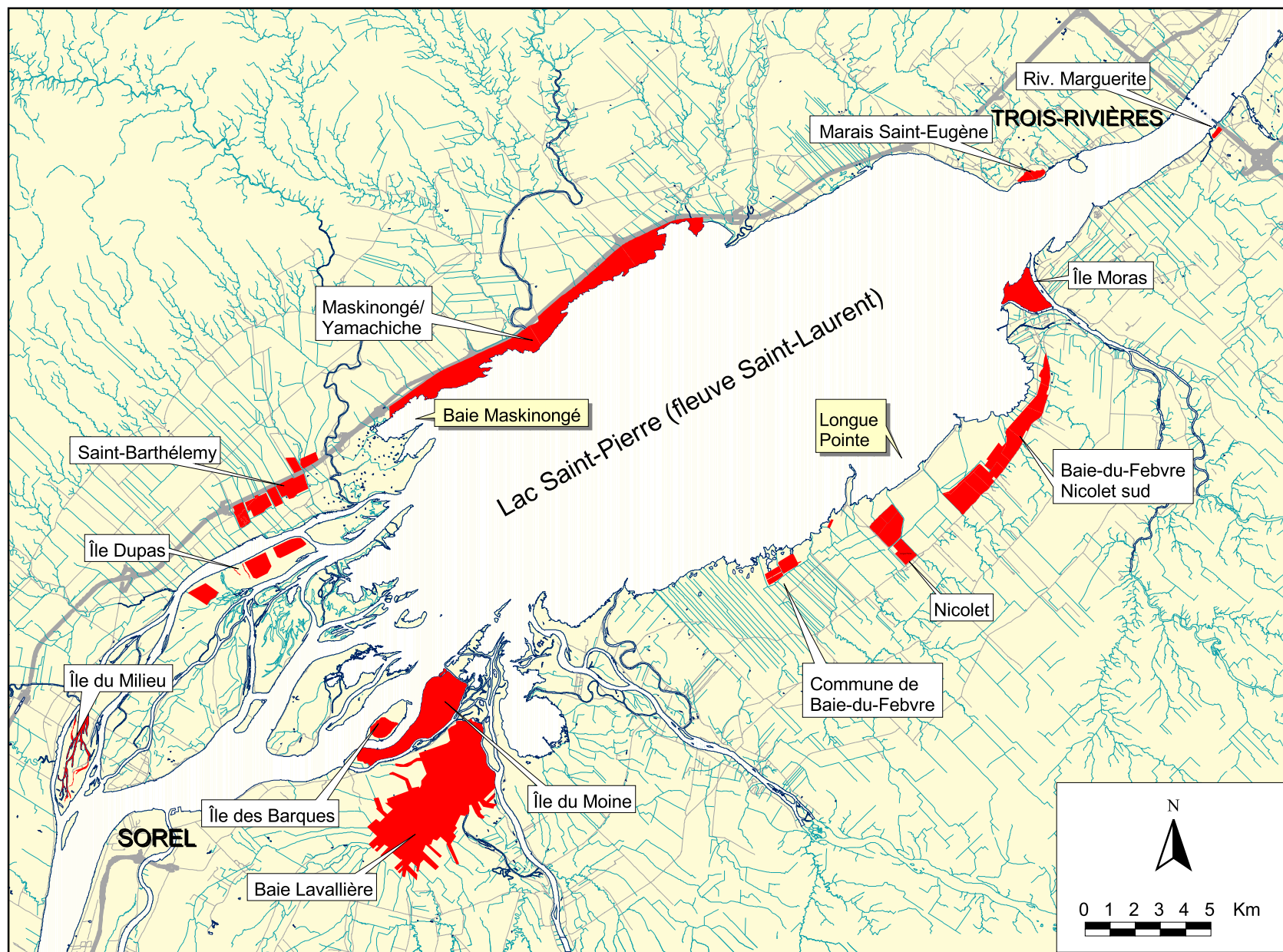


Figure 1. Localisation des marais aménagés au lac Saint-Pierre.

2.3 ACCESSIBILITÉ DES AMÉNAGEMENTS

2.3.1 Cote d'opération et superficie d'habitat

Dans le but d'évaluer la sensibilité des marais aménagés aux variations des niveaux d'eau du Saint-Laurent, une caractérisation physique des sites a été réalisée. Pour ce faire, les informations du répertoire synthèse des aménagements fauniques de la plaine inondable du lac Saint-Pierre ont été mises à jour (Mingelbier et Douguet 1999). Les cotes d'opération assurant le fonctionnement optimal de chaque aménagement ont été colligées et associées à une superficie inondée.

Chaque site est caractérisé par deux cotes : une cote d'opération minimum (op_{min}) et une cote d'opération maximum (op_{max}). Les niveaux d'eau situés entre les cotes op_{min} et op_{max} permettent le fonctionnement optimal de l'aménagement. La cote op_{min} correspond au niveau d'eau au-dessus duquel un contact est établi entre le fleuve et le marais, rendant disponible un minimum de superficie favorable pour les poissons. Lorsque l'inondation atteint la cote op_{max} , la surface de milieu disponible dans le marais est à son maximum. Pour les marais qui ne présentent pas d'ouvrage de contrôle, les cotes op_{min} et op_{max} correspondent respectivement au niveau d'eau donnant accès à 80 % et 100 % de leur superficie totale. Les poissons ont accès au marais lorsque le niveau du fleuve est supérieur à la cote d' op_{min} .

2.3.2 Analyse des niveaux d'eau historiques

Une analyse des crues printanières historiques (1960-2002) visant à évaluer la sensibilité des marais aménagés aux différentes conditions hydrologiques observées suite à la régularisation du système lac Ontario – fleuve Saint-Laurent a été réalisée. Les niveaux d'eau historiques du Saint-Laurent mesurés à Sorel entre le 1^{er} mars et le 30 juin ont été mis en relation avec les cotes d'opération pour quantifier annuellement l'accessibilité des marais aménagés pour les poissons. Pour chaque année, les durées de contact et les superficies inondées correspondant aux niveaux d'eau mesurés ont été calculées. Étant donné que les marais aménagés sont situés à des altitudes différentes, il a été nécessaire de calculer un facteur de correction par rapport à une station de référence (c.-à-d. Sorel).

Ce facteur a été établi chaque jour à partir de la pente du niveau d'eau entre Sorel et Trois-Rivières et à partir de la distance du marais par rapport à Sorel (interpolation linéaire au centre du couloir fluvial entre Sorel et Trois-Rivières). À titre indicatif, les moyennes des facteurs de correction sont présentées au tableau 2. Une fois la correction apportée, il devenait possible, à chaque jour et pour chaque aménagement, de savoir si le niveau du Saint-Laurent atteignait ou non la cote d' op_{min} . Des régressions linéaires simples ont été utilisées pour déterminer l'évolution de la durée d'accès annuelle depuis 1975 et pour quantifier l'influence de l'élévation des marais sur la durée d'accès.

De plus, la série de mesures à Sorel entre 1960 et 2001 a été analysée pour identifier le niveau d'eau maximum atteint durant 1, 3, 5, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 54 et 60 jours consécutifs et pour lui associer une récurrence (Log Pearson 3; 1, 2, 5, 10, 20, 50 et 100 ans).

Tableau 2. Facteur de correction moyen (1960-2001) entre le niveau d'eau mesuré à Sorel et les marais aménagés et distance par rapport à la station de Sorel.

Aménagement	Distance par rapport à Sorel (km)	Facteur de correction moyen (m)
Île Dupas segment 1	10,6	-0,15
Baie Lavallière	12,0	-0,17
Île du Moine	12,6	-0,18
St-Barthélémy segment 4	13,1	-0,18
Louiseville (porte de la Mauricie)	25,1	-0,35
Maskinongé-Yamachiche	25,1	-0,35
Yamachiche	25,1	-0,35
Commune de Baie-du-Febvre segment 2	28,6	-0,40
segment 3	28,6	-0,40
segment 4	28,6	-0,40
Étangs de Baie-du-Febvre	28,6	-0,40
Île Moras	43,1	-0,60
Marais Saint-Eugène	45,6	-0,64
Rivière Marguerite	52,6	-0,74

2.4 PROCESSUS BIOLOGIQUES

2.4.1 Échantillonnage des poissons

Des pêches expérimentales ont été réalisées au printemps 2002 dans les marais de Saint-Barthélemy et de Saint-Eugène. L'échantillonnage s'est déroulé durant un mois, de la débâcle à la fin de la période d'accès des poissons aux marais aménagés (Saint-Barthélemy : 3 avril - 6 mai; Saint-Eugène : 8 avril - 9 mai). Une trappe Alaska (mailles étirées : 1,5 cm) a été installée au niveau du point de contact entre le marais aménagé et le fleuve de façon à déterminer la chronologie de la migration des poissons dans le marais. Selon le site, entre 7 et 11 verveux (mailles étirées: 4,5 et 4,8 cm) ont été disposés aléatoirement dans le marais aménagé dans le but de suivre l'évolution de la maturité sexuelle du grand brochet et de la perchaude de façon à évaluer la chronologie de la reproduction. Au marais Saint-Eugène, deux verveux ont été installés à l'extérieur de l'aménagement, avant et après la période de contact entre le fleuve et le marais afin de documenter le mouvement des poissons durant cette période (avant : 8 - 15 avril; après : 2 - 9 mai). Les engins de pêche ont été visités une fois par jour jusqu'à la fin de la période de reproduction du grand brochet et de la perchaude, et ensuite aux deux ou trois jours. Tous les grands brochets et les perchaudes ont été pesés ($\pm 0,1$ g), mesurés ($\pm 0,1$ mm LT) et leur stade de maturité sexuelle a été évalué par pression abdominale et extrusion partielle des gamètes selon l'échelle de Nikolsky (Nikolsky 1963). Pour la détermination de l'âge, les trois premiers rayons de la nageoire dorsale et des écailles (situées sur le flanc gauche, entre la partie antérieure de la nageoire dorsale et la ligne latérale) ont été prélevés chez la perchaude et le grand brochet respectivement. Chaque perchaude et brochet était marqué à l'aide d'une étiquette à ancrage en T disposée sous la nageoire dorsale. Les grands brochets ont été anesthésiés avant les manipulations à l'aide d'une solution d'huile de clou de girofle à 0,005 %. Chez les espèces autres que le grand brochet et la perchaude, tous les individus ont été identifiés et 30 spécimens provenant d'un sous-échantillon aléatoire ont été mesurés et pesés. Après les manipulations, les poissons ont été relâchés dans l'aménagement, à au moins 200 m du lieu de capture.

Pour chaque marais naturel, le contenu de trois verveux de pêche commerciale (mailles étirées : 4,5 et 4,8 cm) choisis aléatoirement dans les sites de reproduction de la perchaude a été analysé, à raison d'un site par jour. L'échantillonnage a débuté le 11 avril à Maskinongé et le 13 avril à Longue Pointe. Les perchaudes ont été dénombrées, mesurées ($\pm 0,1$ mm LT) et leur stade de maturité sexuelle a été évalué selon la méthode décrite précédemment.

2.4.2 Structure des populations

La détermination de l'âge des perchaudes capturées dans les deux marais aménagés a été effectuée. Une scie IsometTM à basse vitesse a été utilisée pour effectuer des coupes transversales du deuxième et du troisième rayon de la nageoire dorsale. Deux lectures indépendantes ont été réalisées par un seul lecteur. Lorsque ces lectures étaient discordantes, une troisième lecture était effectuée par deux lecteurs indépendants. Pour chaque population, entre 59 et 94 individus par sexe ont été utilisés pour la détermination de l'âge. Tous les spécimens des classes de taille peu abondantes (c.-à-d. petits et grands individus) ont été utilisés; le sous-échantillon étant complété à l'aide d'un nombre donné d'individus, choisis aléatoirement à l'intérieur des autres classes de taille (intervalle de 10 mm). La structure de la population a été déterminée en attribuant, pour chaque classe de taille et dans la même proportion, l'âge des individus âgés aux individus non âgés. Les distributions des fréquences de taille (grand brochet et perchaude) et d'âge (perchaude) chez les femelles et les mâles ont été comparées entre les sites à l'aide d'un test de Kolmogorov-Smirnov (Legendre et Legendre 1984).

2.4.3 Chronologie et durée de la migration

Pour déterminer l'évolution de la diversité au sein de la communauté de poissons en migration dans le marais de Saint-Barthélemy, la richesse spécifique (nombre d'espèces) et l'indice de diversité de Shannon-Weiner (équilibre entre les espèces; Legendre et Legendre 1984) ont été calculés pour chaque jour de suivi. Pour des raisons logistiques, il a été impossible de considérer les données de diversité recueillies au marais Saint-Eugène.

Afin d'évaluer la chronologie de la migration des grands brochets et des perchaudes, les prises par unité d'effort (PUE) des mâles et des femelles ont été estimées. À Saint-Barthélemy, les PUE ont été calculées à partir des échantillons recueillis avec la trappe Alaska située à l'entrée de l'aménagement. À Saint-Eugène, les PUE moyennes ont été calculées à l'aide de tous les engins de pêche (incluant les engins installés à l'extérieur de l'aménagement) puisque de nombreux poissons ont échappé à la trappe Alaska.

Pour quantifier l'influence des variations de la température et du niveau d'eau au marais de Saint-Barthélemy sur la migration du brochet et de la perchaude entre le début de la pêche et le maximum de la fraye, des analyses de régression multiple ont été utilisées. Selon Trépanier *et al.* (1996), les poissons répondraient davantage à des variations relatives élevées du débit plutôt qu'à de fortes valeurs absolues.

Pour chaque sexe, un modèle a été estimé sous la forme suivante :

$$Y_t = C_0 + C_1 \Delta T + C_2 \Delta N \quad \text{eq. (1)}$$

où Y_t représente les prises par unité d'effort (PUE) enregistrées à l'entrée du marais, C les coefficients de la régression, ΔT les différences journalières de température ($T_t - T_{t-1}$) et ΔN les différences journalières de niveau d'eau ($N_t - N_{t-1}$). Préalablement à l'application des analyses multivariées, des régressions simples entre les PUE et les variables environnementales ont été utilisées dans le but de choisir les meilleurs descripteurs des variations de température et de niveau d'eau pour chaque espèce. Chez la perchaude, la température journalière moyenne de l'eau et le niveau journalier moyen mesuré à Sorel (IGLD85; m) ont été utilisés pour les analyses. Chez le brochet, le niveau journalier moyen mesuré à Sorel ainsi que la température maximum journalière ont été utilisés. Une transformation de type $\log(X+1)$ a été appliquée aux PUE afin de respecter les conditions de normalité. Le même type d'analyse a été appliqué aux données de biomasse par unité d'effort (BUE) sans amélioration du niveau de signification. Pour cette raison, seuls les résultats obtenus à l'aide des PUE ont été présentés.

Une régression linéaire simple a été employée dans le but de déterminer l'évolution de la taille des perchaudes et des grands brochets mâles et femelles entre le début de la

migration et le maximum de fraye, défini comme étant la date où 50 % des femelles capturées avaient frayé (stade de maturité no. 6 selon l'échelle de Nikolsky).

2.4.4 Chronologie et durée de la reproduction

Dans le but d'évaluer la chronologie de la reproduction chez le grand brochet et la perchaude, la date de fraye a été estimée à partir des mesures quotidiennes de maturité sexuelle. Chez le brochet, la date de la reproduction a été définie comme étant celle où les premières femelles ont frayé. Puisque la fréquence d'échantillonnage était insuffisante pour déterminer le début de la fraye de la perchaude en milieu naturel, la date de la reproduction a été définie comme étant la date correspondant au maximum de fraye (date où 50 % des femelles capturées avaient frayé). La date de fraye a été mise en relation (de façon visuelle) avec la température moyenne, minimum et maximum de l'eau, les degrés jours supérieurs à 10 °C (calculé à partir de la température maximum journalière) ainsi qu'avec le niveau d'eau dans le but de déterminer les facteurs qui influencent la chronologie de la reproduction. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide de la version 8.0 du logiciel SYSTAT pour Windows.

2.5 MODÉLISATION DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU

La température de l'eau a été mesurée en milieu aménagé et naturel du début avril à la fin juillet, à l'aide de deux thermographes (Minilog-T de Vemco; $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$) par site. Les thermographes ont été protégés des radiations solaires directes et ont été placés à 0,2 m du fond, dans une colonne d'eau d'environ 1 m. Afin de respecter la gamme de profondeur choisie pour les mesures, les thermographes placés dans les marais naturels ont dû être déplacés régulièrement en raison des variations du niveau d'eau observées dans ce type de milieu.

Les données de température mesurées *in situ* ont été utilisées pour construire un modèle permettant de prédire la température de l'eau à partir de données météorologiques. La forme de l'équation mathématique est une variante de l'équation utilisée par Massé *et al.* (1988). Cette nouvelle forme d'équation (équation 2) a été utilisée auparavant dans le

cadre d'une modélisation de la chronologie de la reproduction du grand brochet à la rivière aux Pins, tributaire du Saint-Laurent situé à Boucherville (Rioux et Morin 2001). Elle a été optimisée par la méthode des moindres carrés, en minimisant par itération, les écarts entre les valeurs calculées et les valeurs mesurées sur le terrain. Cette équation tient compte des températures de l'air (provenant de la station Courbe #2 située au lac Saint-Pierre), de la variation journalière de ces températures, de la profondeur de l'eau ainsi que de la variation journalière de la profondeur de l'eau à l'endroit où était disposé le thermographe.

$$T_{EauMoy} = A * (T_{AirMoy} - S_T) - B * (P + S_p) + C \quad \text{eq. (2)}$$

où

T_{EauMoy} = Température moyenne journalière de l'eau (°C)

T_{AirMoy} = Température moyenne journalière de l'air (°C)

S_T = Variation journalière de la température moyenne de l'air (°C)

S_p = Variation journalière du niveau de l'eau (m)

P = Profondeur de l'eau journalière (m)

A, B, C = Constantes optimisées

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 ACCESSIBILITÉ DES AMÉNAGEMENTS

3.1.1 Cote d'opération et superficie d'habitat

Les cotes d'opération des marais aménagés et les superficies accessibles aux poissons varient considérablement d'un site à l'autre (tableau 3 et figure 2). Les cotes op_{min} varient entre 4,95 m et 6,95 m, les cotes op_{max} entre 5,20 m et 7,85 m et les superficies d'habitat entre 0,4 ha et 968,0 ha. En terme de superficie, les trois sites les plus importants sont la Baie Lavallière, l'Île du Moine et Saint-Barthélemy segment 4. À partir de la cote op_{min} , une augmentation du niveau de l'eau du fleuve provoque généralement une hausse de la superficie inondée dans le marais aménagé (tableau 3 et figure 2). Pour assurer une mise en eau minimale, le niveau de l'eau du fleuve devrait atteindre la cote 5,6 m à Sorel, ce qui permettrait aux poissons d'avoir accès à 60 % (805,9 ha) de la superficie d'habitat potentielle. À l'opposé, un niveau d'eau supérieur à 6,7 m durant une longue période assurerait une superficie d'habitat maximale mais risquerait d'altérer le régime thermique et le succès de reproduction dans les marais aménagés. Ce point nécessiterait d'être documenté ultérieurement. Il a été rapporté chez le grand brochet qu'un refroidissement prolongé retarde et/ou prolonge la reproduction, ralentit l'incubation des œufs et diminue le succès d'éclosion (Fortin *et al.* 1982).

