



Biodiversité dans les rivières et lacs du Canada

W.A. Monk¹ et D.J. Baird^{1,2}

**Biodiversité canadienne : état et tendances des
écosystèmes en 2010
Rapport technique thématique n° 19
Publié par les Conseils canadiens des ministres des ressources**

¹ Canadian Rivers Institute, Université du Nouveau-Brunswick

² Environnement Canada, Fredericton

Catalogage avant publication de Bibliothèque et Archives Canada

Biodiversité dans les rivières et lacs du Canada

Publié aussi en anglais sous le titre :

Biodiversity in Canadian lakes and rivers

Monographie électronique en version PDF

En14-43/20-2014F-PDF

978-0-660-22052-9

Le contenu de cette publication ou de ce produit peut être reproduit en tout ou en partie, et par quelque moyen que ce soit, sous réserve que la reproduction soit effectuée uniquement à des fins personnelles ou publiques, mais non commerciales, sans frais ni autre permission, à moins d'avis contraire.

On demande seulement :

- de faire preuve de diligence raisonnable en assurant l'exactitude du matériel reproduit;
- d'indiquer le titre complet du matériel reproduit et l'organisation qui en est l'auteur;
- d'indiquer que la reproduction est une copie d'un document officiel publié par le gouvernement du Canada et que la reproduction n'a pas été faite en association avec le gouvernement du Canada ni avec l'appui de celui-ci.

La reproduction et la distribution à des fins commerciales sont interdites, sauf avec la permission écrite de l'administrateur des droits d'auteur de la Couronne du gouvernement du Canada, Travaux publics et Services gouvernementaux Canada. Pour de plus amples renseignements, veuillez communiquer avec Travaux publics et Services gouvernementaux Canada au 613-996-6886 ou à droitdauteur.copyright@tpsgc-pwgsc.gc.ca.

Ce rapport devrait être cité comme suit :

Monk, W.A., et D.J. Baird. 2014. *Biodiversité dans les rivières et lacs du Canada. Biodiversité canadienne : état et tendances des écosystèmes en 2010*, rapport technique thématique n° 19, Conseils canadiens des ministres des ressources, Ottawa (Ontario), vi + 99 p. Sur Internet : <http://www.biodivcanada.ca/default.asp?lang=Fr&n=137E1147-1>.

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2014

Also available in English.

PRÉFACE

Les Conseils canadiens des ministres des ressources ont élaboré un cadre axé sur les résultats en matière de biodiversité¹ en 2006 pour mettre l'accent sur les mesures de conservation et de restauration conformément à la Stratégie canadienne de la biodiversité². Le rapport *Biodiversité canadienne : état et tendances des écosystèmes en 2010*³ a été le premier rapport rédigé suivant ce cadre. Il permet d'évaluer les progrès réalisés en vue d'atteindre l'objectif du cadre, à savoir des « écosystèmes sains et diversifiés » et d'obtenir les deux résultats souhaités en matière de conservation : i) des écosystèmes productifs, résilients et diversifiés capables de se rétablir et de s'adapter et ii) la restauration des écosystèmes endommagés.

Les 22 constatations clés récurrentes présentées dans le rapport *Biodiversité canadienne : état et tendances des écosystèmes en 2010* sont issues de la synthèse et de l'analyse des rapports techniques préparés dans le cadre du présent projet. Plus de 500 experts ont participé à la rédaction et à l'examen de ces documents de base. Le présent document, *Biodiversité dans les rivières et lacs du Canada*, s'inscrit au nombre de plusieurs rapports préparés sur la situation et les tendances de thèmes nationaux intersectoriels. Il a été préparé et révisé par des experts du domaine d'étude et reflète les points de vue des auteurs.

Auteurs collaborateurs

R. Allen Curry – Canadian Rivers Institute, Université du Nouveau-Brunswick

Nancy Glozier – Centre de recherche faunique des Prairies et du Nord, Environnement Canada, Saskatoon

Daniel L. Peters – Centre de recherche sur les impacts des changements climatiques et hydrologiques, Environnement Canada, Université de Victoria

Remerciements

Les données pour les analyses hydrologiques ont été fournies par l'intermédiaire de la base de données HYDAT (banque nationale de données sur les eaux de surface) des Relevés hydrologiques du Canada. D'autres données géospatiales ont été tirées de GéoGratis et de GéoBase. Nous remercions également les examinateurs du présent rapport.

¹ Environnement Canada. 2006. *Un cadre axé sur les résultats en matière de biodiversité pour le Canada*, Conseils canadiens des ministres des ressources, Ottawa (Ontario), 8 p. Sur Internet : <http://www.biodivcanada.ca/default.asp?lang=Fr&n=F14D37B9-1>.

² Groupe de travail fédéral-provincial-territorial sur la biodiversité. 1995. *Stratégie canadienne de la biodiversité : réponse du Canada à la Convention sur la diversité écologique*, Environnement Canada, Bureau de la Convention sur la biodiversité, Ottawa (Ontario), 80 p. Sur Internet : <http://www.biodivcanada.ca/default.asp?lang=Fr&n=560ED58E-1>.

³ Les gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux du Canada. 2010. *Biodiversité canadienne : état et tendances des écosystèmes en 2010*, Conseils canadiens des ministres des ressources, Ottawa (Ontario), vi + 148 p. Sur Internet : <http://www.biodivcanada.ca/default.asp?lang=Fr&n=83A35E06-1>.

Systeme de classification écologique – écozones⁺

Une version légèrement modifiée des écozones terrestres du Canada, décrites dans le *Cadre écologique du Canada*⁴, a permis de déterminer les zones représentatives d'écosystèmes pour tous les rapports compris dans le présent projet. Les modifications comprennent : un ajustement des limites terrestres pour tenir compte des améliorations résultant des activités de vérification au sol; la fusion des trois écozones de l'Arctique en une seule écozone; l'utilisation de deux écoprovinces, à savoir le bassin intérieur de l'Ouest et la forêt boréale de Terre-Neuve; l'ajout de neuf zones marines représentatives d'écosystèmes; et l'ajout de l'écozone des Grands Lacs. Ce système de classification modifié est appelé « écozones⁺ » dans ces rapports afin d'éviter toute confusion avec les « écozones » mieux connues du cadre initial⁵.



⁴ Groupe de travail sur la stratification écologique. 1995. *Cadre écologique du Canada*, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Direction générale de la recherche, Centre de recherches sur les terres et les ressources biologiques et Environnement Canada, Direction générale de l'état de l'environnement, Direction de l'analyse des écozones, Ottawa/Hull (Ontario), 144 p. Rapport et carte nationale 1/7 500 000.