3.1.2 Analyse des niveaux d'eau historiques

Pour évaluer la sensibilité des marais aménagés à des variations plausibles du régime fluvial, l'influence des conditions hydrologiques observées durant la période 1960-2002 sur la durée de l'accès et la superficie disponible a été quantifiée. Depuis 1960, la durée moyenne de l'accès printanier pour tous les marais aménagés a été de 44 ± 35 jours et elle a variée d'un site à l'autre en fonction de l'élévation du marais dans la plaine d'inondation (figure 3). Il existe effectivement une relation négative entre la durée d'accès pour la période 1960-2001 et l'élévation dans la plaine d'inondation ($\text{durée} = -41 \cdot \text{niveau Sorel} + 274$; $R^2 = 0,39$; $p < 0,001$; figure 3). En 2002, la durée du

Tableau 3. Cote d'élévation des marais aménagés au lac Saint-Pierre telle que mesurée à la station de Sorel et superficie en eau correspondante (n. d. = donnée non disponible).

Aménagement	Cote op_{min}		Cote op_{max}	
	Cote (m)	Superficie (ha)	Cote (m)	Superficie (ha)
Baie Lavallière	5,19	600,0	6,25	968,0
Commune de Baie-du-Febvre segment 2	6,25	4,2	6,55	19,2
segment 3	5,50	3,2	5,80	11,1
segment 4	5,03	0,9	5,20	1,2
Étangs de Baie-du-Febvre	4,95	2,3	5,30	2,8
Île du Moine	5,56	180,0	5,96	180,0
Île Dupas segment 1	5,78	14,7	5,93	17,5
Île Moras	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
Louiseville (porte de la Mauricie)	5,20	11,6	5,35	11,6
Marais Saint-Eugène	5,72	15,1	6,61	33,3
Maskinongé-Yamachiche	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
Rivière Marguerite	5,91	0,9	6,06	0,9
Saint-Barthélemy segment 4	5,42	8,0	6,07	80,0
Yamachiche	6,95	0,4	7,85	0,5
Total		841,3		1 326,1

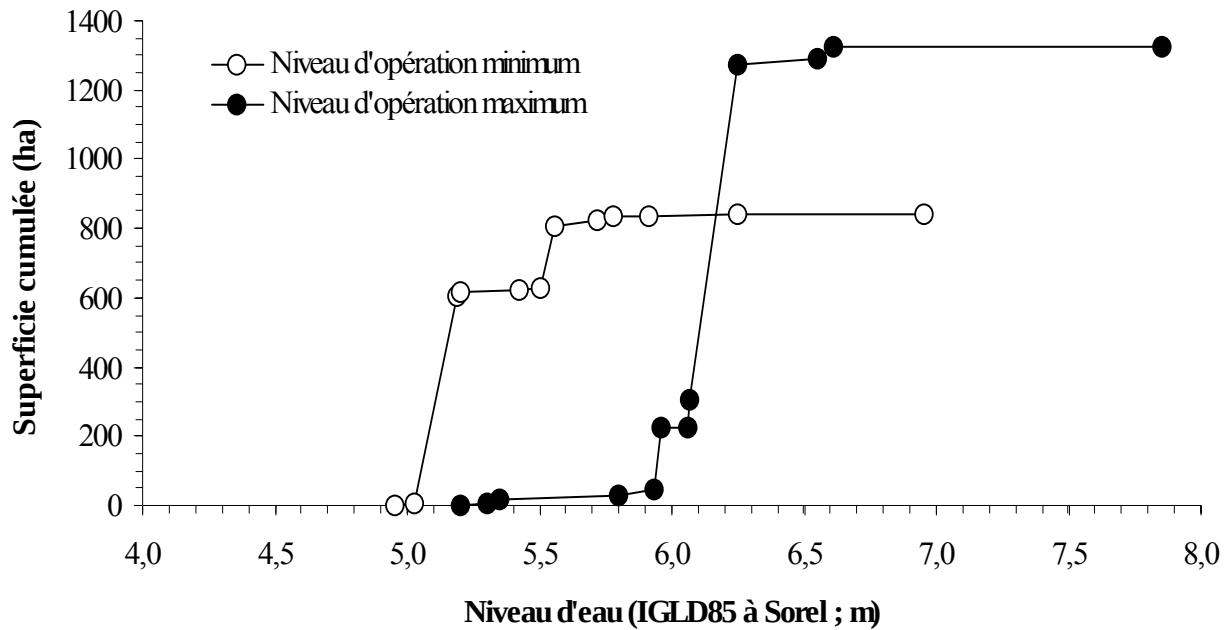


Figure 2. Superficie cumulée de marais aménagé au lac Saint-Pierre en fonction du niveau d'eau du Saint-Laurent. Chaque point représente la cote d'opération d'un aménagement.

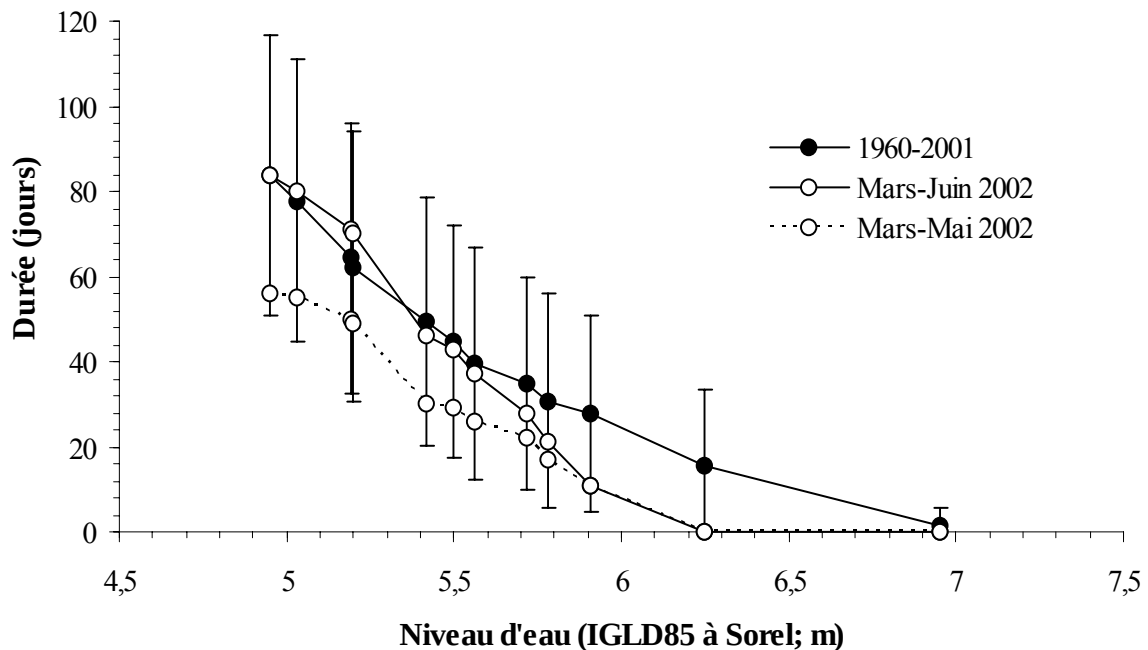


Figure 3. Durée annuelle moyenne de l'inondation printanière (mars - juin) de chaque marais aménagé au lac Saint-Pierre, calculée pour la période 1960-2001, en fonction du niveau de l'eau du Saint-Laurent. Les données de 2002 (mars - juin et mars - mai) sont également présentées.

contact printanier pour toute la période d'étude (mars-juin) a été inférieure à la moyenne de la période 1960-2001 et l'écart par rapport à cette dernière s'est accentué pour les marais les plus hauts dans la plaine d'inondation. Lorsqu'on exclut de l'analyse les niveaux d'eau mesurés en juin 2002, qui étaient anormalement élevés pour cette période de l'année (niveau moyen en juin : 4,89 m pour la période 1960-2001; 5,41 m en 2002), l'écart par rapport à la moyenne de la période 1960-2001 augmente considérablement. Ce résultat souligne l'importance de considérer la chronologie des processus biologiques qui surviennent dans les aménagements pour estimer l'impact des niveaux d'eau du Saint-Laurent. En effet, la hauteur et la durée de la crue de 2002 ont été faibles pour les poissons qui frayent tôt au printemps, mais les hauts niveaux du mois de juin ont pu favoriser l'accès d'espèces frayant en eau chaude.

Pour dresser un portrait de l'influence du niveau d'eau sur l'ensemble des sites aménagés au lac Saint-Pierre, les variations interannuelles de la durée de contact et de la superficie disponible ont été examinées pour la période 1960-2002. Trois périodes distinctes se dégagent de l'analyse historique (figure 4). Premièrement, le milieu des années 1960 est caractérisé par de courtes durées de contact et des surfaces disponibles toujours inférieures à la superficie potentielle. La faible hydraulité mesurée en 1965 aurait empêché les poissons d'accéder aux marais aménagés du lac Saint-Pierre, entraînant une perte d'habitat potentiel estimée à 1326,1 ha. Deuxièmement, à partir du début des années 1970, l'augmentation de la durée et de la hauteur des crues printanières aurait provoqué une hausse marquée des durées de contact et des superficies disponibles pour les poissons. Les conditions hydrologiques seraient demeurées favorables jusqu'au milieu des années 1980. Troisièmement, à partir de la mise en opération des premiers marais aménagés au lac Saint-Pierre en 1987, des variations interannuelles importantes de la durée de contact (12 – 85 jours) et de la superficie disponible (821,8 – 1326,1 ha) ont été enregistrées. Globalement, une diminution significative de la durée moyenne de l'accès aux aménagements (1,1 jour/année) a été observée depuis 1975 (durée = $-1,1 \cdot \text{an} + 60,9$; $R^2 = 0,20$; $p = 0,01$). Cette diminution pourrait avoir un impact négatif sur la diversité spécifique et l'abondance totale des géniteurs à l'intérieur des marais aménagés (voir section 3.2.).

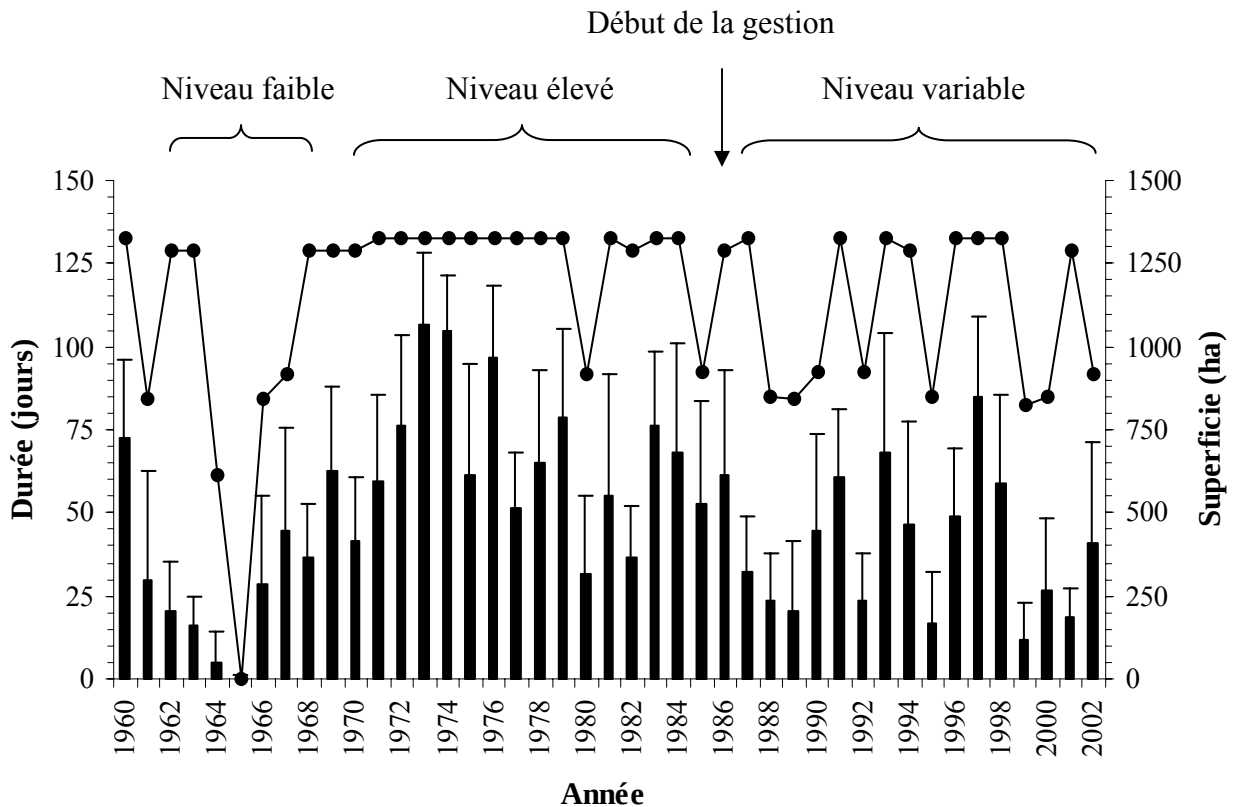


Figure 4. Durée de contact moyenne au printemps entre le fleuve et les marais aménagés (histogramme) et superficie (courbe) qui aurait été disponible annuellement si tous les marais aménagés au lac Saint-Pierre avaient été mis en opération en 1960.

La durée de l'accès peut également être exprimée en terme de récurrence (figure 5). Une inondation de 30 jours à la cote 5,6 m à Sorel (maxima consécutifs), qui permettrait aux poissons d'avoir accès à une portion significative de la superficie aménagée, survient au moins une fois tous les deux ans. De plus, il est rare que les niveaux dépassent la cote maximum de 6,7 m (récurrence 5-10 ans), comme en témoigne la diminution de la durée d'accès depuis 1975. Même si le régime hydrologique du bassin Grands Lacs–Saint-Laurent montre une cyclicité d'environ 30 ans, il faut s'attendre dans un futur proche à observer une baisse des apports en eau reliée aux changements climatiques (e.g. Mortsch et Quinn 1996, Mingelbier *et al.* 2001), qui pourrait se traduire par une baisse de la fréquentation des marais aménagés.

Il est important de considérer avec précaution les résultats présentés dans cette section du document puisqu'ils correspondent à des potentiels calculés et qu'ils ne tiennent pas compte d'aucune considération biologique. Par exemple, une durée d'accès prolongée, mais non synchrone avec la migration de certaines espèces pourrait s'avérer très défavorable. Ces estimations de la durée d'accès et de la superficie disponible sont donc très conservatrices et devront être raffinées en fonction des processus biologiques.

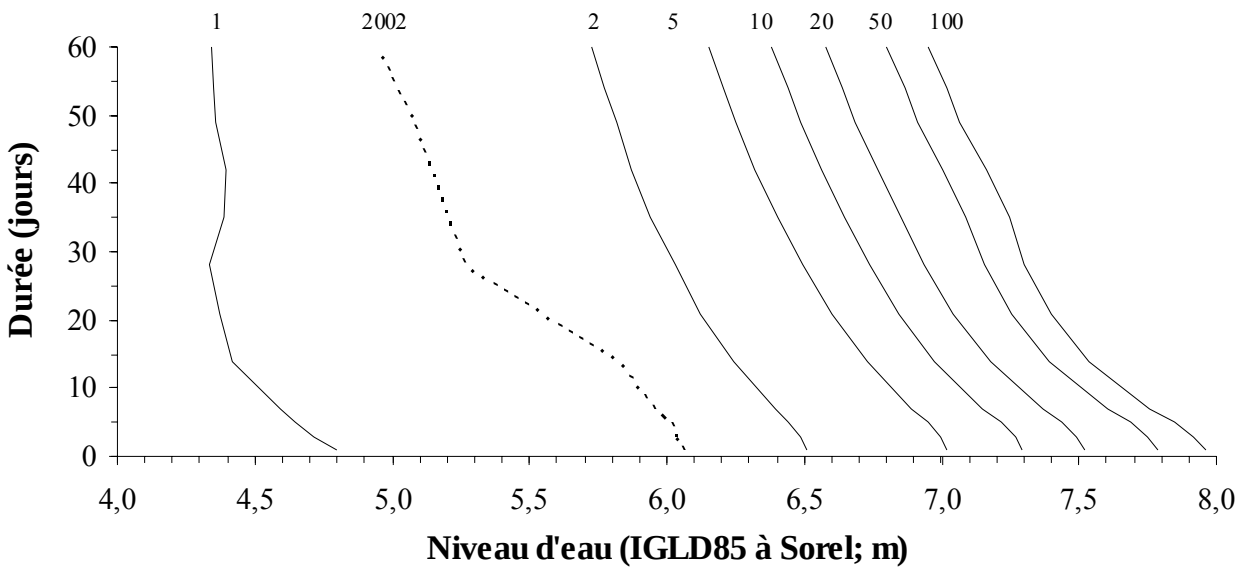


Figure 5. Niveau d'eau maximum consécutif (Log Pearson 3) mesuré au printemps (1^{er} mars au 30 juin) à Sorel entre 1960 et 2001. Les récurrences 1, 2, 5, 10, 20, 50 et 100 ans (trait plein) ainsi que les données de 2002 (trait pointillé) ont été représentées.

3.2 PROCESSUS BIOLOGIQUES

3.2.1 Structure des populations

Du début avril au début mai 2002, 28 et 27 espèces de poissons, en majorité des spécimens de stade adulte (données non présentées), ont été répertoriées dans les marais de Saint-Barthélemy et de Saint-Eugène, respectivement (tableau 4). La majorité des espèces, soit environ 70 %, étaient communes aux deux sites et reflètent la majeure partie de la composition de la communauté locale. La Violette *et al.* (2003) rapportent une diversité variant entre 16 et 38 espèces de poissons pour les différents secteurs du lac Saint-Pierre et de son archipel. En général, les espèces les mieux représentées dans les pêches sont reconnues pour compléter une portion de leur cycle vital (reproduction, alevinage et/ou alimentation; Scott et Crossman 1974) à l'intérieur des milieux humides (tableau 4). Les espèces les plus abondantes dans les deux sites étaient la perchaude et le grand brochet.