⁵ Rankin, R., M. Austin et J. Rice. 2011. *Systeme de classification écologique pour le Rapport sur l'état et les tendances des écosystèmes, Biodiversité canadienne : état et tendances des écosystèmes en 2010*, rapport technique thématique n° 1, Conseils canadiens des ministres des ressources, Ottawa (Ontario), 18 p. Sur Internet : <http://www.biodivcanada.ca/default.asp?lang=Fr&n=137E1147-1>.

Table des matières

PRÉFACE	I
Auteurs collaborateurs.....	i
Remerciements	i
Système de classification écologique – écozones ⁺	ii
LISTE DES FIGURES	IV
LISTE DES TABLEAUX	VI
SOMMAIRE.....	1
INTRODUCTION.....	2
Lacs et rivières du Canada.....	2
Association des lacs et des rivières aux écozones ⁺	5
Répercussions globales sur la biodiversité aquatique	9
TENDANCES CHEZ LES POISSONS D’EAU DOUCE D’INTÉRÊT PARTICULIER	11
TENDANCES DES RÉGIMES HYDROLOGIQUES	17
Tendances hydroécologiques.....	20
Sommaire national et répartition spatiale des tendances hydrologiques (de 1970 à 2005).....	30
Tendances relatives à l’ampleur de l’écoulement	34
Tendances relatives au moment, à la fréquence et à la durée des événements hydrologiques extrêmes.....	40
Tendances relatives au caractère soudain des crues et des étiages.....	44
Sommaire des tendances hydroécologiques	46
TENDANCES RELATIVES À LA DÉBÂCLE ET À L’ENGLACEMENT DES RIVIÈRES ET DES LACS.....	47
Sommaire et orientation future.....	60
TENDANCES RELATIVES À LA PERTE ET À LA FRAGMENTATION DE L’HABITAT.....	60
Tendances relatives à la construction de barrages au Canada	63
Exemples de changements d’affectation des terres.....	66
TENDANCES RELATIVES AUX POLLUANTS DANS LES LACS ET LES RIVIÈRES	67
Contaminants	67
Nutriments	69
Acidification.....	71
IMPACTS FUTURS DU CLIMAT SUR LES LACS ET LES RIVIÈRES.....	74
SYNTHÈSE DES DONNÉES	76
RÉFÉRENCES.....	82
ANNEXE 1 : SOMMAIRE DES TENDANCES RELATIVES AUX VARIABLES DES INDICATEURS D’ALTÉRATION HYDROLOGIQUE SELON L’ÉCOZONE ⁺	96

Liste des figures

Figure 1. Écozones ⁺ et principaux bassins hydrologiques définis par les Relevés hydrologiques du Canada	6
Figure 2. Stress lié à l'utilisation de l'eau dans le monde.....	10
Figure 3. Nombre de taxons de poissons d'eau douce et diadromes en péril dans les écorégions d'eau douce nord-américaines situées au Canada, en 1979, 1989 et 2008	12
Figure 4. Prises commerciales de saumons atlantiques dans l'intérieur de la baie de Fundy, dans les districts de pêche des comtés d'Albert et de Westmorland au Nouveau-Brunswick, de 1875 à 1984	14
Figure 5. Série chronologique reconstituée des échappées de saumons coho sauvages, nombre total d'échappées (poissons sauvages et poissons d'écloserie) et nombre total de retours (échappées et prises) pour le bassin hydrographique de l'intérieur du Fraser, de 1975 à 2011.....	15
Figure 6. Série chronologique reconstituée des échappées de saumons coho sauvages pour les cinq unités de conservation dans le bassin hydrographique de l'intérieur du Fraser, de 1975 à 2011.....	16
Figure 7. Production de juvéniles d'esturgeons blancs, populations de la rivière Nechako, de 1945 à 1990.....	17
Figure 8. Distribution des stations actuelles et des anciennes stations hydrométriques dans l'ensemble du Canada : a) lacs naturels; b) lacs régularisés; c) rivières naturelles; d) rivières régularisées	18
Figure 9. Nombre de sites ayant des enregistrements des conditions hydrologiques pour les rivières et lacs naturels et régularisés, de 1800 à 2006.....	19
Figure 10. Histogramme de fréquence pour le nombre total d'années sur lesquelles s'étendent les données (ensemble des sites hydrométriques)	20
Figure 11. Carte des stations ayant des données hydrologiques appropriées utilisées dans le cadre d'analyses des tendances et tableau résumant le nombre de stations adéquates par écozone ⁺	27
Figure 12. Résumé du nombre total de stations affichant des tendances à la hausse et à la baisse significatives ($p < 0,1$) pour chaque variable des indicateurs d'altération hydrologique, d'après les données pour les années hydrologiques de 1970 à 2005	32
Figure 13. Nombre total de stations affichant des tendances significatives ($p < 0,1$) à la hausse et à la baisse pour chaque variable des indicateurs d'altération hydrologique pour : a) l'écozone ⁺ maritime de l'Atlantique; b) l'écozone ⁺ de la taïga des plaines; c) l'écozone ⁺ du bouclier boréal; d) l'écozone ⁺ maritime du Pacifique, d'après les données pour les années hydrologiques de 1970 à 2005.....	33
Figure 14. Nombre total de stations affichant des tendances significatives ($p < 0,1$) à la hausse et à la baisse pour chaque variable des indicateurs d'altération hydrologique pour : a) l'écozone ⁺ de la cordillère montagnarde; b) l'écozone ⁺ de la forêt boréale de Terre-Neuve, d'après les données pour les années hydrologiques de 1970 à 2005	34

Figure 15. Tendances relatives à l'écoulement mensuel à long terme dans le cas des stations du réseau hydrométrique de référence, d'après les données pour les années hydrologiques de 1970 à 2005	35
Figure 16. Tendances relatives à l'ampleur de l'écoulement minimal sur 1 jour, 3 jours, 7 jours, 30 jours et 90 jours et du débit de base pour les stations du réseau hydrométrique de référence, d'après les données pour les années hydrologiques de 1970 à 2005.....	36
Figure 17. Carte illustrant les tendances du débit minimal sur un jour des rivières naturelles au Canada, d'après les données pour les années hydrologiques de 1970 à 2005	37
Figure 18. Tendances relatives à l'ampleur de l'écoulement maximal sur 1 jour, 3 jours, 7 jours, 30 jours et 90 jours pour les stations du réseau hydrométrique de référence, d'après les données pour les années hydrologiques de 1970 à 2005	38
Figure 19. Carte illustrant les tendances du débit maximal sur un jour des rivières naturelles au Canada, d'après les données pour les années hydrologiques de 1970 à 2005	39
Figure 20. Tendances relatives à la date de l'écoulement minimal et de l'écoulement maximal annuels sur un jour pour les stations du réseau hydrométrique de référence, d'après les données pour les années hydrologiques de 1970 à 2005	41
Figure 21. Tendances relatives à la fréquence et à la durée des épisodes d'étiage et de crue pour les stations du réseau hydrométrique de référence, d'après les données pour les années hydrologiques de 1970 à 2005.....	42
Figure 22. Carte illustrant les tendances relatives à la durée des épisodes d'étiage dans les rivières naturelles au Canada, d'après les données pour les années hydrologiques de 1970 à 2005.....	43
Figure 23. Tendances relatives à la variabilité de l'écoulement pour les stations du réseau hydrométrique de référence, d'après les données pour les années hydrologiques de 1970 à 2005.....	45
Figure 24. Carte illustrant les tendances relatives au nombre d'inversions sur l'hydrogramme pour les rivières naturelles au Canada, d'après les données pour les années hydrologiques de 1970 à 2005.....	45
Figure 25. Tendances relatives aux températures printanières et aux dates de la débâcle au Canada, de 1966 à 1995.....	59
Figure 26. Carte illustrant les dérivations importantes de cours d'eau et les transferts au Canada et aux États-Unis	62
Figure 27. Nombre de barrages (hauteur supérieure à 10 m) construits chaque année au Canada, pour la période antérieure à 1900 jusqu'à 2005	64
Figure 28. Distribution spatiale des barrages (hauteur supérieure à 10 m) selon l'année de construction, de 1830 à 2005	65
Figure 29. Distribution temporelle des barrages (hauteur supérieure à 10 m) selon l'écozone ⁺ pour chaque décennie, pour la période antérieure à 1900 jusqu'à 2005	66
Figure 30. Nombre de sites de surveillance de la qualité de l'eau dans chaque bassin versant océanique important présentant une hausse ou une baisse des taux de phosphore, ou ne présentant aucun changement, de 1990 à 2006.....	69
Figure 31. Médiane des concentrations de phosphore total (A) et de phosphore total dissous (B) dans la rivière Bow, de 1975 à 2010.....	70

Figure 32. Tendances relatives aux niveaux de sulfate et à l'acidité (pH) dans les lacs de cinq sites de surveillance intensive dans le sud-est du Canada, de 1972 à 2008.....	72
Figure 33. Indice combiné de la charge critique des dépôts atmosphériques terrestres et aquatiques pour le Canada, en 2008	73
Figure 34. Secteurs où la charge critique a été dépassée dans l'écozone ⁺ du bouclier boréal, en 2009	73
Figure 35. Effets de l'acidification sur le saumon atlantique (1996)	74

Liste des tableaux

Tableau 1. Nombre de lacs par région du Canada, selon la superficie (km ²)	3
Tableau 2. Sommaire des recherches scientifiques publiées portant sur les tendances statistiques relatives au débit et à l'écoulement des rivières canadiennes	21
Tableau 3. Description des composantes du régime d'écoulement, de leurs impacts écologiques dans les cours d'eau et des variables de comparaison.....	28
Tableau 4. Paramètres hydrologiques pertinents sur le plan écologique utilisés pour les indicateurs d'altération hydrologique (IAH) et leurs caractéristiques.....	29
Tableau 5. Résultats des tendances pour les variables des indicateurs d'altération hydrologique pour les 172 stations du réseau hydrométrique de référence visées dans cette analyse, d'après les données pour les années hydrologiques de 1970 à 2005	31
Tableau 6. Sommaire de l'analyse documentaire concernant les changements de l'habitat physique et les effets directs et indirects sur la biodiversité et la disponibilité des habitats dans les rivières touchées par la glace.....	48
Tableau 7. Sommaire des études scientifiques quantifiant les tendances relatives à l'englacement des lacs et des rivières du Canada, d'après les données jusqu'à l'année 2000 inclusivement	53
Tableau 8. Sommaire des études scientifiques dans lesquelles sont quantifiées les tendances relatives à la débâcle des lacs et des rivières au Canada, d'après les données jusqu'à 2002 inclusivement	55
Tableau 9. Tendances relatives à la modification des réseaux d'eau douce à l'échelle mondiale, pour la période antérieure à 1900 jusqu'à 1996-1998	63
Tableau 10. Sommaire des tendances à l'échelle nationale relevées grâce à la présente analyse de données, à l'analyse de la documentation et à l'étude de recherches scientifiques publiées.....	77
Tableau 11. Sommaire des tendances hydrologiques selon l'écozone ⁺ , de 1970 à 2005	78
Tableau 12. Sommaire des tendances relevées grâce à la présente analyse de données, à l'analyse de la documentation et à l'étude de recherches scientifiques publiées, selon l'écozone ⁺	80