Il n'y avait pas de différence significative entre les deux marais aménagés dans la structure en taille des grands brochets femelles et mâles ($K-S = 0,21$ et $0,14$ respectivement; $p > 0,05$; figure 6). Chez les perchaudes femelles, il n'y avait pas de différence significative dans les structures en taille entre les quatre sites à l'étude, malgré une forte tendance tournée vers des individus de plus grande taille au marais Saint-Eugène ($K-S = 0,08 - 0,23$; $p > 0,05$; figure 7). Chez les mâles, il y avait une différence significative dans la distribution en taille des perchaudes entre les marais Saint-Eugène et Maskinongé, le marais Saint-Eugène montrant des individus de plus grande taille ($K-S = 0,30$; $p < 0,05$; figure 7). La tendance vers des perchaudes de plus grande taille au marais Saint-Eugène se reflète également dans la structure en âge des mâles et des femelles qui est dominée par des individus de 7 ans (figure 8). Les différences intersites dans la structure des populations de perchaudes seraient le reflet de la composition de la population locale qui accède aux marais aménagés à partir du milieu naturel. Le secteur nord-est du lac Saint-Pierre, où se situe le marais Saint-Eugène, est celui où la proportion de perchaudes de 3-5 ans est la plus élevée, ce qui pourrait expliquer qu'on retrouve une

plus grande quantité d'individus d'âge élevé dans ce marais aménagé (Mailhot et Dumont 2003).

Tableau 4. Nombre d'individus et date de la première capture dans deux marais aménagés au printemps 2002.

Espèces	Saint-Barthélemy		Saint-Eugène
	Nombre	Date	Nombre
Barbotte brune	1909	04-avr	606
Carpe allemande	55	04-avr	2
Crapet-soleil	30	04-avr	2
Grand brochet	127	04-avr	82
Méné d'argent	3919	04-avr	7
Méné d'herbe	104	04-avr	
Méné émeraude	59	04-avr	6
Meunier noir	81	04-avr	7
Perchaude	1408	04-avr	673
Umbre de vase	30	04-avr	4
Fondule barré	12	05-avr	
Méné jaune	104	05-avr	39
Queue à tache noire	207	05-avr	4
Épinoche à cinq épines	58	12-avr	11
Lamproie argentée	5	14-avr	
Omisco	18	14-avr	
Lotte	7	15-avr	1
Marigane noire	9	15-avr	5
Doré jaune	23	16-avr	
Naseux des rapides	1	16-avr	
Crayon d'argent	3	17-avr	1
Chat-fou brun	4	19-avr	8
Couette	9	19-avr	1
Barbue de rivière	3	20-avr	
Meunier rouge	1	20-avr	1
Suceur blanc	3	20-avr	2
Malachigan	1	22-avr	
Poisson-castor	5	22-avr	10
Achigan à grande bouche			1
Brochet d'Amérique			1
Crapet de roche			6
Doré noir			1
Méné laiton			2
Méné pâle			1
Ouitouche			65
Total	8195		1549

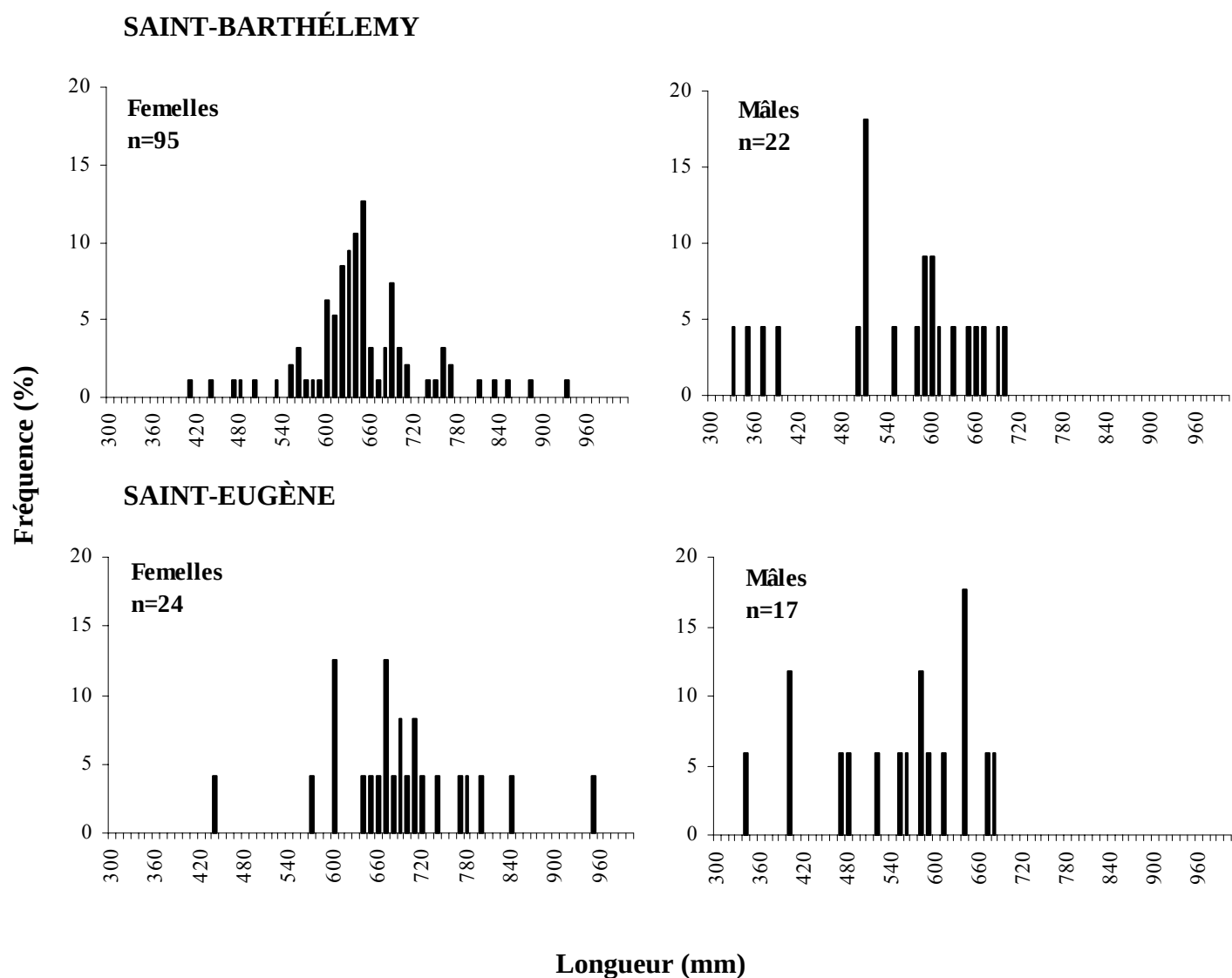


Figure 6. Distribution des fréquences de taille des grands brochets femelles et mâles capturés dans deux marais aménagés au cours du printemps 2002. Les distributions en taille des femelles et des mâles ne diffèrent pas entre les sites selon un test de Kolmogorov-Smirnov ($p > 0,05$).

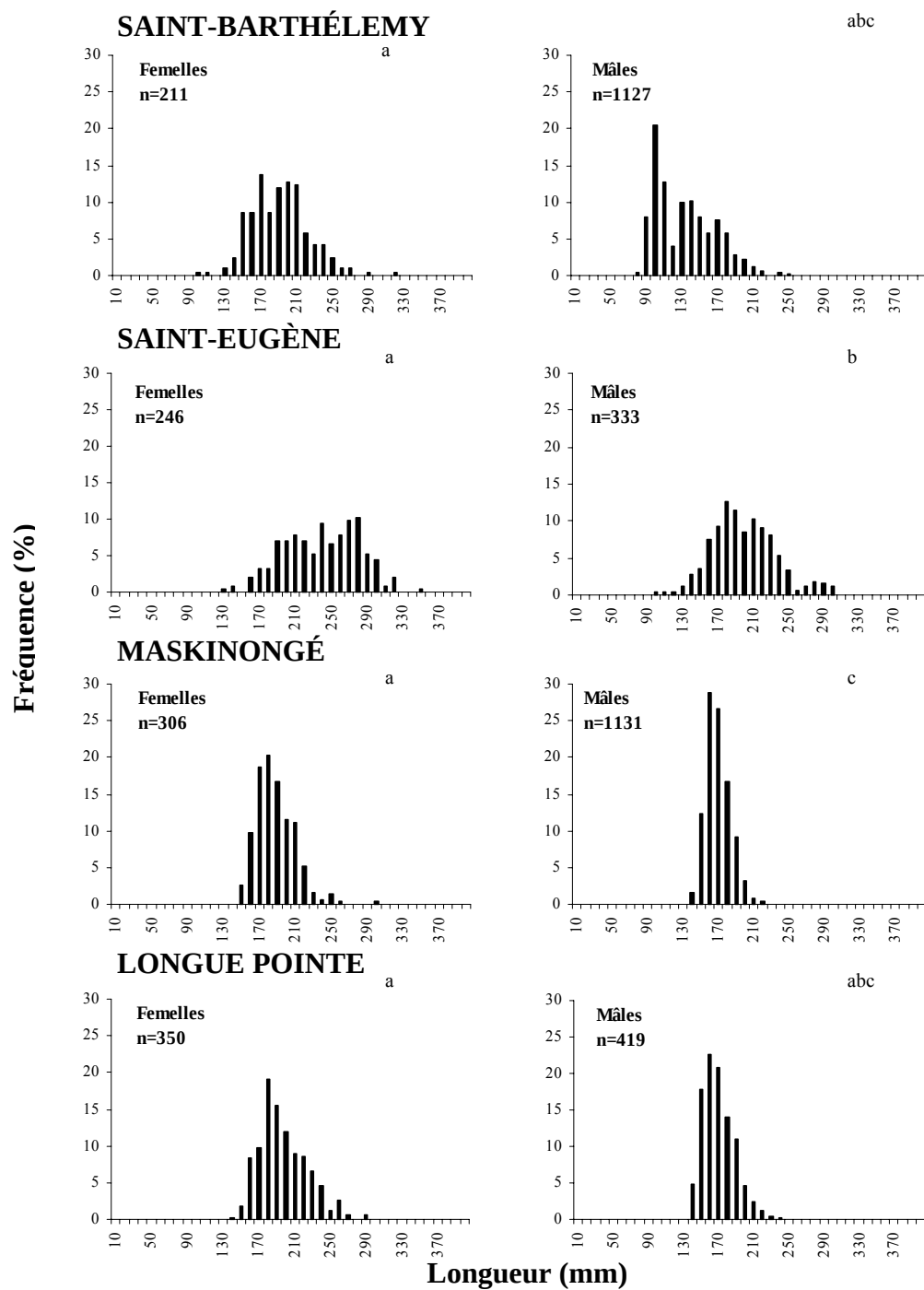


Figure 7. Distribution des fréquences de taille des perchaudes femelles et mâles capturées en milieu aménagé (Saint-Barthélemy et Saint-Eugène) et naturel (Maskinongé et Longue Pointe) au cours du printemps 2002. Les distributions en taille des femelles et des mâles accompagnées de lettres différentes diffèrent significativement selon un test de Kolmogorov-Smirnov ($p < 0,05$).

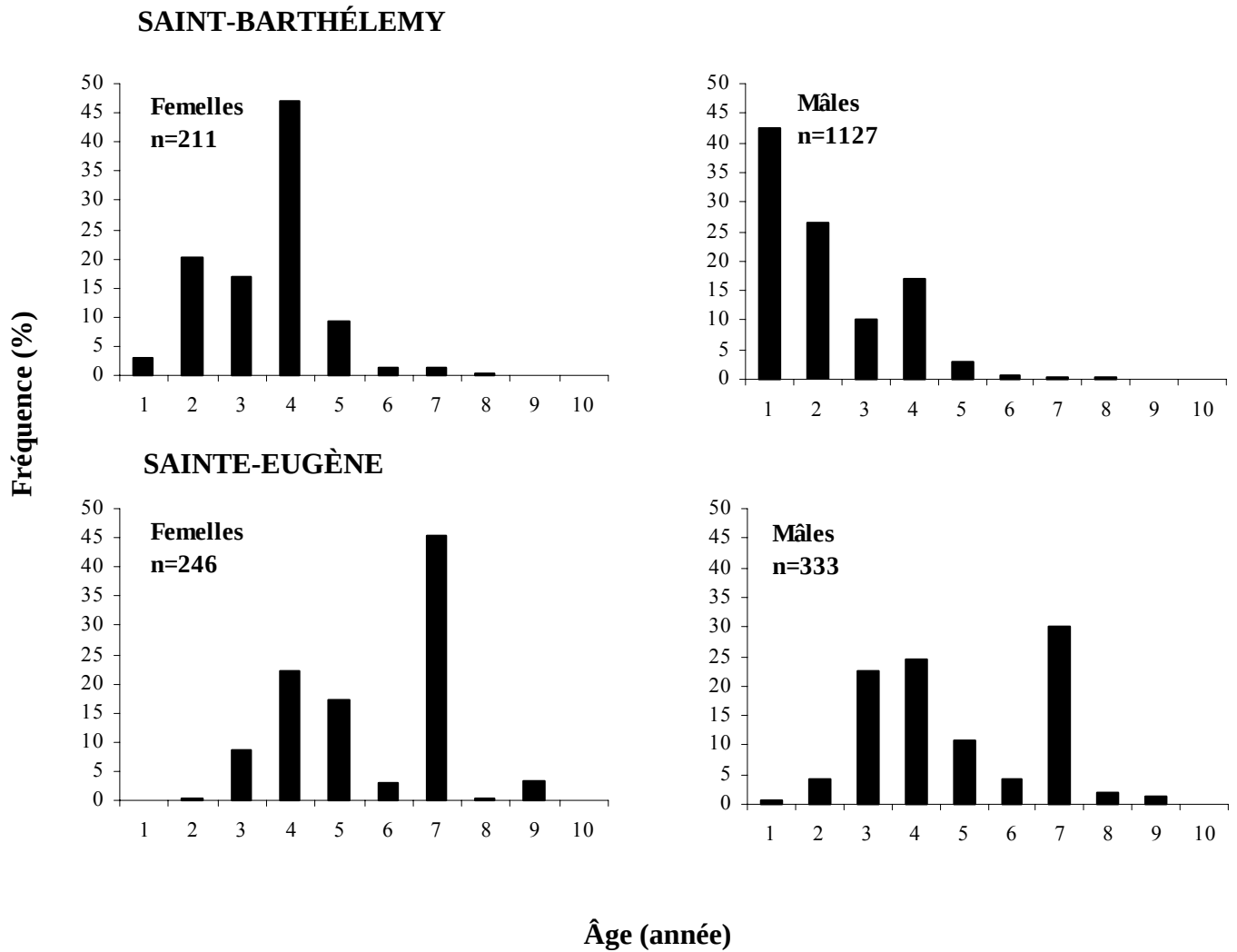


Figure 8. Distribution des fréquences d'âge des perchaudes femelles et mâles capturées dans deux marais aménagés au cours du printemps 2002. Les distributions en âge des femelles et des mâles ne diffèrent pas entre les sites selon un test de Kolmogorov-Smirnov ($p > 0,05$).

3.2.2 Chronologie et durée de la migration

Communauté. La richesse spécifique à l'intérieur du marais de Saint-Barthélemy a augmenté au cours de la période d'étude, atteignant une valeur maximum après environ 20 jours d'accès (figure 9b). L'évolution quotidienne de la richesse spécifique au sein de la communauté en migration montre une distribution bimodale qui témoigne du caractère séquentiel du mouvement des différentes espèces (figure 9a). Près de la moitié des espèces (46 %) ont débuté leur migration dès la débâcle alors que la température moyenne de l'eau était de 2 °C (figure 9a). Ce premier pic pourrait s'expliquer par l'entrée de la faune ichthyenne ayant séjourné à proximité du site d'étude durant l'hiver. La migration subséquente des autres espèces, qui pourrait s'effectuer à une échelle spatiale plus importante et/ou être déclenchée par une température plus élevée, s'est déroulée de façon graduelle pour atteindre un maximum au début de la troisième semaine d'avril (figure 9a). L'augmentation de la richesse spécifique dans le marais aménagé en fonction du temps s'expliquerait donc par le maintien de l'accès au cours de la séquence de migration des 28 espèces de poissons vers la plaine d'inondation. La durée de la période d'accès, qui dépend de la durée de la crue et de sa hauteur, revêt alors une importance particulière pour assurer une richesse spécifique optimale dans les marais aménagés.

Malgré une tendance à la baisse de l'équilibre de la communauté en migration dans l'aménagement, comme en témoigne l'indice de Shannon-Weiner, on remarque une certaine stabilité de la communauté à l'intérieur du marais tout au long du suivi (figures 9a et 9b). Ce résultat suggère que, pour la période considérée dans la présente étude, les espèces qui migrent au début de la période d'accès (surtout perchaude, grand brochet et cyprinidés; données non présentées) sont celles qui dominent et qui fixent très tôt au printemps le niveau d'équilibre au sein de la communauté.

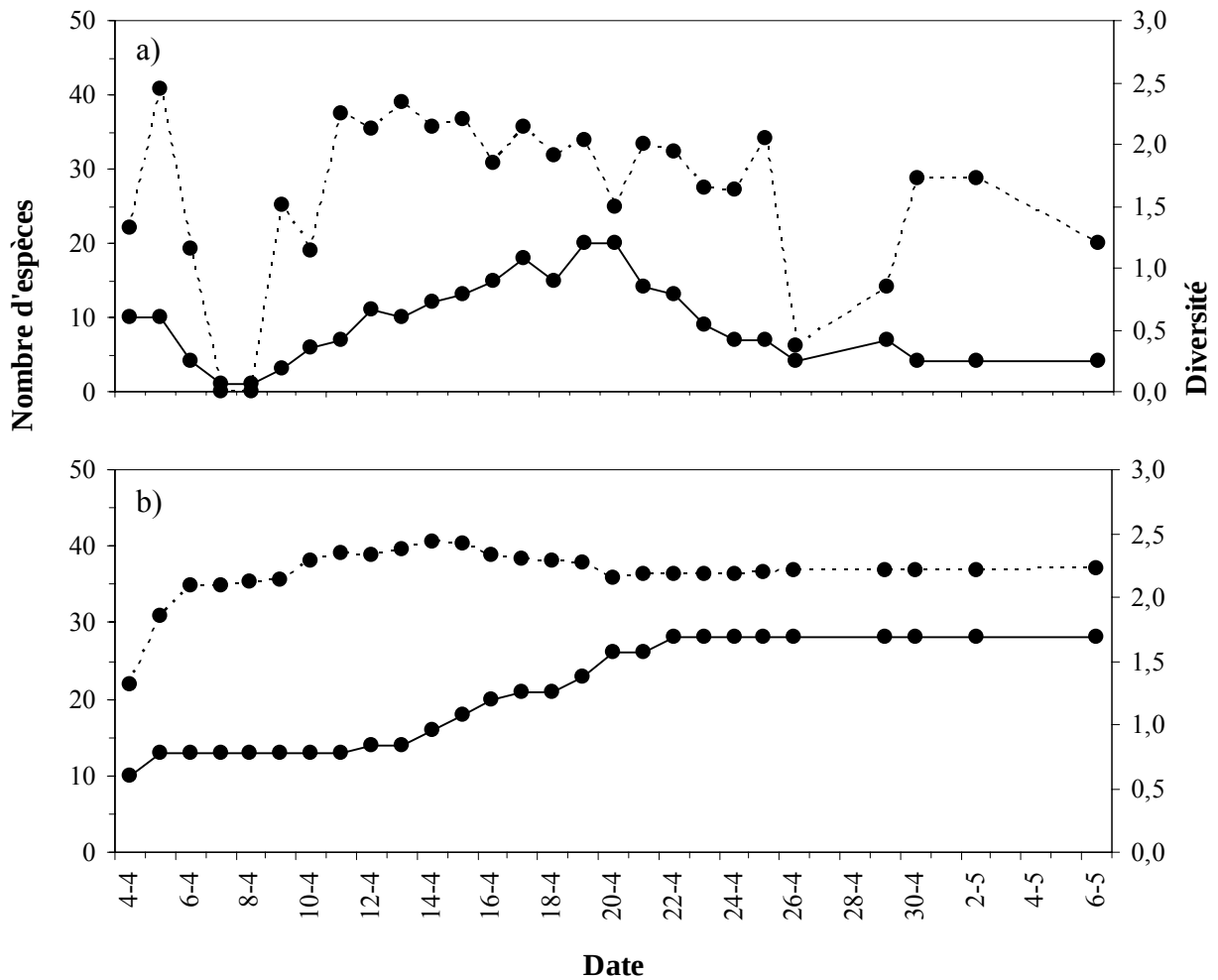


Figure 9. Nombre d'espèces (trait plein) et indice de diversité de Shannon-Weiner (trait pointillé) au sein de la communauté de poissons en migration (a) et déjà présente (b) dans le marais de Saint-Barthélemy au printemps 2002.

Grand brochet. L'évolution temporelle des PUE du grand brochet montre que la majorité des individus ont accédé aux marais aménagés en moins de dix jours, entre la débâcle et le déclenchement de la reproduction (figure 10). Les premiers pics de la migration des mâles et des femelles sont survenus lorsque la température journalière moyenne de l'eau était inférieure à 6,0 °C (Saint-Barthélemy : 2,4 °C; Saint-Eugène : 5,8 °C; figure 10). Les plus fortes abondances ont été observées lors d'une augmentation rapide de la température et du niveau de l'eau, au moment où la température journalière moyenne avait atteint au moins 7,0 °C (Saint-Barthélemy: 7,1 °C; Saint-Eugène: 7,9 °C). La durée de la période de migration ainsi que la température de l'eau à laquelle elle se produit sont très similaires à ce qui est rapporté dans la littérature (température 2 - 8 °C; tableau 5). Massé *et al.* (1991) révèlent que durant deux années consécutives, plus de 70 % des géniteurs ont accédé à la frayère de la rivière aux Pins, tributaire du Saint-Laurent, en 8 et 12 jours après le début de la crue printanière. Franklin et Smith (1963) mentionnent pour leur part que la majeure partie de la migration s'effectue en moins d'une semaine si aucune baisse soudaine de la température n'est observée.

Une relation positive a été obtenue au marais de Saint-Barthélemy entre les PUE des brochets mâles et les variations journalières du niveau de l'eau alors qu'aucune relation significative n'a été observée avec les variations de la température (tableau 6). Ce résultat suggère que l'intensité du mouvement de la migration des grands brochets serait en partie fonction de la crue printanière qui influence l'accessibilité des habitats de reproduction en plaine inondable. Une analyse de l'influence de plusieurs variables hydrologiques et climatiques sur la migration du grand brochet à la rivière aux Pins a été réalisée lors d'une période de niveaux d'eau élevés (1975 et 1976; Massé *et al.* 1991). Même si cette dernière étude n'a permis de documenter qu'une faible proportion du processus de migration, c'est-à-dire chez seulement 30 % de la quantité totale de géniteurs ayant migré dans le site d'étude, la crue semblait constituer un déterminant majeur de la montaison vers la frayère. Les résultats des analyses multivariées observés dans la présente étude constituent une première exploration de l'influence des variables hydrologiques et climatiques sur le processus de migration et doivent être interprétés avec prudence. Ils

proviennent d'une très courte série temporelle, tiennent compte d'un petit nombre de variables et devront être validés en 2003-2004.

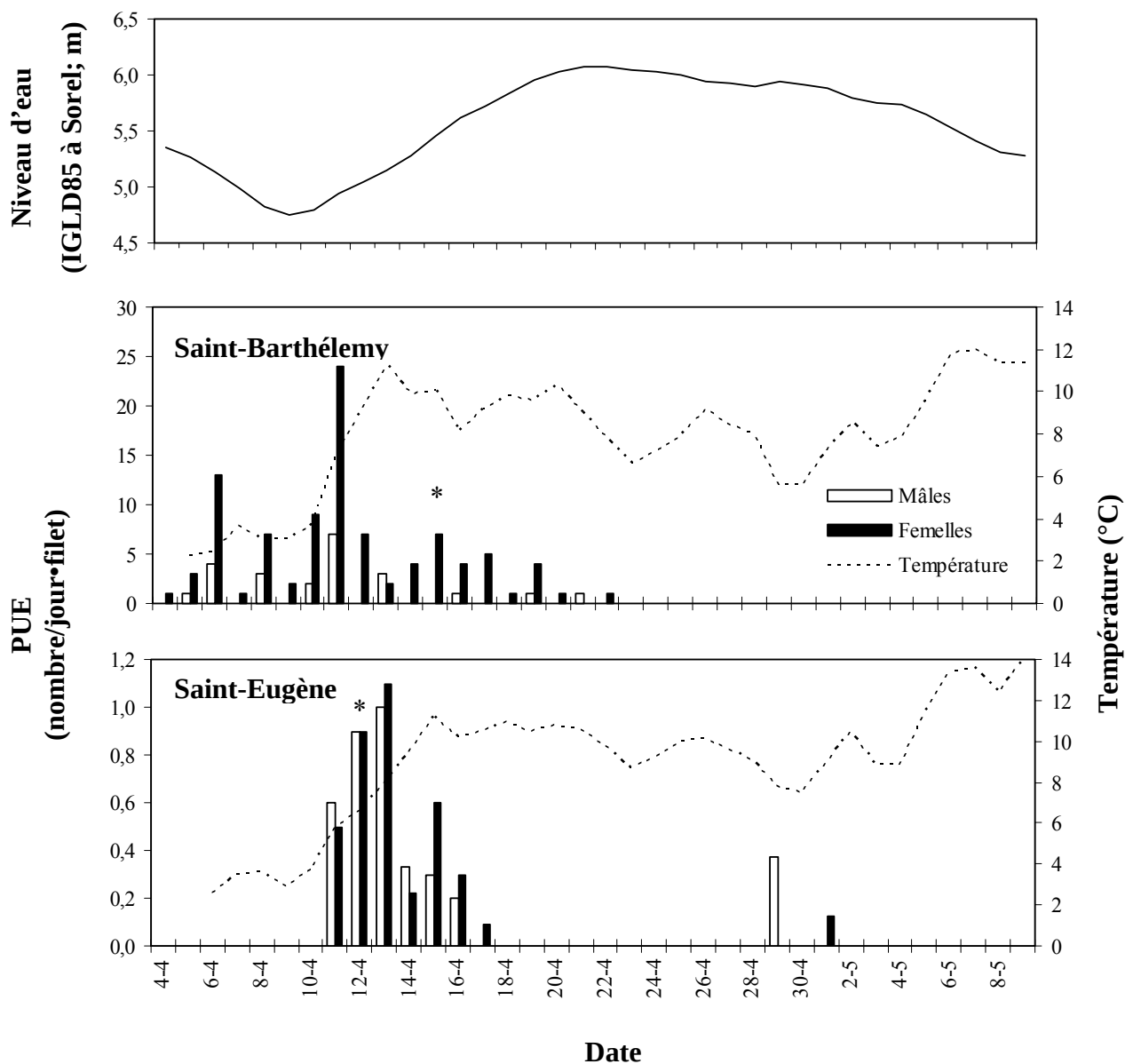


Figure 10. Prises par unité d'effort du grand brochet dans deux marais aménagés du lac Saint-Pierre durant le printemps 2002. La température moyenne de l'eau, le niveau d'eau du Saint-Laurent et les dates du déclenchement de la reproduction (*) sont représentés.

Tableau 5. Température de l'eau rapportée dans la littérature pour la migration et la reproduction du grand brochet (n. d. = donnée non disponible).

Référence	Site	Observation	Température (°C)
Migration de fraye			
Cadieux et Villeneuve (1981)	Ruisseau Bleury, Qc	Migration (mâles)	4-5
		Début de la migration (femelles)	8
Dumont et Fortin (1977)	Rivière aux Brochets, Qc	Migration (mâles)	1
		Présence de géniteurs sur le site de fraye	2-4
Franklin et Smith (1963)	Lac George, Min	Maximum de la migration	2,2-3,3
Farrell <i>et al.</i> (1996)	St-Laurence, NY	Maximum de la migration (femelles)	7-12
Massé <i>et al.</i> (1991)	Rivière aux Pins, Qc	Maximum de la migration	<1,5 et <6
Scott et Crossman (1974)	Lac Simcoe, Ont.	Déroulement de la montaison	9 (moyenne)
Reproduction			
Farrell (2001)	Saint-Laurent, NY	Début de la fraye (milieu peu profond)	7
Farrell <i>et al.</i> (1996)	St-Laurent, NY	Début de la fraye	5
Fortin <i>et al.</i> (1982)	Rivière aux Brochets, Qc	Début de la fraye	8 (surface)
	Ruisseau Bleury, Qc	Début de la fraye	5-6 ou plus
Dumont et Fortin (1977)	Rivière aux Brochets, Qc	Début de la fraye	5,5
Farrell (2001)	Saint-Laurent, NY	Maximum de la fraye	7
Fortin <i>et al.</i> (1982)	Ruisseau Bleury, Qc	Maximum de la fraye	6,0-15,5
	Rivière aux Brochets, Qc	Maximum de la fraye	10 (surface)
Massé <i>et al.</i> (1988)	Rivière aux Pins, Qc	Maximum de la fraye	5, 7,5 et 10
Cadieux et Villeneuve (1981)	Ruisseau Bleury, Qc	Maximum de la fraye	15-18 ou 14-17
	Rivière Richelieu, Qc	Maximum de la fraye	5-7
Dumont et Fortin (1977)	Rivière aux Brochets, Qc	Maximum de la fraye	12
	Rivière Bleury, Qc	Maximum de la fraye	4-10
	Baie Missisquoi, Qc	Maximum de la fraye	6-11
Farrell <i>et al.</i> (1996)	St-Laurent, NY	Température moyenne de la fraye	4,4 -17,2
Massé <i>et al.</i> (1991)	Rivière aux Pins, Qc	Température moyenne de la fraye	9,4
	Rivière aux Pins, Qc	Température moyenne de la fraye	7,2
Farrell (2001)	Saint-Laurent, NY	Déroulement de la fraye (milieu profond)	8,6-11,6
Casselman et Lewis (1996)	n.d.	Déroulement de la fraye	8-12
Lucas (1990)	Lac Davan, Écosse	Déroulement de la fraye	8-10
Scott et Crossman (1974)	Canada	Déroulement de la fraye	4,4-11,1
Farrell (2001)	Saint-Laurent, NY	Fin de la fraye (milieu peu profond)	13,2
Farrell <i>et al.</i> (1996)	St-Laurent, NY	Fin de la fraye	13

Tableau 6. Coefficient des régressions linéaires pour le modèle $\text{Log(PUE)} = \text{Cte} + \Delta T + \Delta N$ chez les brochets mâles et femelles capturés au marais Saint-Barthélemy au printemps 2002.

	Constante ± S.E.	ΔT Temp ± S.E.	ΔN iveau ± S.E.	n	R^2	p
Mâle	-0,02 ± 0,13	+ 0,09 ± 0,05	+ 2,86* ± 1,14	10	0,64	0,03
Femelle	+ 0,61* ± 0,17	+ 0,04 ± 0,07	+ 1,89 ± 1,50	10	0,26	0,35
Total	+ 0,61** ± 0,16	+ 0,06 ± 0,06	+ 2,36 ± 1,41	10	0,41	0,15

* = p < 0,05 ** = p < 0,01 *** = p < 0,001

Tableau 7. Évolution de la longueur moyenne des brochets mâles et femelles entre le premier jour de la migration et le maximum de la fraye aux marais Saint-Barthélemy et Saint-Eugène au printemps 2002.

	1 ^{er} jour (mm)	Max de fraye (mm)	Différence (mm)	Réduction (%)	Constante ± S.E.	Pente ± S.E.	n	R^2	p
Saint-Barthélemy									
Mâle	573	497	-76	13	559 ± 112	-2,45 ± 12,97	5	0,01	0,86
Femelle	602	629	+27	0	627 ± 30	0,50 ± 2,87	9	0,00	0,87
Saint-Eugène									
Mâle	558	434	-124	22	970 ± 284	-35,50 ± 22,68	4	0,55	0,26
Femelle	646	597	-49	8	769 ± 357	-8,84 ± 28,44	4	0,05	0,79

Chez les brochets mâles et femelles des deux sites à l'étude, il n'y avait pas de changement significatif dans la taille moyenne des individus en fonction du temps (tableau 7). Ce résultat suggère que la chronologie et la durée de la période d'accès pour les poissons aux marais aménagés auraient peu d'influence sur la structure de la population de géniteurs d'un site donné.

Perchaude. Le début de la migration des perchaudes dans les marais aménagés a succédé à celle des brochets et s'est déroulée sur une période de dix jours (figure 11). On observe également une diminution importante des PUE immédiatement après le maximum de la reproduction. Le premier pic de la migration des perchaudes mâles et femelles est survenu lorsque la température moyenne de l'eau a atteint environ 7,0 °C (Saint-Barthélemy: 7,1 °C; Saint-Eugène: 6,6 °C), alors que la majeure partie de la migration des grands brochets avait déjà eu lieu. À Saint-Eugène, un seul pic de migration a été observé, probablement parce que les conditions optimales de fraye ont été réunies rapidement. À Saint-Barthélemy, la migration a montré plusieurs pics qu'on peut expliquer par un retard dans la période de reproduction. Le processus de la migration n'a pu être documenté en entier en milieu naturel (Maskinongé et Longue Pointe) en raison du début tardif de l'échantillonnage et de sa faible fréquence. Cependant, les données disponibles permettent de confirmer que le début de la migration s'effectue à des températures inférieures à 13,0 °C (Maskinongé: 12,6 °C; Longue Pointe: 12,4 °C). Selon Craig (2000) et Thorpe (1977), les migrations de fraye de la perchaude, entre les habitats d'hivernation en eau profonde et des sites de fraye en eau peu profonde, surviennent seulement quelques jours avant la reproduction. La température à laquelle ces mouvements sont initiés et leur durée sont cependant très peu documentées dans la littérature.

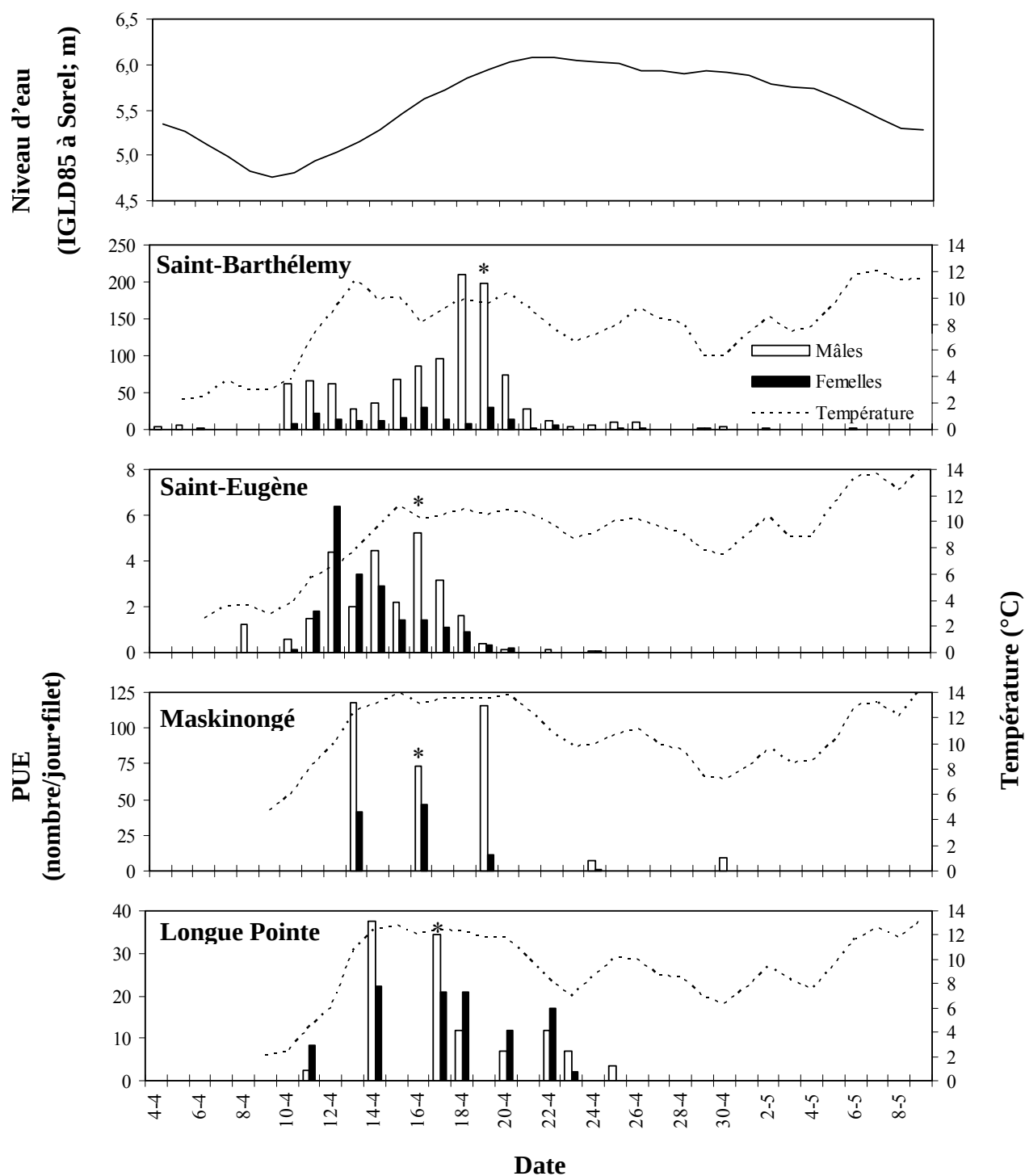


Figure 11. Prises par unité d'effort de la perchaude dans deux marais aménagés (Saint-Barthélemy et Saint-Eugène) et naturels (Maskinongé et Longue Pointe) du lac Saint-Pierre durant le printemps 2002. La température moyenne de l'eau, les dates du maximum de la reproduction (*) et le niveau d'eau du fleuve sont représentés.