SOMMAIRE

- Il y a plus de 8 500 rivières et 2 millions de lacs au Canada, qui couvrent près de 9 % de la superficie totale du pays. Ces eaux sont drainées dans cinq bassins versants océaniques principaux : ceux des océans Arctique, Pacifique et Atlantique, celui de la baie d'Hudson et celui du golfe du Mexique. Soulignons que près de trois quarts du volume s'écoule vers le nord dans l'océan Arctique, la baie d'Hudson et la baie James.
- Au Canada, il est toujours difficile d'évaluer l'état ou les tendances des écosystèmes d'eau douce et de leur biodiversité, car les données d'observation à long terme sont insuffisantes et ne sont pas uniformes pour l'ensemble du pays. Toutefois, des mesures ont été prises récemment pour pallier ce problème, notamment en mettant sur pied le Réseau canadien de biosurveillance aquatique (RCBA).
- Le nombre d'espèces de poissons en danger a augmenté de façon constante au Canada, passant de 12 en 1979 à 62 en 2008. Cette augmentation découle directement de la perte d'habitat, de la concurrence exercée par les espèces envahissantes non indigènes et de la surexploitation.
- Dans le cadre du présent rapport, le manque de données a empêché d'évaluer les tendances à l'échelle nationale concernant le niveau des lacs. Cependant, les recherches menées dans les lacs des Prairies révèlent une baisse globale du niveau des lacs dans cette région au cours des 90 dernières années. Cette baisse est imputable à la diminution des précipitations et concorde avec les prévisions des modèles de réchauffement du climat.
- Les tendances de propriétés écologiquement importantes des écoulements fluviaux ont été évaluées pour la période de 1970 à 2005. Les résultats révèlent une augmentation marquée de la variabilité, de même que des tendances régionales pour ce qui est de l'écoulement minimal et maximal à court et à long terme.
- Bien que peu de tendances statistiquement significatives aient été constatées en ce qui a trait à l'englacement et à la débâcle, il est clair que, dans la plupart des sites faisant l'objet d'une surveillance, la débâcle et le débit annuel maximal sur une journée (qui est souvent associé à la crue printanière) surviennent de plus en plus tôt, ce qui semble concorder avec l'arrivée plus rapide de l'isotherme 0 °C au printemps.
- La construction de barrages d'une hauteur de plus de 10 m était à son maximum entre 1950 et 1980, mais est en baisse depuis ce temps dans l'ensemble du Canada.
- De 1980 à 2006, les émissions de dioxyde de soufre au Canada et aux États-Unis ont diminué d'environ 45 % et les émissions d'oxyde d'azote, d'environ 19 %. Bien que des diminutions marquées de la présence de sulfates dans les lacs aient été relevées peu après les réductions d'émissions, la réaction de l'acidité des lacs (mesurée par le pH) s'est manifestée lentement et de façon moins généralisée, en partie en raison des diminutions de calcium imputables aux dépôts acides.
- Au-delà de la région des Grands Lacs, les données permettant d'analyser les tendances à long terme de la concentration de contaminants dans le biote sont rares. C'est le cas pour

l'Arctique canadien, secteur de préoccupation récente, où certaines études font état de profils localisés sur des périodes trop courtes pour pouvoir bien analyser les tendances.

INTRODUCTION

Le présent rapport fournit une analyse de l'état et des tendances de la biodiversité des eaux douces au sein des lacs et des rivières du Canada en utilisant une combinaison de données : 1) des données quantitatives; 2) des données qualitatives obtenues par examen de la documentation; 3) des renseignements contenus dans des études scientifiques évaluées par les pairs. Il examine la biodiversité dans son sens large, en mettant un accent particulier sur les écosystèmes des lacs et des rivières. Sa portée est limitée, sans attention particulière accordée aux milieux humides. Le cas des Grands Lacs est étudié dans les rapports sur l'état des Grands Lacs (par exemple, Environnement Canada et U.S. Environmental Protection Agency, 2009), et le cas du lac Winnipeg est examiné dans le sommaire des éléments probants relativement aux constatations clés pour les plaines boréales et les renseignements de base supplémentaires (Secrétariat du RETE, 2011), alors ils ne sont pas traités dans le présent rapport. En cours de rédaction, il est devenu clair que toute conclusion tirée des données serait forcément limitée en raison du manque d'observations quantitatives et uniformes dans l'ensemble du pays en ce qui concerne les espèces aquatiques du Canada. Voilà pourquoi des données de substitution ont été utilisées, notamment sur les tendances relatives aux habitats, pour déterminer les tendances probables de la biodiversité. Ces tendances sont aussi examinées plus en détail dans les rapports propres aux écozones⁺ qui font partie du *Rapport sur l'état et les tendances des écosystèmes* (RETE). C'est avec ces données que nous avons tenté d'analyser les tendances principales dans les écosystèmes des lacs et des rivières, en étudiant les éléments suivants : 1) les espèces de poissons en péril; 2) les régimes hydrologiques; 3) l'englacement et la débâcle; 4) la perte et la fragmentation d'habitat; 5) les contaminants, les nutriments et l'acidification; 6) les climats futurs. Enfin, soulignons que le rapport s'appuie sur le cadre des écozones⁺ qui est employé pour les autres rapports de la même série. Cette précision a une incidence importante sur l'évaluation des tendances dans les écosystèmes d'eau douce, dont les limites ne correspondent pas aux limites géographiques des écozones⁺.

Lacs et rivières du Canada

Le Canada a une superficie de 9 984 670 km², soit 9 093 507 km² de terres et 891 163 km² d'eau (L'Atlas du Canada, 2004b). Ses frontières ceignent une masse continentale et, de ce fait, le pays renferme des climats bien différents les uns des autres. Cette diversité climatique, ainsi que la variation topographique importante et la modification considérable de l'environnement par l'humain ont influé fortement sur l'hydrologie du pays (Meteorological Survey of Canada, 2003). Les climats locaux et régionaux sont fortement influencés par l'interaction des vents d'ouest et les caractéristiques topographiques naturelles, qui comprennent de vastes chaînes de montagnes, de larges plaines et des bassins fluviaux importants (Meteorological Survey of Canada, 2003; Bonsal et Shabbar, 2011). Les précipitations annuelles vont de moins de 100 mm dans les régions sèches des îles de l'Arctique à plus de 4 000 mm dans les régions les plus

humides de la côte du Pacifique (L'Atlas du Canada, 2007b). En direction du nord depuis le sud, le climat continental fait place à un climat subarctique, puis à un climat arctique. En outre, une influence maritime secondaire joue sur le climat des côtes ouest et est, tandis que le pergélisol s'étend sur près de la moitié du territoire dans les latitudes moyennes et hautes (L'Atlas du Canada, 2004a).

Les lacs et les réservoirs peuvent constituer une source importante d'informations pour l'analyse des tendances, puisque les changements dans le niveau et la quantité d'eau reflètent l'impact du climat (Williamson *et al.*, 2009). Le Canada compte plus de deux millions de lacs qui, avec les rivières, couvrent près de 9 % de la superficie du pays (L'Atlas du Canada, 2004b). Plus de 900 000 lacs ont une superficie supérieure à 0,1 km², ce qui représente 37 % de la superficie des lacs du monde entier (Minns *et al.*, 2008); plus de 560 de ces lacs ont une superficie de plus de 100 km² (Tableau 1). Le groupe le plus important, celui des Grands Lacs, chevauche la frontière canado-américaine et représente 18 %, en volume d'eau, des lacs d'eau douce du monde entier (L'Atlas du Canada, 2007a). Étant fortement influencés par l'évolution géologique, les lacs les plus grands se trouvent pour la plupart dans le Bouclier canadien, les plaines intérieures et les basses-terres du Saint-Laurent. L'action des glaces a joué un rôle important dans la formation d'autres lacs, comme le Grand lac de l'Ours, le Grand lac des Esclaves, le lac Athabasca, le lac Winnipeg et les Grands Lacs. Le Tableau 1 présente un sommaire de la répartition des lacs dans l'ensemble du pays selon leur superficie.