Une relation positive entre le nombre de perchaudes en migration dans le marais de Saint-Barthélemy et les variations journalières du niveau de l'eau a été obtenue (tableau 8). Au contraire, les variations de température de l'eau ne semblaient pas stimuler la montaison au marais de Saint-Barthélemy. Comme chez le grand brochet, la crue printanière influencerait l'intensité du mouvement des perchaudes vers la plaine d'inondation.

Chez les perchaudes mâles de Saint-Barthélemy et de Longue Pointe, une diminution significative de la taille moyenne des individus dans le temps a été observée (36 % et 12 % respectivement; tableau 9). Selon Guénette *et al.* (1994), la longueur moyenne des perchaudes au lac Saint-Pierre diffère d'une semaine à l'autre entre le début avril et le début mai, les perchaudes de plus grande taille étant capturées sur les frayères plus tôt que les petites. Cette tendance a cependant été observée sur une échelle temporelle beaucoup plus grande que dans la présente étude, soit environ quatre à cinq semaines comparativement à dix jours. La chronologie de la période d'accès, sur une échelle temporelle de dix jours ou plus, pourrait donc avoir un impact sur la structure de la population de géniteurs en favorisant l'accès d'individus de plus grande taille au début du processus de la migration (Guénette *et al.* 1994, présente étude).

Tableau 8. Coefficient des régressions linéaires pour le modèle $\text{Log(PUE)} = \text{Cte} + \Delta T + \Delta N$ chez les perchaudes mâles et femelles capturées au marais Saint-Barthélemy au printemps 2002.

	Constante ± S.E.	ΔT ± S.E.	ΔN ± S.E.	n	R^2	p
Mâle	+ 1,25*** ± 0,12	+ 0,02 ± 0,07	+ 6,45*** ± 0,88	14	0,83	<0,001
Femelle	+ 0,67*** ± 0,06	+ 0,01 ± 0,04	+ 4,37*** ± 0,48	14	0,89	<0,001
Total	+ 1,12*** ± 0,12	+ 0,02 ± 0,07	+ 6,71*** ± 0,87	14	0,85	<0,001

* = p < 0,05 ** = p < 0,01 *** = p < 0,001

Tableau 9. Évolution de la longueur moyenne des perchaudes mâles et femelles entre le premier jour de la migration et le maximum de la fraye en milieu aménagé (Saint-Barthélemy et Saint-Eugène) et naturel (Longue Pointe) au printemps 2002.

	1 ^{er} jour (mm)	Max de fraye (mm)	Différence (mm)	Réduction (%)	Constante ± S.E.	Pente ± S.E.	n	R^2	p
Saint-Barthélemy									
Mâle	167	107	-60	36	198 ± 8	-4,53 ± 0,64	13	0,82	<0,001
Femelle	174	171	-3	2	203 ± 17	-1,59 ± 1,14	10	0,20	0,20
Saint-Eugène									
Mâle	183	193	-10	5	187 ± 13	0,39 ± 1,07	8	0,02	0,73
Femelle	250	241	-9	4	301 ± 52	-4,65 ± 3,82	6	0,27	0,29
Longue Pointe									
Mâle	178	157	-21	12	214 ± 9	-3,34 ± 0,57	4	0,95	0,02
Femelle	191	181	-10	5	219 ± 32	-1,84 ± 2,11	4	0,28	0,48

3.2.3 Chronologie et durée de la reproduction

Grand brochet. À Saint-Eugène, la reproduction a débuté une journée avant Saint-Barthélemy et ce, même si la température de l'eau y était plus froide (figure 12). La fraye du grand brochet à Saint-Barthélemy est survenue lors de l'atteinte du niveau op_{min} , qui correspond à la limite d'une frange de végétation dense de type graminéoïde. Ce résultat suggère que la disponibilité d'un type d'habitat particulier soit impliquée dans le déclenchement de la reproduction du grand brochet. Le brochet est reconnu pour déposer ses œufs sur des amas de graminées ou de végétation aquatique qui les isolent du substrat sous-jacent, où des conditions d'anoxie peuvent se développer (Fortin *et al.* 1982; Casselman et Lewis 1996; Farrell 2001). Fabricius et Gustafson (1958) rapportent que la température et le substrat disponibles doivent être adéquats pour que le déclenchement de la reproduction ait lieu chez le grand brochet. Les résultats de Massé *et al.* (1988) illustrent également l'implication de la température et du niveau de l'eau sur la reproduction du brochet. Ils ont déterminé que la fraye à la rivière aux Pins débute lorsque (a) le niveau de l'eau dans la frayère = 7,2 m; (b) degré-jours de l'air ($>5\text{ °C}$) = 20 et (c) température maximum de l'air = 8 °C. Ces conditions sont susceptibles de varier d'une région à l'autre du Québec et d'une année à l'autre. Au marais Saint-Eugène, le déclenchement de la fraye a été observé lorsque la température journalière moyenne a atteint 6,6 °C ($t_{max} = 8,6\text{ °C}$; degrés-jours $>5\text{ °C} = 2,3$), ce qui est comparable aux seuils retrouvés dans la littérature (6 °C-8 °C; tableau 5).

Le déclenchement de la fraye du brochet a eu lieu durant une légère hausse du niveau de l'eau dans le marais de Saint-Barthélemy et Saint-Eugène (augmentation journalière moyenne de 5 cm et 1 cm respectivement). Fortin *et al.* (1982) rapportent que trois années sur quatre, le niveau de l'eau a été croissant pendant presque toute la durée de la reproduction du brochet. À l'opposé, Rioux et Morin (2001) ont déterminé durant trois années consécutives que le pic de la fraye du brochet à la rivière aux Pins avait eu lieu après une chute du signal de marée semi-lunaire (cycle de 13,9 jours) qui se traduit par une diminution du niveau de l'eau. Ces résultats contradictoires suggèrent que le déclenchement de la fraye du grand brochet ne serait pas influencé par une variation du

niveau de l'eau, soit à la hausse ou à la baisse, mais par la température et l'accès à un substrat adéquat.

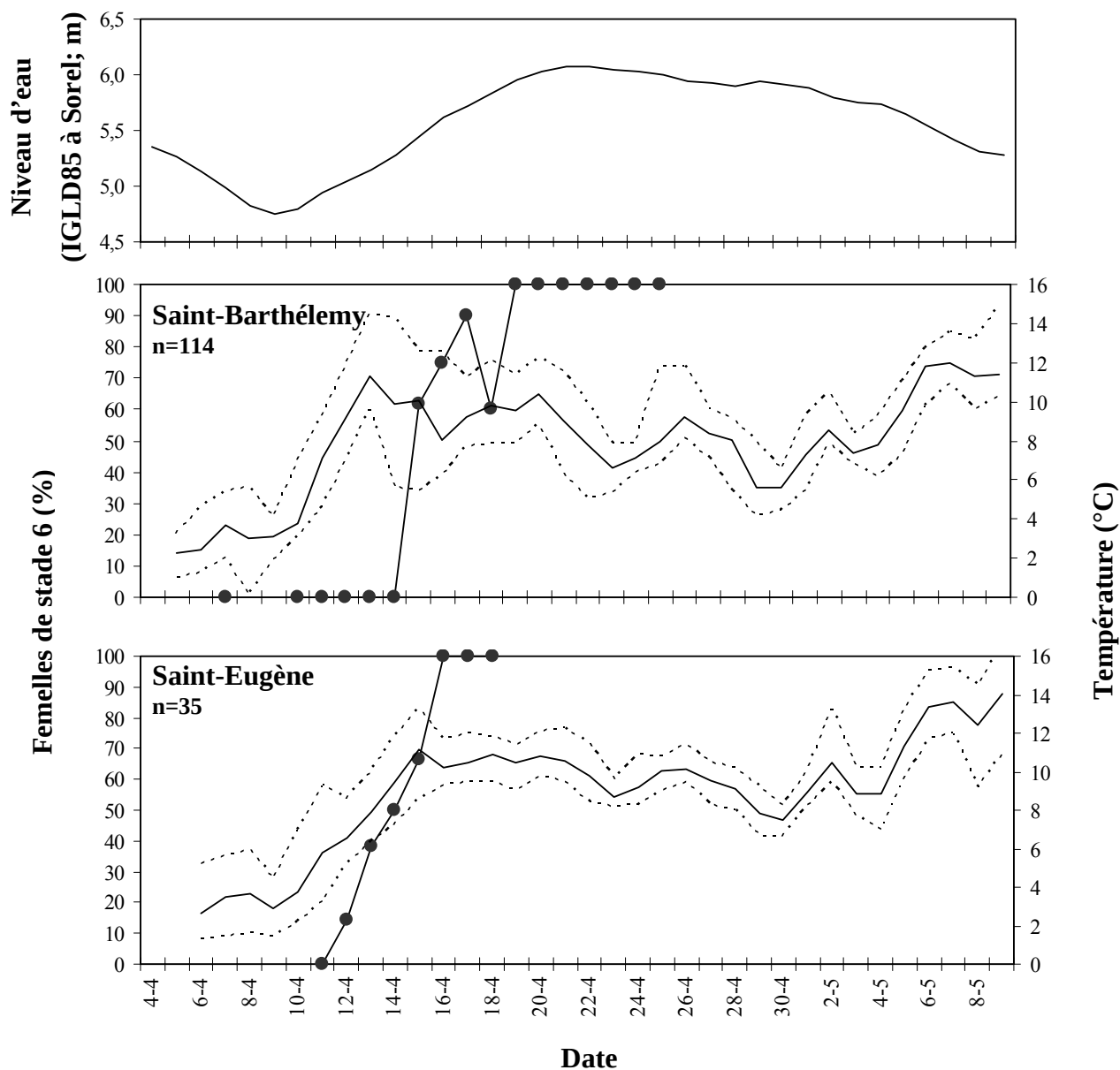


Figure 12. Évolution de la proportion des grands brochets femelles qui se sont reproduits dans deux marais aménagés du lac Saint-Pierre durant le printemps 2002. Les températures moyenne, minimum et maximum de l'eau sont représentées.

La reproduction du grand brochet s'est déroulée durant cinq jours consécutifs dans les deux marais à l'étude (figure 12). En milieu naturel, la durée de la période de reproduction serait de 10-20 jours, les plus longues durées étant survenues lorsqu'une diminution prolongée (4 jours) de la température de l'eau sous 5 °C a ralenti la reproduction (Fortin *et al.* 1982). Massé *et al.* (1991) rapportent que la majorité des brochets se reproduisent dans les dix premiers jours suivant l'observation des premiers actes de fraye. Ces valeurs sont supérieures à ce qui a été observé en milieu aménagé et pourraient s'expliquer par l'augmentation rapide de la température de l'eau et la stabilité du régime thermique observé en 2002.

Perchaude. La reproduction de la perchaude a débuté lorsque la température moyenne de l'eau était située entre 8 °C et 10 °C en milieu aménagé et entre 12 °C et 14 °C en milieu naturel (figure 13). À Saint-Barthélemy, le maximum de la fraye est survenu deux à trois jours après celui du marais Saint-Eugène et du milieu naturel (figure 13). La température moyenne du marais de Saint-Barthélemy, qui est demeurée sous 10 °C durant quelques jours après l'entrée des premières femelles dans l'aménagement, semble avoir retardé le début de la reproduction. L'analyse visuelle des données suggère également qu'une quantité de degrés-jours supérieurs à 10 °C doivent être accumulés avant que le maximum d'activité de reproduction soit atteint. Le maximum de la fraye dans les quatre sites a été observé lorsque les degrés-jours (> 10 °C) étaient entre 7 et 20 (Saint-Eugène = 6,8; Saint-Barthélemy = 20,4; Maskinongé = 17,9; Longue Pointe = 19,5). Ce seuil de température est en accord avec l'étude de Gillet et Dubois (1995) qui révèle que l'intensité de la reproduction de la perche (*Perca fluviatilis*) est ralentie par une diminution de la température sous un seuil de 10 °C.

Il est généralement reconnu que le déclenchement de la reproduction chez la perchaude et la perche est contrôlé par une augmentation de la température de l'eau (Thorpe 1977; Dabrowski *et al.* 1996; Ciereszko *et al.* 1997; Sandström *et al.* 1997, Craig 2000; Fitzgerald *et al.* 2001). La perche est une espèce très similaire à la perchaude quant au comportement reproducteur et à l'influence de la température sur le déclenchement de la fraye (Thorpe 1977; Craig 2000). Thorpe (1977) rapporte qu'il existe une relation

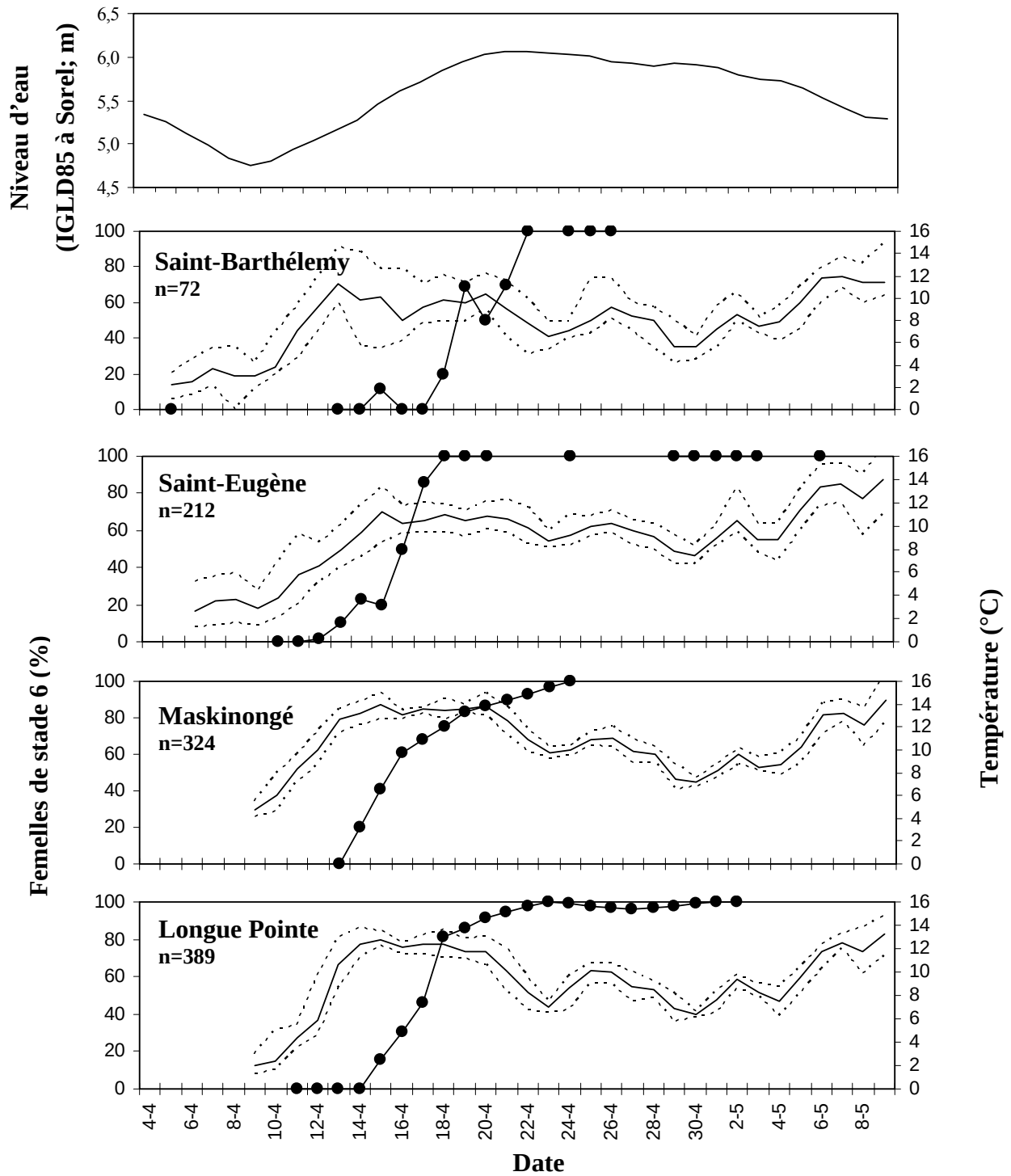


Figure 13. Évolution de la proportion de perchaudes femelles qui se sont reproduites dans deux marais aménagés (Saint-Barthélemy et Saint-Eugène) et naturels (Maskinongé et Nicolet) du lac Saint-Pierre durant le printemps 2002. Les températures moyenne, minimum et maximum de l'eau sont représentées.

Tableau 10. Température de l'eau rapportée dans la littérature pour la reproduction de la perchaude (*Perca flavescens*) et de la perche (*Perca fluviatilis*) (n. d. = donnée non disponible).

Référence	Lat (°N)	Site	Observation	Temp (°C)
<i>Perca flavescens</i>				
Leach (1928)*	38	Potomac River	Début de la fraye	8,3
Tsai an Gibson (1971)*	38	Patuxent River	Début de la fraye	8,5
Muncy (1962)*	39	Severn river	Début de la fraye	5,6
Coots (1956)*	42	Klamath River	Début de la fraye	8,0
Hergenrader (1969)*	43	Lake Mendota	Début de la fraye	8,0
Keast (1968)*	44	Lake Ontario, Collins Bay	Début de la fraye	10,0
Eddy and Surber (1960)*	46	Central Minnesota Lakes	Début de la fraye	7
Marcuson an Howse (1968)*	47	Round Lake Idaho	Début de la fraye	7
Echo (1955)*	48	Thompson lake	Début de la fraye	14
Sandstrom <i>et al.</i> (1997)	60	Mer Baltique, Suède	Début de la fraye	7
	60	Mer Baltique, Suède	Début de la fraye	14
	60	Mer Baltique, Suède	Début de la fraye	8
Herman <i>et al.</i> (1964)*	42-47	Lake Michigan	Début de la fraye	7,2
Nelson et Walburg (1977)*	43-47	Lake Francis Case	Début de la fraye	8,0
Amundrud <i>et al.</i> (1974)*	44,5	Lake Opinicon	Début de la fraye	<9
Clady (1976)	46	Lac Saint-Pierre, Qc	Déroulement de la fraye	7-15
Verret et Savignac (1985)	n.d.	n.d.	Déroulement de la fraye	4-12
Treasurer (1983)	n.d.	n.d.	Déroulement de la fraye	10
Lavoie et Talbot (1984)	n.d.	n.d.	Déroulement de la fraye	7-24
Weber et Les (1982)	n.d.	Canada	Déroulement de la fraye	6,7-12,2
Massé <i>et al.</i> (1988)	45	Rivière aux Pins, Qc	Maximum de la fraye	15
<i>Perca fluviatilis</i>				
Grimaldi <i>com pers</i> *	46	Lac Maggiore	Début de la fraye	9
Suskiewicz (1961)*	50	Rivière Vistula	Début de la fraye	8
Stehlik (1968)*	50	Réservoir Klicava	Début de la fraye	8
Craig (1974)*	50	Slapton	Début de la fraye	8,5
Chikhova (1973)*	53	Réservoir Kuybyshev	Début de la fraye	8,5
Kennedy <i>unpublished data</i> *	54	Lac Arrow	Début de la fraye	9,4
Le Cren (1951, 1958); Craig <i>com pers</i> *	54	Lac Windermere	Début de la fraye	8,8-11,8
Laskar (1943)*	54	Grosser Plöner	Début de la fraye	<14
Chikhova (1973)*	54	Réservoir Kuybyshev	Début de la fraye	8,5
Tyurin (1935)*	55	Lac Chany	Début de la fraye	11
Vashkyavchyute (1963)*	55	Rivière Atmata	Début de la fraye	<14
Nikitinsky (1928)*	56	Lac Zarizino	Début de la fraye	8,2
Konovalova (1955)*	56	Réservoir Yakhromsk	Début de la fraye	6
Données originales*	56	Lac Leven	Début de la fraye	9

* Dans Thorpe (1977)

Tableau 10b. Température de l'eau rapportée dans la littérature pour la reproduction de la perchaude (*Perca flavescens*) et de la perche (*Perca fluviatilis*) (suite).

Référence	Lat (°N)	Site	Observation	Temp (°C)
<i>Perca fluviatilis</i> (suite)				
Evropeitseva (1949)*	58	Lac Ilmen	Début de la fraye	7
Aneer et Grahn <i>com pers.</i> *	59	Mer Baltique	Début de la fraye	8,5
Bashmakov, dans Dryagin (1948)*	59	Rivière Ob	Début de la fraye	5,8
Dulkeit, dans Krasikova (1958)*	60	Rivière Yenisei	Début de la fraye	8
Grib (1949)*	60	Mer Baltique	Début de la fraye	7
Zhakov (1964)*	62	Lac Karelian	Début de la fraye	7
Dryagin (1948)*	63	Rivière Ob	Début de la fraye	7
Kukko <i>et al.</i> (1972)*	69	Hildenlampi	Début de la fraye	5
Ereshchenko (1959)* et Shilenkova(1959)*	46-51	Lacs du nord du Kazakhstan	Début de la fraye	11
Popova (1965)*	48-49	Delta Volga	Début de la fraye	8
Kennedy <i>unpublished data</i> *	53,5	Lac Corrib	Début de la fraye	10,6
	53,5	Lac Mask	Début de la fraye	12
Gillet <i>et al.</i> (1995)		Lac Geneva, France-Suisse	Déroulement de la fraye	8-16
Gillet et Dubois (1995)		Lac Geneva, France-Suisse	Maximum de la fraye	14 (surface)
		Lac Geneva, France-Suisse	Ralentissement de la fraye	<10

* Dans Thorpe (1977)

négative entre la latitude et la température observée au début de la reproduction et que la variabilité dans le seuil de température déclenchant la fraye est à son maximum au sud de l'aire de répartition de l'espèce. Selon ces études, on devrait s'attendre à ce que la perchaude commence à se reproduire dans le fleuve Saint-Laurent (45°N-47°N) à des températures entre 7 °C et 14 °C, ce qui est en accord avec les seuils de température observés dans la présente étude (tableau 10). Cette forte variabilité pourrait s'expliquer par le fait qu'une panoplie de conditions environnementales autres que la température sont susceptibles d'influencer le cycle reproducteur de la perchaude : niveau d'eau, vitesse du courant et interactions sociales (c.-à-d. phéromones; Craig 2000).

La reproduction de la perchaude s'est échelonnée sur une période de cinq à neuf jours consécutifs dans les quatre marais à l'étude, sans différence marquée entre les milieux aménagés et naturels (figure 13). Massé *et al.* (1988) et Craig (2000) rapportent respectivement que la fraye se déroule durant une période de 13 à 20 jours à la rivière aux Pins et durant environ deux semaines au lac Michigan. Selon Aalto et Newsome (1989), la reproduction dans un lac de 500 ha a eu lieu annuellement entre 1978 et 1987 durant

un maximum de 14 jours. Thorpe (1977) rapporte cependant que la reproduction de la perchaude se déroule durant une semaine en étang comparativement à un mois en lac, différence qui serait attribuable au réchauffement plus rapide de l'eau en milieu peu profond. Une série de données recueillies de 1986 et 2000 sur l'évolution de la maturité sexuelle des perchaudes femelles au lac Saint-Pierre révèle que la majorité de la reproduction se déroule en 8-10 jours entre le 15 avril et le 5 mai, selon les années (Guénette *et al.* 1994; G.V.L. Environnement Inc. 1999 et 2001). Ces valeurs sont similaires à ce qui a été rapporté dans la présente étude. Une interruption du réchauffement de l'eau par une période de froid peut allonger la période de reproduction (Gillet et Dubois 1995; Sandström *et al.* 1997).

Le maximum de la fraye de la perchaude a eu lieu durant une période où le niveau de l'eau était à la hausse (augmentation journalière moyenne de 11, 6, 16 et 13 cm à Saint-Barthélemy, Saint-Eugène, Maskinongé et Longue Pointe respectivement). Il est possible que la reproduction de la perchaude soit initiée par une augmentation du niveau de l'eau. Ce résultat pourrait s'expliquer par une adaptation de l'espèce lui permettant d'éviter l'assèchement de ses œufs et non par la recherche d'un substrat de fraye particulier. En effet, la perchaude est reconnue pour être très opportuniste dans la sélection du substrat sur lequel elle dépose ses œufs. Elle peut utiliser une grande variété de substrats submergés (blocs, gravier, macrophytes, racines d'arbre, branches mortes, etc.) à des profondeurs de 0,5 – 8,0 m (Craig 2000). Le choix du substrat est donc relatif et dépend de ce qui est disponible dans le milieu.

3.3 MODÉLISATION DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU

Des modèles permettant de prédire la température de l'eau à partir de données météorologiques ont été établis. Dans la prochaine section, les équations optimisées ont été présentées pour chaque station où la température de l'eau a été mesurée *in situ* (équations 5-9). Les figures 14 à 23 présentent les températures moyennes de l'eau obtenues de ces équations en fonction des températures mesurées sur le terrain.

Marais Saint-Barthélemy

$$T_{EauMoy} = 0,673 * (T_{AirMoy} - S_T) - 0,777 * (P + S_p) + 4,978 \quad \text{eq. (3)}$$

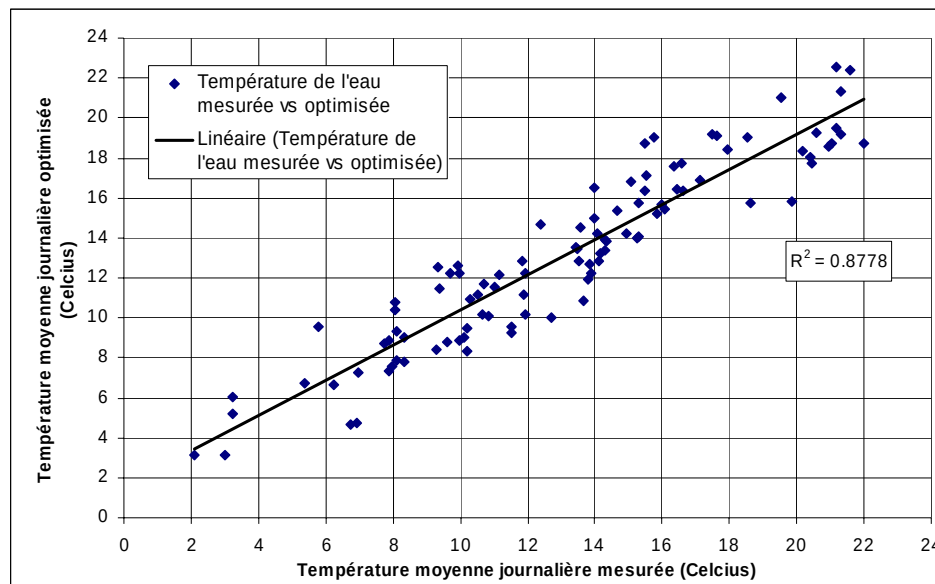


Figure 14. Température moyenne journalière de l'eau calculée en fonction de la température moyenne journalière de l'eau mesurée en 2002.

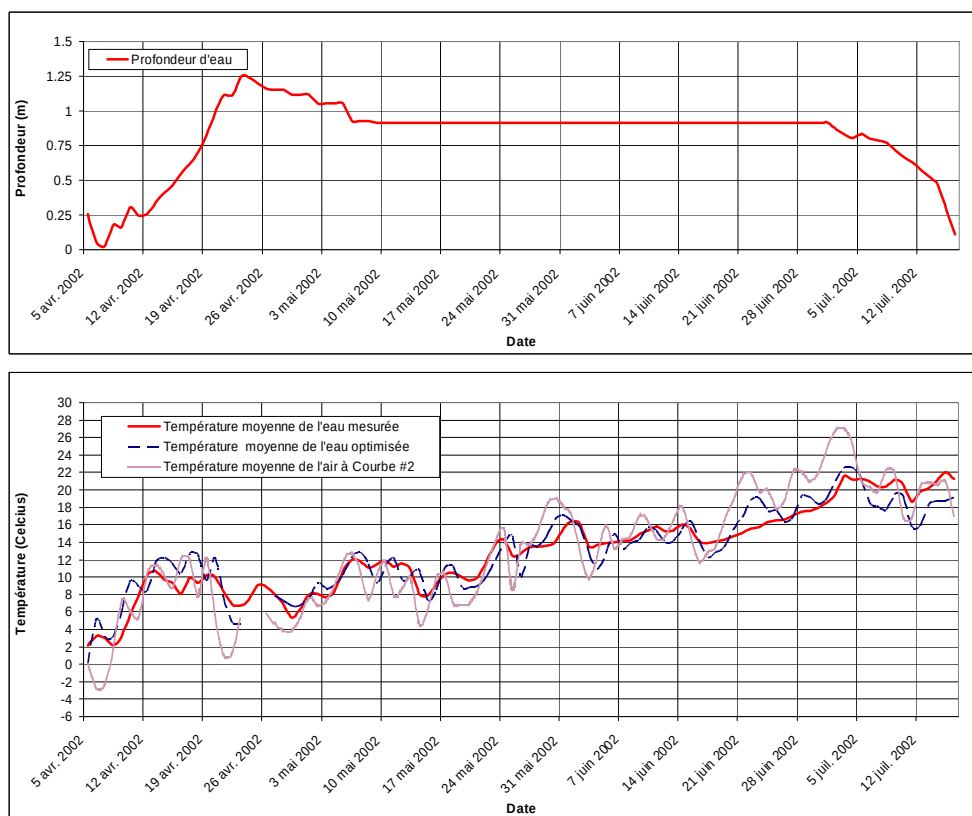


Figure 15. Températures moyennes journalières de l'eau et de l'air mesurées comparativement aux valeurs de températures calculées à l'aide de l'équation optimisée et profondeur d'eau à l'emplacement du thermographe.

Marais Saint-Eugène

$$T_{EauMoy} = 0,910 * (T_{AirMoy} - S_T) - 0,292 * (P + S_p) + 4,440 \quad \text{eq. (4)}$$

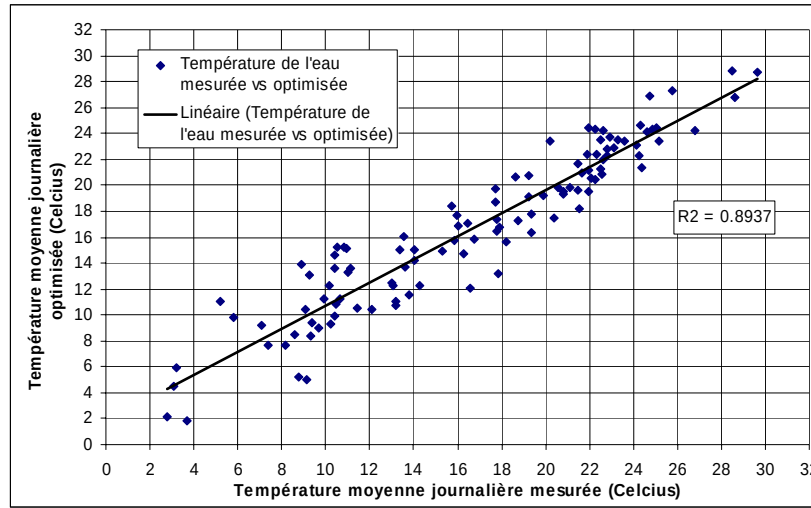


Figure 16. Température moyenne journalière de l'eau calculée en fonction de la température moyenne journalière de l'eau mesurée en 2002.

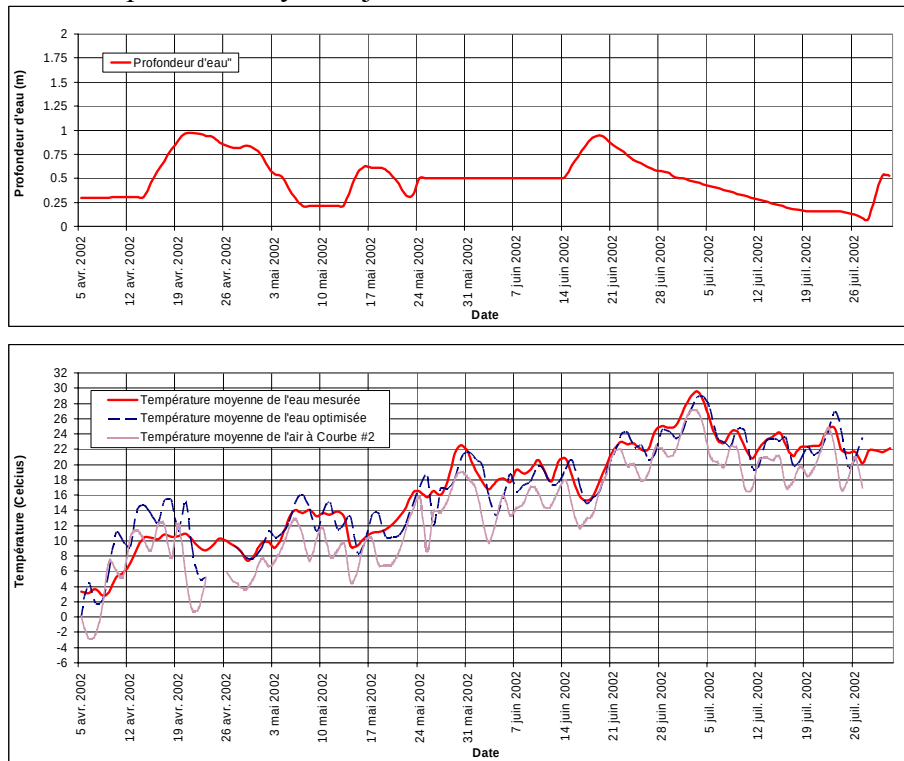


Figure 17. Températures moyennes journalières de l'eau et de l'air mesurées comparativement aux valeurs de températures calculées à l'aide de l'équation optimisée et profondeur d'eau à l'emplacement du thermographe.

Marais Île du Moine

$$T_{EauMoy} = 0,766 * (T_{AirMoy} - S_T) - 1,477 * (P + S_p) + 5,966 \quad \text{eq. (5)}$$

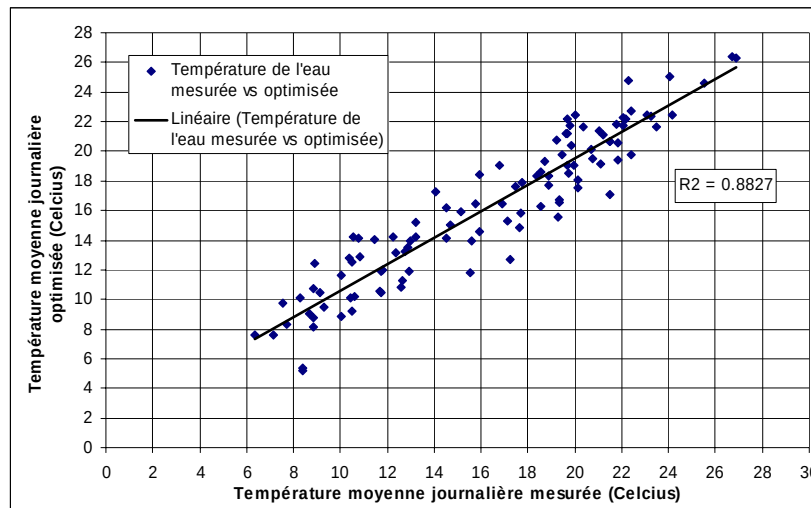


Figure 18. Température moyenne journalière de l'eau calculée en fonction de la température moyenne journalière de l'eau mesurée en 2002.

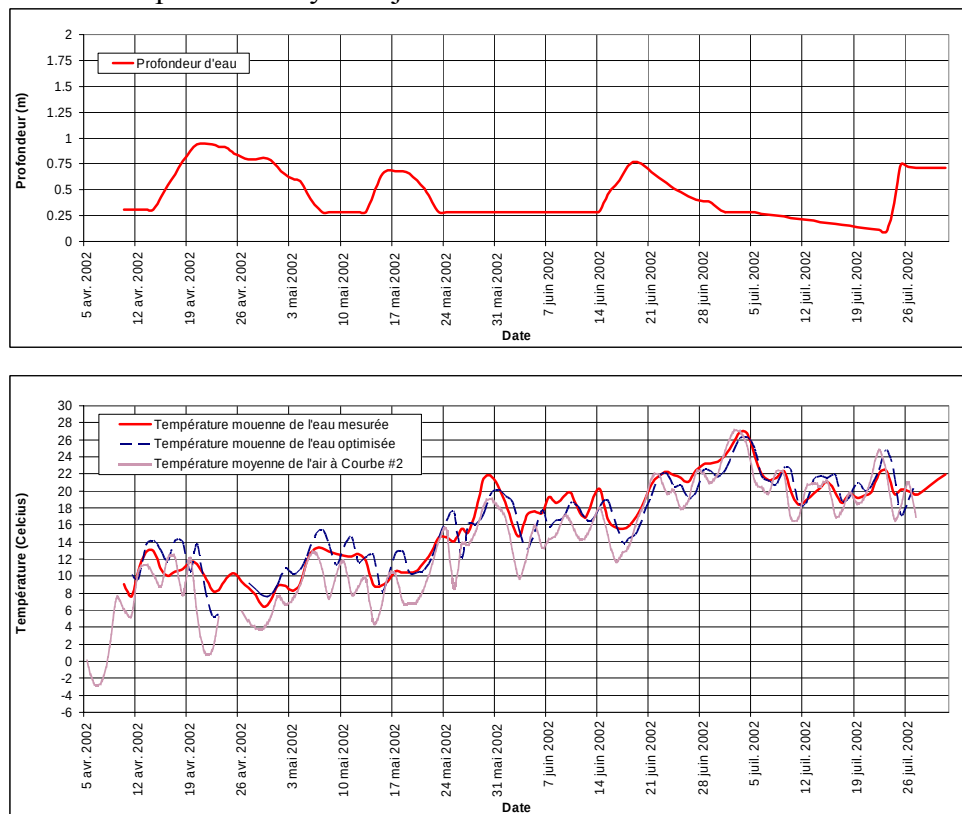


Figure 19. Températures moyennes journalières de l'eau et de l'air mesurées comparativement aux valeurs de températures calculées à l'aide de l'équation optimisée et profondeur d'eau à l'emplacement du thermographe.