Tableau 1. Nombre de lacs par région du Canada, selon la superficie (km²)

Région	Superficie (km ²)							Total
	3 - 99	100 - 199	200 - 399	400 - 999	1 000 – 2 499	2 500 – 9 999	10 000 – 36 000	
Provinces de l'Atlantique	1 761	19	5	4	1	2	0	1 792
Québec	8 182	49	27	12	5	0	0	8 275
Ontario	3 837	34	12	9	1	2	4	3 899
Provinces des Prairies	5 245	65	39	18	8	5	1	5 381
Colombie-Britannique	838	6	12	4	1	0	0	861
Territoires	11 328	108	60	35	8	3	2	11 544
Canada	31 191	281	155	82	24	12	7	31 752

Provinces de l'Atlantique : Nouveau-Brunswick, Île-du-Prince-Édouard, Nouvelle-Écosse et Terre-Neuve-et-Labrador.

Provinces des Prairies : Manitoba, Saskatchewan et Alberta.

Territoires : Nunavut, Territoires du Nord-Ouest et Yukon.

Source : Données fournies par Environnement Canada (1973) figurant dans l'Atlas du Canada (2008b)

Des 25 cours d'eau qui présentent le plus grand débit annuel en Amérique du Nord, 14 s'écoulent entièrement ou en partie au Canada (Benke et Cushing, 2005). Les cours d'eau canadiens se drainent dans cinq bassins versants océaniques principaux : ceux des océans Arctique, Pacifique et Atlantique, celui de la baie d'Hudson et celui du golfe du Mexique. Cela dit, près des trois quarts, représentant environ la moitié du débit annuel total (47,9 %),

s'écoulent vers le nord et se jettent dans l'océan Arctique ou dans la baie d'Hudson et la baie James (Déry et Wood, 2005). La plupart des cours d'eau canadiens présentent une variation saisonnière marquée de l'écoulement, et la plupart des crues sont associées à la fonte des neiges au printemps. Le débit varie aussi selon les régimes saisonniers des pluies. Dans les régions montagneuses, l'eau de fonte glaciaire maintient l'écoulement. Dans la plupart des rivières non modifiées, les étiages surviennent généralement à la fin de l'été en raison de la réduction des précipitations et de la hausse de l'évaporation, ou à la fin de l'hiver, lorsque les précipitations s'accumulent sous forme de glace et de neige.

Le suivi des tendances hydrologiques à l'échelle du pays est réalisé au moyen de l'analyse des données recueillies aux stations du vaste réseau hydrométrique des Relevés hydrologiques du Canada (voir aussi Shrubsole, 2000). Des séries chronologiques des données hydrologiques propres aux sites ont également été établies à l'aide de données paléoenvironnementales pour effectuer une analyse à long terme de l'incidence des changements climatiques. À titre d'exemple, une étude menée récemment par Wolfe *et al.* (2008) a permis d'extraire une série chronologique sur le niveau d'eau qui s'étend sur les mille dernières années pour le cours supérieur du fleuve Mackenzie. Selon des données paléoenvironnementales recueillies dans le delta Paix-Athabasca, il semble que le niveau d'eau du lac Athabasca reflète directement la disponibilité globale de l'eau. Les résultats révèlent des fluctuations systématiques du niveau d'eau du lac au fil du temps, indiquant une superficie maximale des glaciers au Petit Âge glaciaire (du XVIII^e au XX^e siècle) et une superficie minimale au XI^e siècle, qui était passablement plus chaud (Wolfe *et al.*, 2008). Dans ce contexte, les tendances hydrologiques récentes laissent croire à une baisse du niveau d'eau, l'apport des champs de neige en altitude et des glaciers continuant de diminuer. Par ailleurs, la forme des hydrogrammes annuels semble indiquer qu'il y a eu une variabilité importante des crues printanières au cours du Moyen Âge et des crues printanières tardives au Petit Âge glaciaire et au XX^e siècle (Wolfe *et al.*, 2008).

De plus en plus d'activités humaines représentent un danger pour les rivières du Canada (Environnement Canada, 2001; Environnement Canada, 2004). Il s'agit de la construction de barrages à des fins de maîtrise des crues ou de production d'énergie hydroélectrique (par exemple Poff *et al.*, 2007), de l'irrigation et de l'utilisation de l'eau par les municipalités (par exemple Fitzhugh et Richter, 2004), de la contamination chimique (par exemple Wan *et al.*, 2006; Smith *et al.*, 2007; Bordeleau *et al.*, 2008) ou de la dissémination d'espèces envahissantes non indigènes (par exemple Boyer *et al.*, 2008). L'incidence de ces activités est susceptible d'augmenter en raison des effets importants du réchauffement du climat, qui vont obliger à modifier l'infrastructure nationale pour s'y adapter. Les systèmes hydrologiques sont naturellement dynamiques (Milly *et al.*, 2008), comme en témoigne, par exemple, la variation des niveaux de pergélisol, laquelle provoque des changements dans le réseau hydrologique du Nord (Vallee et Payette, 2007). Étant donné ces changements dans les conditions de base, il est difficile de déceler les autres effets provoqués par les changements climatiques mondiaux (par exemple Rand *et al.*, 2006). Cependant, il est clair que les phénomènes naturels et les activités humaines peuvent nuire considérablement à la qualité et à la quantité de l'eau et influencer ainsi sur la diversité des habitats (par exemple Charron *et al.*, 2008). Composante de la biodiversité, la diversité des habitats influe fortement sur d'autres éléments, comme la diversité

des espèces et des gènes. Par conséquent, en l'absence de toute donnée historique découlant de la surveillance stratégique des espèces et/ou de la diversité génétique, un examen des changements de l'habitat même au fil du temps peut être utilisé comme substitut. Néanmoins, il faudrait effectuer une collecte systématique et stratégique de données de surveillance relatives aux autres éléments de la biodiversité, lesquelles sont insuffisantes à l'heure actuelle pour les écosystèmes d'eau douce au Canada, afin d'aborder ces éléments directement.

Association des lacs et des rivières aux écozones⁺

Le rapport porte sur les écosystèmes des rivières et des lacs dans l'ensemble du Canada. Pour analyser les écosystèmes d'eau douce, il est d'usage de se fonder sur les limites des bassins hydrologiques qui contiennent les réseaux hydrographiques de systèmes connexes. Un bassin hydrologique peut être défini comme le territoire permettant à l'eau de surface de s'écouler topographiquement vers un point particulier (p. ex. rivière, cours d'eau ou lac). Les principaux critères requis pour définir un bassin hydrologique sont la topographie et la présence d'un plan d'eau. Une écozone est définie en s'appuyant sur un ensemble de critères différents qui comprend le climat, les végétaux, les sols, les reliefs, les animaux et les caractéristiques des eaux, et suppose donc la prise en considération de la biodiversité. Selon la Figure 1, il est clair que les limites du bassin hydrologique (telles qu'elles sont définies par Environnement Canada, 2006c) et les délimitations de l'écozone⁺ terrestre utilisées dans le RETE ne sont pas contiguës dans l'espace. Dans un bassin hydrologique, il existe des variations dans les habitats et les communautés le long de gradients longitudinaux naturels. Le rapport est forcément structuré en fonction des écozones⁺, mais il faut se souvenir qu'une activité dans une écozone⁺ donnée d'un bassin hydrologique est influencée par les processus écologiques en amont, dans les écozones⁺ contiguës.

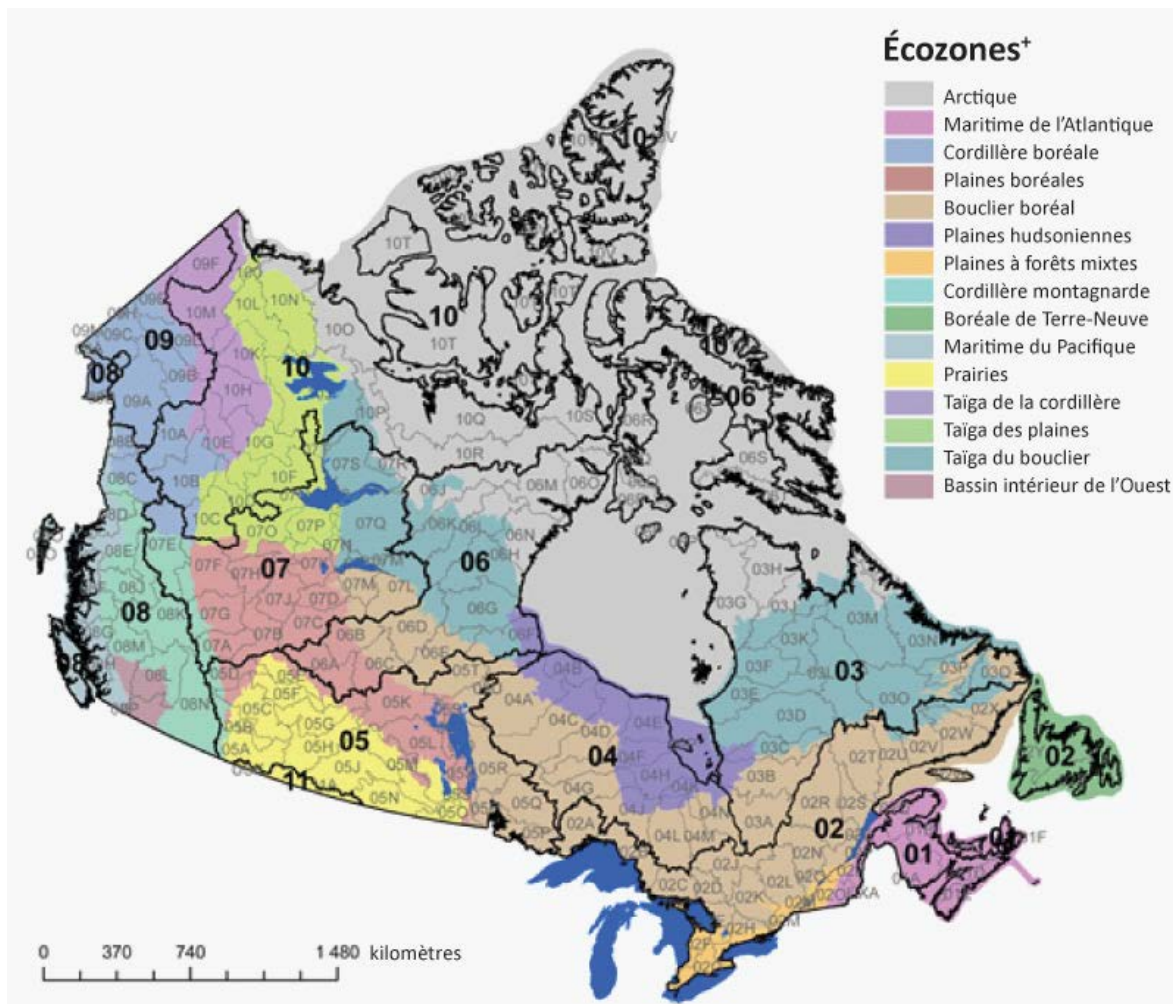


Figure 1. Écozones⁺ et principaux bassins hydrologiques définis par les Relevés hydrologiques du Canada
 Principales aires de drainage : 01 – Provinces maritimes; 02 – Saint-Laurent; 03 – Nord du Québec et Labrador; 04 – Sud-ouest de la baie d’Hudson; 05 – Fleuve Nelson; 06 – Ouest et nord de la baie d’Hudson; 07 – Grand lac des Esclaves; 08 – Pacifique; 09 – Fleuve Yukon; 10 – Arctique; 11 – Fleuve Mississippi

Les sous-aires de drainage sont en gris.