Marais Baie Maskinongé

$$T_{EauMoy} = 0,636 * (T_{AirMoy} - S_T) - 0,293 * (P + S_p) + 6,556 \quad \text{eq. (6)}$$

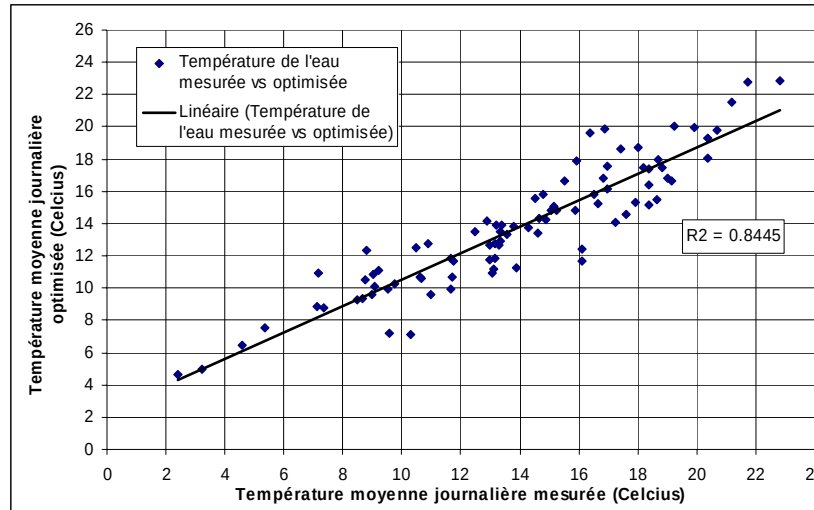


Figure 20. Température moyenne journalière de l'eau calculée en fonction de la température moyenne journalière de l'eau mesurée en 2002.

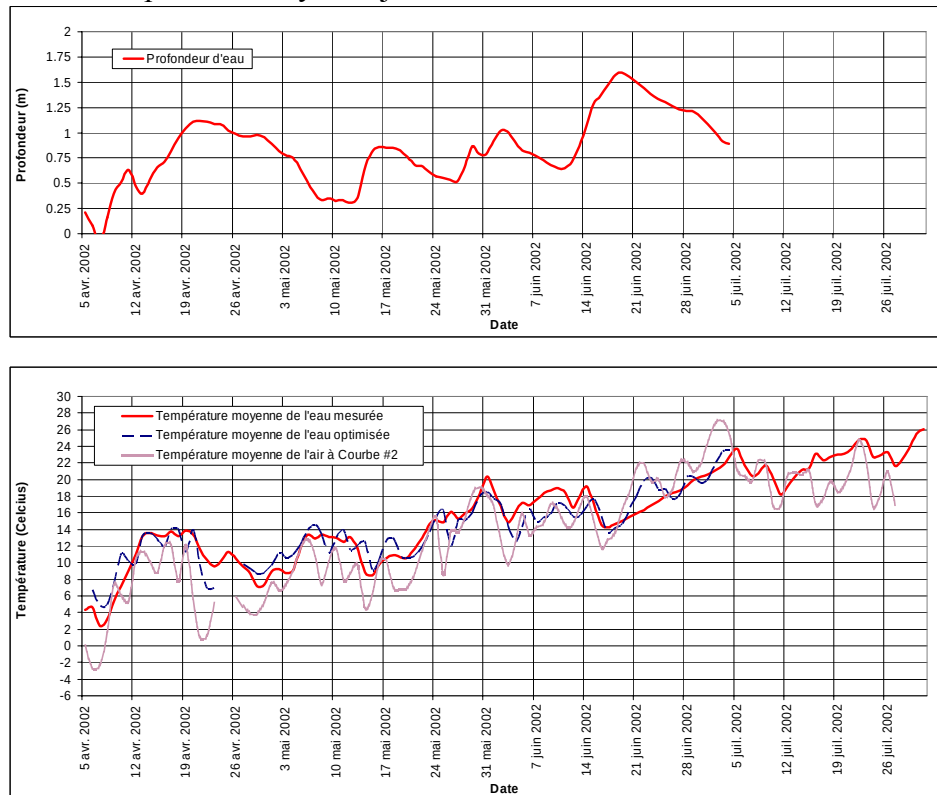


Figure 21. Températures moyennes journalières de l'eau et de l'air mesurées comparativement aux valeurs de températures calculées à l'aide de l'équation optimisée et profondeur d'eau à l'emplacement du thermographe.

Marais Longue-Pointe

$$T_{EauMoy} = 0,895 * (T_{AirMoy} - S_T) - 0,609 * (P + S_p) + 3,990 \quad \text{eq. (7)}$$

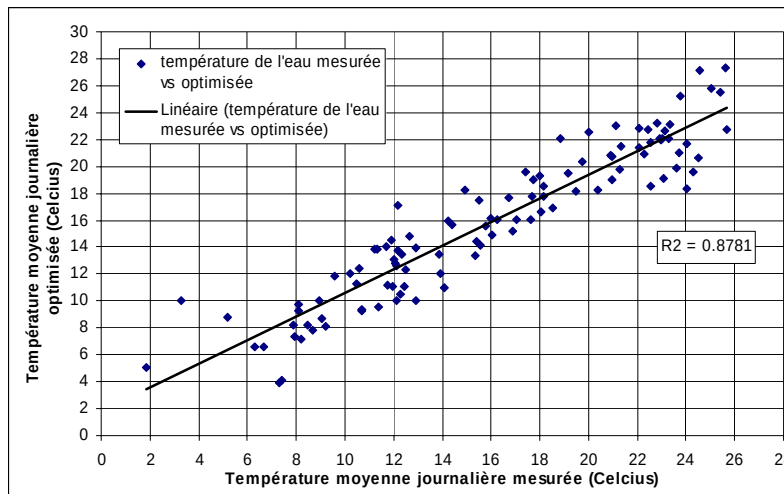


Figure 22. Température moyenne journalière de l'eau calculée en fonction de la température moyenne journalière de l'eau mesurée en 2002.

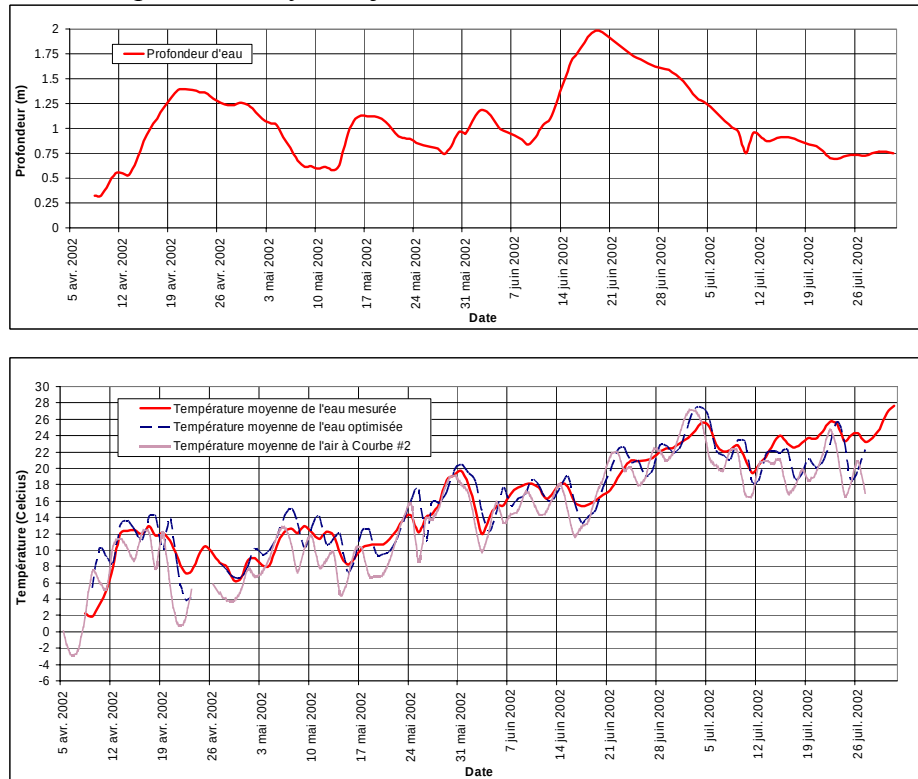


Figure 23. Températures moyennes journalières de l'eau et de l'air mesurées comparativement aux valeurs de températures calculées à l'aide de l'équation optimisée et profondeur d'eau à l'emplacement du thermographe.

À l'examen des figures 14 à 23, on remarque que les valeurs prédites à partir des modèles ne suivent pas exactement les valeurs mesurées, mais qu'elles s'en rapprochent suffisamment pour que l'on considère que la relation fournit des valeurs réalistes. Une application de cette équation pour une autre période de l'année risque toutefois de fournir des valeurs erronées puisque celle-ci est optimisée à partir de données recueillies au printemps et en été. La précision du modèle pourrait être grandement améliorée en développant un modèle spatial bidimensionnel (2D) ou en incluant dans le calcul l'interaction entre la température et le niveau ainsi que les mesures de radiation solaire. Des tests effectués dans les Îles de Boucherville montrent que le rendement du modèle de température 2 D est dix fois plus précis que le modèle 1 D (précision de 0,5 °C vs 5,0 °C, respectivement; Jean Morin, Service météorologique du Canada, comm. pers.). Dans les prochaines études, le résultat des modélisations servira à calculer les paramètres des processus biologiques présentés dans les sections précédentes sur les longues séries temporelles afin d'effectuer une analyse historique et tester plusieurs plans de régularisation.

4. CONCLUSION ET PERSPECTIVE POUR LA GESTION DES NIVEAUX D'EAU

La présente étude indique que les variations hydrologiques du fleuve Saint-Laurent peuvent avoir un impact significatif sur l'accessibilité des marais aménagés pour les poissons, en terme de superficie disponible et de durée d'accès. Nos résultats montrent que la durée d'accès n'a fait que diminuer graduellement depuis le milieu des années 1970 jusqu'à aujourd'hui. Même si on reconnaît une cyclicité d'environ trente ans dans le régime hydrologique du bassin Grands Lacs–Saint-Laurent, la baisse des apports en eau reliée au changement climatique, dont la tendance est déjà amorcée, laisse présager une diminution de la fréquentation des sites aménagés par les poissons. La crue printanière influence le déclenchement et l'intensité du mouvement des brochets et des perchaudes adultes vers la plaine d'inondation, alors que la température de l'eau aurait un impact sur la chronologie de la reproduction. La présente étude suggère que la durée, la hauteur et la chronologie de la crue printanière ont un impact sur la richesse spécifique, l'abondance des géniteurs et la date de la reproduction des frayeurs hâtifs dans les marais aménagés. Pour éviter un déclenchement tardif de la reproduction, il importe que la hauteur et la durée de la crue printanière permettent aux géniteurs d'accéder à un substrat adéquat lorsque les conditions thermiques sont favorables. Les valeurs prédites à partir des modèles de la température de l'eau sont réalistes mais ne suivent pas exactement les valeurs mesurées. Un projet en cours vise à améliorer ces modèles en incluant de nouvelles variables indépendantes telles que la radiation solaire, la couverture nuageuse, le vent, etc., combinées à un modèle spatial bidimensionnel. Les résultats de la présente étude constituent une première exploration des relations entre les processus biologiques et les variables climatiques et hydrologiques qui serviront à estimer l'impact des variations du niveau d'eau du fleuve Saint-Laurent sur les poissons des aménagements en plaine inondable. De nouvelles mesures sur le terrain seront nécessaires pour valider les modèles prédictifs issus de nos résultats.

Le maintien de l'accessibilité à un substrat de fraye optimal constitue un facteur de premier plan dans l'établissement de critères de régularisation des niveaux d'eau puisqu'une forte production de poissons ne peut survenir si les géniteurs n'ont pas accès à

un substrat adéquat (Massé *et al.* 1986). Chez le grand brochet, il est largement reconnu que le succès de la reproduction est favorisé par des niveaux d'eau printaniers hauts et stables qui permettent, entre autres, à l'espèce d'avoir accès à un substrat adéquat (Johnson 1957; Hassler 1970; Nelson 1978). Pour la perchaude, la situation est différente. Au lac Saint-Pierre, la viabilité de la population de perchaudes et de son exploitation sont tributaires du recrutement annuel (Magnan 2002; Guénette *et al.* 1994). Selon Guénette *et al.* (1994), la force des classes d'âge des perchaudes mesurées sur une période de 8 ans entre 1982 et 1989 serait positivement reliée à la température de l'eau durant l'été. Les facteurs climatiques au cours de la première année de vie, joueraient donc un rôle important dans le recrutement. À la lumière de ces informations, le fait d'assurer à un maximum de géniteurs l'accès à un substrat de fraye adéquat ne signifie pas pour autant que la production de jeunes de l'année sera élevée et qu'une forte classe d'âge sera observée subséquemment. L'impact des niveaux sur la température de l'eau durant les périodes critiques du développement (c.-à-d. incubation, début de l'alimentation exogène, croissance) devra donc être exploré dans les prochaines années.

Les résultats obtenus dans la présente étude seront pris en compte lors de la révision des critères de gestion des niveaux d'eau du fleuve par la Commission mixte internationale. Ils serviront également à améliorer la gestion des aménagements par la Société de la faune et des parcs du Québec de façon à minimiser les impacts d'une diminution probable du débit sortant des Grands Lacs attribuable à des interventions anthropiques ou aux changements climatiques. À partir des modèles développés dans le cadre des prochaines études, il serait possible de prédire l'avènement des processus biologiques en suivant les données météorologiques et hydrologiques en temps réel, par exemple la date de fraye, la durée d'incubation des œufs et la croissance des jeunes. Dans un proche avenir, ces outils de gestion prédictifs permettraient de déterminer le moment opportun pour assurer un niveau d'eau optimal dans le Saint-Laurent (Commission mixte internationale) et pour ouvrir les structures de contrôle du niveau de l'eau des marais aménagés afin d'en améliorer l'accès et le rendement, en particulier lors des années de faible hydraulité (Société de la faune et des parcs du Québec).

Afin d'illustrer la façon dont les résultats de la présente étude pourraient être intégrés dans le plan de gestion de l'hydrologie du système lac Ontario – fleuve Saint-Laurent, un hydrogramme basé sur les observations réalisées dans les sections précédentes est présenté à la figure 24. Les recommandations concernant la faune ichthyenne (présente étude) et la sauvagine (Denis Lehoux, Service canadien de la faune d'Environnement Canada, comm. pers.) en milieu aménagé et naturel ont été jumelées pour vérifier l'existence d'éventuels conflits d'usage. Ces recommandations doivent être considérées comme préliminaires et devront être raffinées dans les prochaines années. Il est à noter que des dates sont mentionnées uniquement à titre indicatif puisque le calendrier sera ajusté annuellement en fonction de la température, étant donné l'influence de celle-ci sur la chronologie des processus biologiques.

Poissons :

1. Le niveau de l'eau devrait atteindre un minimum de 5,6 m à Sorel au début avril pour rendre les marais aménagés utilisables par les poissons.
2. Le niveau de l'eau devrait demeurer supérieur à 5,6 m durant au moins 30 jours (à raffiner) afin de donner accès à une communauté diversifiée.
3. Les variations rapides du niveau de l'eau provenant de la régularisation devraient être proscrites durant la période de reproduction (avril – début mai) et d'incubation des œufs (à déterminer avec la température) afin d'éviter l'assèchement des œufs ou le refroidissement excessif des frayères.
4. La décrue devrait s'amorcer environ durant la première semaine de mai avec un taux d'abaissement du niveau situé entre 20 et 27 mm·jour⁻¹. Pour éviter que les jeunes de l'année ne soient emprisonnés dans les dépressions de la plaine d'inondation, la décrue ne devrait jamais dépasser 40 mm·jour⁻¹. Cette valeur est en accord avec les observations faites dans la rivière Richelieu (Dumont et Fortin 1977) et avec les pentes du niveau de

l'eau observées entre le maximum de crue et l'étiage du Saint-Laurent depuis le début du siècle (données non présentées).

5. Afin de permettre l'abaissement du niveau de l'eau des marais aménagés pour libérer la production piscicole dans le fleuve et éviter la mortalité estivale ou hivernale, le niveau de l'eau du fleuve à Sorel devrait être inférieur à 5,0 m durant au moins deux semaines entre le 1^{er} et le 30 juin.

Sauvagine :

1. Durant la migration printanière, soit entre le 10 avril et le 7 mai, maintenir les niveaux d'eau à la station de Sorel relativement élevés entre la cote 6,0 et 6,88 m. Des niveaux plus élevés pourraient rendre les plans d'eau trop profonds, inonder des habitats de moindre qualité et rendre inaccessibles certains sites d'habitats traditionnels.

2. Ne jamais maintenir les niveaux d'eau à une cote inférieure à 6,0 m durant toute la période migratoire printanière plus d'une année sur deux en moyenne afin de conserver un patron d'inondation comparable à celui obtenu historiquement.

3. Ne jamais maintenir les niveaux d'eau à une cote inférieure à 5,4 m durant la période migratoire printanière afin d'assurer un minimum de fréquentation (20% du total d'oiseaux habituellement présents dans la plaine inondable) de la portion non aménagée de la plaine inondable par les oiseaux aquatiques.

4. Durant la période de nidification, maintenir les niveaux d'eau au-dessus de la cote 5,0 m à tout le moins en mai de façon à limiter l'accès des îles aux prédateurs terrestres.

5. Durant la période de nidification, maintenir les niveaux d'eau en juin à une cote d'élévation inférieure à 5,50 m de façon à prévenir l'inondation d'un trop grand nombre de nids lors de remontées soudaines des niveaux d'eau.