Source : Environnement Canada (2006c)

Les grands réseaux hydrographiques du Canada englobent un large éventail d’habitats et d’écosystèmes. Ils comprennent les espèces endémiques, de même que diverses caractéristiques hydrologiques et climatiques. Caractérisées par un écoulement élevé, se drainant vers l’ouest dans le bassin versant du Pacifique pour se jeter dans l’océan, la plupart des rivières de la côte du Pacifique prennent leur source en haute altitude dans plusieurs chaînes de montagnes, et leurs bassins récepteurs présentent un relief très prononcé (Richardson et Milner, 2005). À titre d’exemple, le fleuve Fraser est le cinquième cours d’eau au Canada par sa longueur; il coule sur 1 400 km depuis ses eaux d’amont au parc provincial du Mont-Robson jusqu’à son embouchure à Vancouver, sur la côte du Pacifique, et passe par l’écozone⁺ de la cordillère montagnarde et l’écozone maritime du Pacifique (Abell *et al.*, 2000; Burridge et Mandrak, 2009a). Les rivières de

l'écozone⁺ de la cordillère montagnarde, de l'écozone⁺ de la cordillère boréale et de l'écozone⁺ maritime du Pacifique présentent un écoulement annuel élevé, tant vers l'ouest et les régions côtières que vers l'est et les écozones⁺ des prairies (vers le sud), des plaines boréales et de la taïga des plaines (vers le nord) (Environnement Canada, 2010a). L'écoulement des rivières dans les montagnes des régions côtières dépasse souvent 3 000 mm par année, alors que l'écoulement moyen se chiffre à moins de 200 mm par année dans les Prairies, où le climat est plus sec (Environnement Canada, 2010a). Classifié comme un habitat dulcicole tempéré de zone sèche, le bassin versant du fleuve Nelson compte plusieurs grandes rivières dont le fleuve Churchill, le fleuve Nelson et la rivière Saskatchewan, ainsi que de nombreux lacs interconnectés (Abell *et al.*, 2000). Le fleuve Nelson, par exemple, coule sur plus de 3 000 km avant de se jeter dans la baie d'Hudson; il couvre une superficie de plus d'un million de kilomètres carrés de l'intérieur de l'Amérique du Nord – 892 300 km² au Canada et 180 000 km² aux États-Unis (Rosenberg *et al.*, 2005). L'habitat dans cette région comporte des rivières méandriques à faible débit qui traversent de larges vallées reliées les unes aux autres. La diversité des espèces de poissons d'eau douce y est faible; certaines espèces introduites semblent être responsables de la diminution des populations de plusieurs espèces indigènes.

Plus à l'est, jusqu'aux Grands Lacs, l'écoulement annuel varie de 100 mm dans le nord-ouest à 800 mm dans le sud-est; il dépasse même 1 000 mm le long de la côte de l'Atlantique (Environnement Canada, 2010a). C'est dans les Grands Lacs, de même que dans le sud de la baie d'Hudson, que se trouve la plus grande diversité d'espèces de poissons d'eau douce; 87 espèces y ont été recensées, y compris 18 espèces diadromes dans le cours principal du fleuve Saint-Laurent seulement (Thorp *et al.*, 2005). À titre d'exemple, l'écozone⁺ des plaines à forêts mixtes renferme des milieux humides importants dans la région à forte densité de population du sud de l'Ontario et du sud du Québec. Le climat y est fortement influencé par les Grands Lacs, lesquels engendrent un climat continental ou continental modifié. Nombre de ruisseaux, de rivières, de lacs, de sources, d'étangs alimentés par une source et de milieux humides se trouvent à l'intérieur et près de cette écozone⁺, l'écoulement annuel allant de 200 mm dans le sud-ouest à plus de 600 mm dans le nord-est (Thorp *et al.*, 2005; Environnement Canada, 2010a). Toutefois, au fil de son histoire, cette région a subi l'influence considérable de l'urbanisation, y compris le développement de plusieurs grandes villes (Abell *et al.*, 2000; World Wildlife Fund et The Nature Conservancy, 2008a). Entourées du Bouclier canadien, les eaux des milieux humides étendus de l'écozone⁺ des plaines hudsoniennes s'écoulent vers le nord et se jettent dans la baie d'Hudson et la baie James.

Toujours plus à l'est, vers la côte de l'Atlantique, l'écoulement augmente de façon considérable, allant de 600 mm annuellement dans l'ouest de l'écozone⁺ maritime de l'Atlantique à plus de 2 000 mm sur la côte de l'Atlantique (Burridge et Mandrak, 2009b; Burridge et Mandrak, 2009c; Burridge et Mandrak, 2009d; Environnement Canada, 2010a). Coulant vers l'océan Atlantique à travers une couverture forestière étendue qui comporte de nombreux plans d'eau intérieurs (Cunjak et Newbury, 2005), le réseau hydrographique de la rivière Saint-Jean est le plus important dans l'écozone⁺ maritime de l'Atlantique (Burridge et Mandrak, 2009c). Dans cette écozone⁺, plusieurs rivières, dont la rivière Ste-Croix et le cours supérieur de la Ristigouche au Nouveau-Brunswick ainsi que la rivière Hillsborough et le bassin Three Rivers à

l'Île-du-Prince-Édouard, sont reconnues comme rivières du patrimoine canadien (Burrige et Mandrak, 2009b; Burrige et Mandrak, 2009c). L'écozone⁺ compte aussi plusieurs petits lacs, le plus vaste étant le Grand Lac, au Nouveau-Brunswick. La diversité des poissons d'eau douce dans l'écozone⁺ maritime de l'Atlantique est relativement faible; les poissons d'eau douce qui présentent une certaine résistance à l'eau salée dominant, comme l'esturgeon (*Acipenser* spp.), l'anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*), le fondule (*Fundulus* spp.) et l'éperlan (*Osmeridae*). Par ailleurs, il y a d'importants sites de nidification du balbuzard pêcheur (*Pandion haliaetus*) et du fuligule à collier (*Aythya collaris*) (Burrige et Mandrak, 2009b; Burrige et Mandrak, 2009c; Burrige et Mandrak, 2009d).

L'écozone⁺ de la forêt boréale de Terre-Neuve présente un climat maritime et une faible diversité en ce qui concerne les poissons d'eau douce. Les rivières Main et Bay du Nord sont des rivières du patrimoine canadien (Burrige et Mandrak, 2009b). Bon nombre des espèces d'eau douce présentes dans cette région sont tolérantes à l'eau salée et diadromes; c'est notamment le cas de l'alose (*Alosa* spp.) et du saumon atlantique (*Salmo salar*). Parmi les rivières principales qui s'écoulent dans l'écozone⁺, mentionnons les rivières Exploits, Gander, Humber et Main. La région comprend aussi de nombreux lacs glaciaires en forme de doigt (Burrige et Mandrak, 2009b).

Il existe peu de données sur l'écoulement dans la région du Haut-Arctique de l'écozone⁺ de l'archipel Arctique, où les précipitations sont très faibles (de 100 à 200 mm par année) (Environnement Canada, 2010a). L'écoulement du secteur de la cordillère arctique de l'écozone⁺ de l'archipel Arctique est encore moins bien connu. Il s'agit d'une région glaciaire et montagneuse qui renferme le bassin versant de l'Arctique en plus d'une partie de l'aire de drainage du nord du Québec et du Labrador. La diversité des poissons d'eau douce y est parmi les plus faibles en Amérique du Nord. La région est dépourvue d'espèces endémiques connues (Abell *et al.*, 2000; World Wildlife Fund et The Nature Conservancy, 2008a).