6. Durant la période de nidification lorsque les niveaux d'eau enregistrés à la station de Sorel sont supérieurs à la cote 4,9 m, éviter toutes remontées du niveau des eaux de plus

de 40 cm à la fin avril et la première semaine de mai; de plus de 20 cm de la deuxième semaine de mai à la fin juin et de plus de 30 cm durant les deux premières semaines de juillet. Des remontées plus importantes sont autorisées lorsque les niveaux d'eau enregistrés à la station de Sorel sont à des cotes moins élevées.

7. Si des remontées de niveaux d'eau de fortes amplitudes (> 40 cm) étaient vraiment requises entre la mi-avril et la première semaine de mai, privilégier des remontées rapides (< 7 jours) et de fortes amplitudes (> 10 cm/jour) de façon à ne pas nuire indûment aux espèces de canards hâtifs (Canard colvert, Canard pilet et Canard noir) et de façon à ce que ce type de remontées se fassent durant une période où les femelles ayant perdu leurs œufs peuvent plus facilement nicher à nouveau. En avril et jusqu'au début de mai, les femelles sont soit peu nombreuses à nicher ou sont en majorité en période de ponte. Une perte de nids à ce moment précis de la période de reproduction, n'aurait alors des effets que sur un faible contingent de femelles ou encore sur des femelles qui peuvent pondre à nouveau. Il vaudrait mieux dès lors permettre une destruction rapide du nid plutôt que d'échelonner cette destruction sur plusieurs jours. On empêcherait ainsi que les femelles ne dépensent inutilement des réserves protéiniques importantes à pondre pendant quelques jours des œufs qui seront de toute façon irrémédiablement inondés ou détruits.

8. Si des remontées de niveaux d'eau importantes (> 20 cm) étaient requises plus tard en saison, entre le 11 mai et le 10 juillet, privilégier des remontées lentes (> 7 jours) et de faibles amplitudes (< 7 cm/jour). Effectuer de préférence ces remontées de niveaux d'eau en dehors des périodes de forts vents (> 25 km/hre). Cette approche de gestion présenterait de multiples avantages pour les femelles qui sont en incubation à cette date et qui ont alors moins de chances de renicher. Les avantages sont les suivants : (1) laisser aux femelles plus de temps pour tenter de compléter la nidification avant que l'eau n'inonde leur nid, (2) laisser aux femelles un délai accru pour leur permettre de rehausser leur nid afin de tenter de les soustraire aux effets de l'inondation et (3) empêcher que le nid ne soit déporté ou détruit par une remontée trop soudaine et rapide du niveau d'eau.

9. Durant la période intensive d'élevage des couvées, soit durant les mois de juillet et d'août, conserver les niveaux d'eau moyens à la station de Sorel supérieurs à la cote

4,2 m de façon à assurer des marais d'élevage de qualité mais aussi afin de prévenir la présence d'eaux stagnantes propices au développement du botulisme chez les oiseaux.

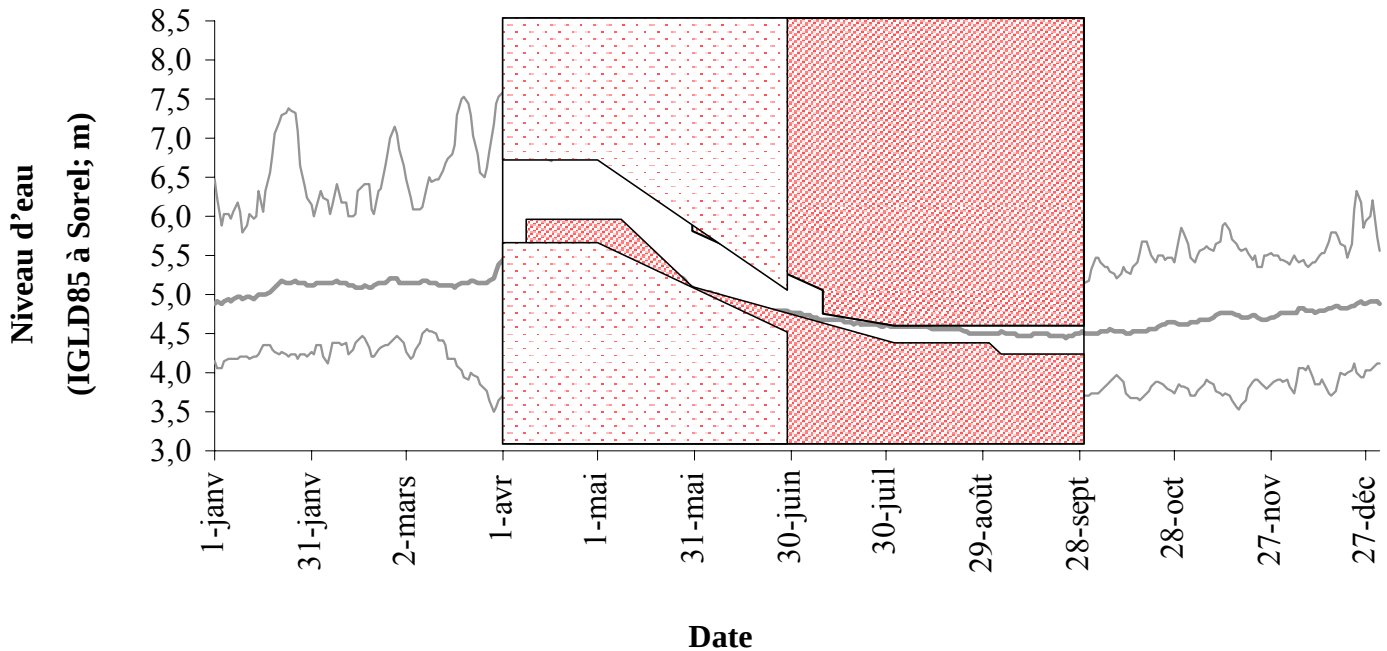


Figure 24. Recommandations préliminaires basées sur les résultats obtenus pour les poissons des marais aménagés et pour la sauvagine. Les niveaux d'eau à éviter sont représentés en pointillé pour les poissons des marais aménagés et en hachuré pour la sauvagine. Les niveaux recommandés correspondent à la zone grise.

RÉFÉRENCES

- AALTO, S.K. and G.E. NEWSOME. 1989. Evidence of a demic structure for a population of yellow perch (*Perca flavescens*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 46 : 184-190.
- BRENKMAN, S.J., G.L. LARSON and R.E. GRESSWELL. 2001. Spawning migration of lacustrine-adfluvial bull trout in a natural area. Transactions of the American Fisheries Society 130 : 981-987.
- CADIEUX, C. et D. VILLENEUVE. 1981. Étude de l'influence de différents paramètres physiques sur la reproduction du grand brochet (*Esox lucius* L.) du Haut-Richelieu. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Montréal.
- CASSELMAN, J. M. and C. A. LEWIS. 1996. Habitat requirements of northern pike (*Esox lucius*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 53 (Suppl 1) : 161-174.
- CIERESZKO, R.E., K. DABROWSKI, A. CIERESZKO, EBELING, J. and J.S. OTTOBRE. 1997. Effects of temperature and photoperiod on reproduction of female yellow perch *Perca flavescens*: plasma concentrations of steroid hormones, spontaneous and induced ovulation, and quality of eggs. Journal of the World Aquaculture Society 28(4) : 344-356.
- CLADY, M.D. 1976. Influence of temperature and wind on the survival of early stages of yellow perch (*Perca flavescens*). J. Fish. Res. Board Can. 33 : 1887-1893.
- CRAIG, J.F. and C. KIPLING. 1983. Reproduction effort versus the environment; case histories of Windermere perch, *Perca fluviatilis* L., and pike, *Esox lucius* L. Journal of Fish Biology 22 : 713-727.
- CRAIG, J.F. 2000. Percid fishes: systematics, ecology and exploitation. Blackwell Science. Oxford.
- DABROWSKI, K., R.E. CIERESZKO, A. CIERESZKO, G.P. TOTH, S.A. CHRIST, D. EL-SAIDY and J.S. OTTOBRE. 1996. Reproductive physiology of yellow perch (*Perca flavescens*): environmental and endocrinological cues. Journal of Applied Ichthyology 12 : 139-148.
- DUMONT, P. and R. FORTIN. 1977. Effects of spring water levels on the reproduction of Upper Richelieu and Missisquoi Bay northern pike (*Esox lucius* L.). Université du Québec à Montréal, 105 p.
- FABRICIUS, E. et K.J. GUSTAFSON. 1958. Some new observations on the spawning behavior of the pike, *Esox lucius* L. Rep. Inst. Freshwater Res. Drottningholm 39 : 23-54.

- FARRELL, J. M. 2001. Reproductive success of sympatric northern pike and muskellunge in an Upper St. Lawrence River bay. *Transactions of the American Fisheries Society* 130 : 796-808.
- FARRELL, J. M., R. G. WERNER, S. R. LAPAN and K. A. CLAYPOOLE. 1996. Egg distribution and spawning habitat of northern pike and muskellunge in a St. Lawrence River Marsh, New York. *Transactions of the American Fisheries Society* 125(1) : 127-131.
- FITZGERALD, D.G., A.R. DALE, M.V. THOMAS and P.F. SALE. 2001. Application of otolith analyses to investigate broad size distribution of young yellow perch in temperate lakes. *Journal of Fish Biology* 58 : 248-263.
- FORTIN, R., P. DUMONT, H. FOURNIER, C. CADIEUX et D. VILLENEUVE. 1982. Reproduction et force des classes d'âge du grand brochet (*Esox lucius* L.) dans le Haut-Richelieu et la baie Missisquoi. *Canadian Journal of Zoology* 60 : 227-240.
- FRANKLIN, D. R. and L. L. SMITH. 1963. Early life history of the northern pike, (*Esox Lucius* L.), with special reference to the factors influencing the numerical strength of year classes. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 92(2) : 91-110.
- FRENETTE, J.-J., M. T. ARTS, et J. MORIN. 2003. Spectral gradients of downwelling light in a fluvial lake (Lake Saint-Pierre, St-Lawrence River). *Aquatic Ecology* 37 : 77-85.
- GARRETT, J. W. and D. H. BENNETT. 1995. Seasonal movements of adult brown trout relative to temperature in a coolwater reservoir. *North American Journal of Fisheries Management* 15 : 480-487.
- GILLET, C. and J.P. DUBOIS. 1995. A survey of the spawning of perch (*Perca flavescens*), pike (*Esox lucius*), and roach (*Rutilus rutilus*), using artificial spawning substrates in lakes. *Hydrobiologia* 300/301 : 409-415.
- GILLET, C., J. P. DUBOIS and S. BONNET. 1995. Influence of temperature and size of females on the timing of spawning of perch, *Perca flavescens*, in lake Geneva from 1984 to 1993. *Environmental Biology of Fishes* 42 : 355-363.
- GUÉNETTE, S., Y. MAILHOT, I. McQUINN, P. LAMOUREUX et R. FORTIN. 1994. Paramètres biologiques, exploitation commerciale et modélisation de la population de perchaude (*Perca flavescens*) du lac Saint-Pierre. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Université du Québec à Montréal, Québec. 110 p.
- G.V.L. ENVIRONNEMENT INC. 1999. Suivi de la pêche à la perchaude au lac Saint-Pierre, printemps 1999. Étude réalisée pour le compte de l'Association des Pêcheurs Commerciaux du lac Saint-Pierre. Nicolet, Québec. 33 p. + annexes.

- G.V.L. ENVIRONNEMENT INC. 2001. Évaluation des impacts des mesures de gestion de la pêche commerciale à la perchaude au lac Saint-Pierre, saison 2000. Étude réalisée pour le compte de l'Association des Pêcheurs Commerciaux du lac Saint-Pierre. Nicolet, Québec. 43 p. + annexes.
- HASSLER, T. J. 1970. Environmental influence on early development and year-class strength of northern pike in lake Oahe and Sharpe, South Dakota. *Trans. Am. Fish. Soc.* 9 : 369-375.
- JOHNSON, F. H. 1957. Northern pike year-class strength and spring water levels. *Transactions of the American Fisheries Society* 86 : 285-293.
- JONSSON, N. 1991. Influence of water flow, water temperature, and light on fish migration in rivers. *Nordic journal of freshwater research* 66 : 20-35.
- 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.
- LAVOIE, J.-G. et J. TALBOT. 1984. Les habitats de reproduction des poissons d'eau douce du Québec : problématique et proposition d'une classification. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Direction générale de la faune. 35 p.
- LEGENDRE, L. et P. LEGENDRE. 1984. Écologie numérique : tomes 1 et 2 (2^e édition). Presses de l'Université du Québec, Québec.
- LEPAGE, S. et R. LALUMIÈRE 2003. Modalités de gestion du poisson dans les aménagements fauniques en plaine inondable. Société de la faune et des parcs du Québec, Direction du développement de la faune et Groupe conseil GENIVAR inc. Québec. 55 p.
- LESSARD, M. 1991. Analyse multidimensionnelle et discontinuités spatiales des communautés de poissons du lac Saint-Pierre et de l'archipel de Sorel. Mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en sciences de l'environnement, Université du Québec à Montréal, Québec. 220 p.
- MAGNAN, P. 2002. Avis scientifique sur l'état du stock de perchaudes au lac Saint-Pierre, les indicateurs biologiques utilisés pour effectuer son suivi et la pertinence de protéger la période de fraye de façon partielle ou totale. Université du Québec à Trois-Rivières.
- MAILHOT, Y. et P. DUMONT. 2003. Nouvelles données sur le stock de la perchaude du lac Saint-Pierre et protocole d'échantillonnage destiné à en évaluer l'abondance relative découlant de l'analyse des résultats des échantillonnages du réseau de suivi ichtyologique en 2002 et en 2003. Document de régie interne présenté au CAGPLSP. Faune et Parcs Québec, Directions de l'aménagement de la faune du Centre-du-Québec et de la Montérégie.

- MASSÉ, G., P. DUMONT, J. FERRARIS et R. FORTIN. 1991. Influence des régimes hydrologique et thermique de la rivière aux Pins (Québec) sur les migrations de fraye du Grand Brochet et sur l'avalaison des jeunes brochets de l'année. *Aquat. Living. Resour.* 4 : 275-287.
- 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.
- MERRITT, M.F. et K. ROBERSON. 1986. Migratory timing of upper copper river sockeye salmon stocks and its implications for the regulation of the commercial fishery. *North American Journal of Fisheries Management* 6 : 116-225.
- 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.
- MINGELBIER, M. et T. DOUGUET. 1999. Répertoire-synthèse des aménagements fauniques de la plaine inondable du lac Saint-Pierre. Société de la faune et des parcs du Québec, Direction de la faune et des habitats. 37 p. + annexe.
- MORTSCH, L. et QUINN, F.H. 1996. Climate change scenarios for Great Lakes Basin ecosystem studies. *Limn. Oceanogr.* 41 : 903-911
- MORIN, J., M. MINGELBIER, J.A. BECHARA, O. CHAMPOUX, Y. SECRETAN, M. JEAN et J.J. FRENETTE. 2003. Emergence of new explanatory variables for 2D habitat modelling in large rivers : the St. Lawrence experience. *Canadian Water Resources Journal* 28(2) : 1-24.
- NELSON, W.R. 1978. Implications of water management in lake Oahe for the spawning success of coolwater fishes. *Am. Fish. Soc. Spec. Publ.* 11 : 154-158.
- NIKOLSKY, G.V. 1963. The ecology of fishes. Academic Press, New York, USA. Translated from Russian by El Birkett.
- PARAMAGIAN, V.L. and G. KRUSE. 2001. Kootenai river white sturgeon spawning migration behavior and a predictive model. *North American Journal of Fisheries Management* 21 : 10-21.
- RIOUX, D. et J. MORIN. 2001. Modélisation de l'habitat de fraie du grand brochet (*Esox lucius* L.) à la rivière aux Pins : production des données de base. Rapport technique RT-100, Service météorologique du Canada, Environnement Canada. Sainte-Foy. 57 p.

- RODRIGUEZ-RUIZ, A. et C. GRANADO-LORENCIO. 1992. Spawning period migration of three species of cyprinids in a stream with Mediterranean regimen (SW Spain). *Journal of fish biology* 41 : 545-556.
- SANDSTRÖM, O., I. ABRAHAMSSON, J. ANDERSSON et M. VETEMAA. 1997. Temperature effects on spawning and egg development in Eurasian perch. *Journal of fish Biology* 51 : 1015-1024.
- SCOTT, W. B. et E. J. CROSSMAN. 1974. Poissons d'eau douce du Canada. *Bull. Fish. Res. Board. Can.* No. 184, Ottawa.
- SPRINGBORN, R.R., N.D. LAMPSAKIS et V.F. GALLUCCI. 1998. A time density model to estimate run size and entry timing in a salmon fishery. *North American Journal of Fisheries Management* 18 : 391-405.
- TARDIF, D., H. GLÉMET, P. BRODEUR et M. MINGELBIER 2003. Are managed marshes worth saving despite lowering water levels in the Saint Lawrence River? An assessment of fish growth using a biochemical index (RNA/DNA ratio) and a classical index (total length). Poster presented at the international conference on the impact of global environmental problems on continental and coastal marine waters. Network for Environmental Assessment and Remediation. 16-18 July. Geneva, Switzerland.
- THORPE, J.E. 1977. Morphology, physiology, behavior, and ecology of *Perca fluviatilis* L. and *P. flavescens* Mitchill. *J. Fish. Res. Board Can.* 34 : 1504-1514.
- TREASURER, J. W. 1983. Estimates of egg and viable embryo production in a lacustrine perch, *Perca fluviatilis*. *Environmental Biology of Fishes* 8(1) : 3-16.
- TRÉPANIER, S., M.A. RODRIGUEZ, et P. MAGNAN. 1996. Spawning migrations in landlocked Atlantic salmon: time series modeling of river discharge and water temperature effects. *Journal of Fish Biology* 48 : 925-936.
- VACHON, N. 2002. Situation et évolution avec la qualité de l'eau des populations de doré jaune (*Stizostedion vitreum*), perchaude (*Perca flavescens*), grand brochet (*Esox lucius*) et achigan à petite bouche (*Micropterus dolomieu*) au lac Saint-François, Rapport présenté pour le Comité ZIP du Haut Saint-Laurent.
- VERRET, L. et R. SAVIGNAC. 1985. L'habitat du poisson dans la plaine d'inondation de la rive sud du lac Saint-Pierre. Rapport manuscrit Can. Sci. Halieut. Aquat. 1853. 60 p.
- WEBER, J. J. et B. L. LES. 1982. Spawning and early life history of yellow perch in the Lake Winnebago system. Department of Natural Resources, Technical bulletin series no. 130. 48 p.

WITKOWSKI, A. et M. KOWALESKI. 1988. Migration and structure of spawning population of European grayling *Thymallus thymallus* (L.) in the Dunajec basin. Archiv für Hydrobiologie 112 : 279-297.