Dans un bassin de 839 200 km² qui est le septième en Amérique du Nord par sa superficie (Bailey, 2005), la région du fleuve Yukon se caractérise par un mélange de conditions de zone subarctique et de toundra et draine une partie de l'Alaska et des écozones⁺ de la cordillère boréale et de la taïga de la cordillère, ainsi qu'une petite partie de l'écozone⁺ maritime du Pacifique. Le tronçon de trente milles du fleuve, en plus d'être l'un des cours d'eau à saumons les plus importants du monde, est reconnu comme rivière du patrimoine canadien (Abell *et al.*, 2000; World Wildlife Fund et The Nature Conservancy, 2008a). Étant donné qu'il n'y a aucune espèce de poissons d'eau douce endémique et que seulement 30 espèces de poissons y ont été recensées, la diversité du poisson est relativement faible (Bailey, 2005).

Le fleuve Mackenzie s'écoule dans le plus grand bassin fluvial du Canada, drainant une superficie de près de 1 800 000 km², soit 20 % du territoire du pays (Culp *et al.*, 2005). Le réseau comprend plusieurs cours d'eau importants, dont les rivières Athabasca, de la Paix, Liard, des Esclaves, Arctic Red et Peel et aboutit dans le delta du Mackenzie (L'Atlas du Canada, 2008a; L'Atlas du Canada, 2008b). De plus, le réseau compte deux grands deltas intérieurs (delta Paix-Athabasca et delta de la rivière des Esclaves) ainsi que trois très grands lacs (Athabasca, Grand lac des Esclaves et Grand lac de l'Ours) (Culp *et al.*, 2005). Le fleuve Mackenzie compte

34 espèces de poissons en son cours principal, et 52 espèces ont été recensées dans l'ensemble du bassin (Culp *et al.*, 2005).

Répercussions globales sur la biodiversité aquatique

Le débit des rivières et le niveau d'eau des lacs sont régis par le climat et les ouvrages de régularisation des bassins et varient considérablement en fonction du temps et du lieu. Ces régimes hydrologiques dépendent en partie des dimensions des lacs et des rivières, mais sont également influencés, entre autres, par des facteurs géologiques et topographiques (Poff *et al.*, 1997). Les conditions environnementales locales déterminent les taux de changement et d'autres aspects de la variabilité de l'écoulement, y compris les configurations saisonnières d'écoulement et le moment, la fréquence, la prévisibilité et la durée des événements extrêmes tels que les inondations et les sécheresses (Richter *et al.*, 1996; Poff *et al.*, 1997). Les régimes hydrologiques qui en résultent touchent directement les caractéristiques de l'écosystème des rivières et des lacs, comme la nature physique des habitats lacustres et des cours d'eau, les régimes sédimentaires et les conditions dominantes de qualité de l'eau, lesquelles influent sur les processus des écosystèmes aquatiques importants. La variabilité hydrologique influe sur la structure des habitats aquatiques et la composition des communautés écologiques, y compris le plancton, les végétaux, les macro-invertébrés benthiques (par exemple Monk *et al.*, 2008) et les vertébrés, comme les poissons, les amphibiens, les reptiles, les oiseaux et les mammifères.

La variabilité du climat exerce des effets directs et indirects sur les communautés aquatiques, car elle influe sur le moment, la durée, l'ampleur et le caractère soudain des changements de l'écoulement, modifie le régime de température de l'eau et l'hydrochimie et entraîne des changements géomorphologiques. En outre, la disponibilité des ressources locales, y compris les possibilités d'expansion, le maintien de l'hétérogénéité et de la connectivité des habitats, les interactions biotiques, la capacité génétique globale et le potentiel d'adaptation déterminent la richesse, la biodiversité, l'étendue et l'aire de répartition des espèces, et ce, dans les limites des connaissances actuelles (voir Wrona *et al.*, 2005 pour des exemples dans les systèmes arctiques).

Le manque de données couplées à long terme, recueillies à grande échelle et normalisées constitue l'un des principaux obstacles à la compréhension et à la gestion des liens entre la variabilité hydrologique et la structure/biodiversité des communautés aquatiques. Les données de biodiversité à long terme sont souvent disponibles à l'échelle locale seulement. Selon les données provenant de Abell *et al.* (2000) ainsi que de Scott et Crossman (1998), Abell *et al.* (2008) ont désigné 21 écorégions d'eau douce au Canada en se fondant sur la similitude de la faune de 166 bassins hydrographiques secondaires, résultats obtenus grâce à une analyse typologique de la présence de poissons d'eau douce dans ces bassins. Dans cette étude, les écorégions d'eau douce du Canada ont été classées selon six types d'habitat : 1) grands lacs, comme la région des Grands Lacs; 2) deltas de grandes rivières, comme le cours supérieur du Mackenzie; 3) eaux douces polaires, comme celles de la région côtière de l'Arctique; 4) rivières et milieux humides tempérés des plaines d'inondation, comme la région du fleuve Saint-Laurent; 5) rivières côtières tempérées, comme la région de drainage du Pacifique; 6) rivières des hautes terres tempérées, comme le cours supérieur de la rivière Saskatchewan. Les analyses ont montré que la diversité des espèces de poissons d'eau douce est relativement faible au Canada, sauf dans la région des

Grands Lacs. Le site Web d'accompagnement fournit plus d'informations sur l'étude en question (voir <http://www.feow.org> site hébergé par World Wildlife Fund et The Nature Conservancy, 2008a). Dans l'une des analyses, les auteurs ont tenté de quantifier le stress hydrique sur les lacs et les rivières. Conclusion : de façon générale, le stress exercé sur les lacs et les rivières du Canada est très faible (Figure 2). Toutefois, il faut noter que ces auteurs ont associé l'indice de stress hydrique à l'utilisation de l'eau par l'humain, et que les besoins des écosystèmes n'ont pas été pris en considération. La superposition des écozones⁺ révèle qu'il peut y avoir des effets hydrologiques dans certains systèmes d'eau douce des écozones⁺ du bouclier boréal, des plaines boréales, des prairies et des plaines à forêts mixtes, dont 30 % à 50 % de la couverture terrestre a été convertie à des fins d'utilisation humaine⁶ (World Wildlife Fund et The Nature Conservancy, 2008b).

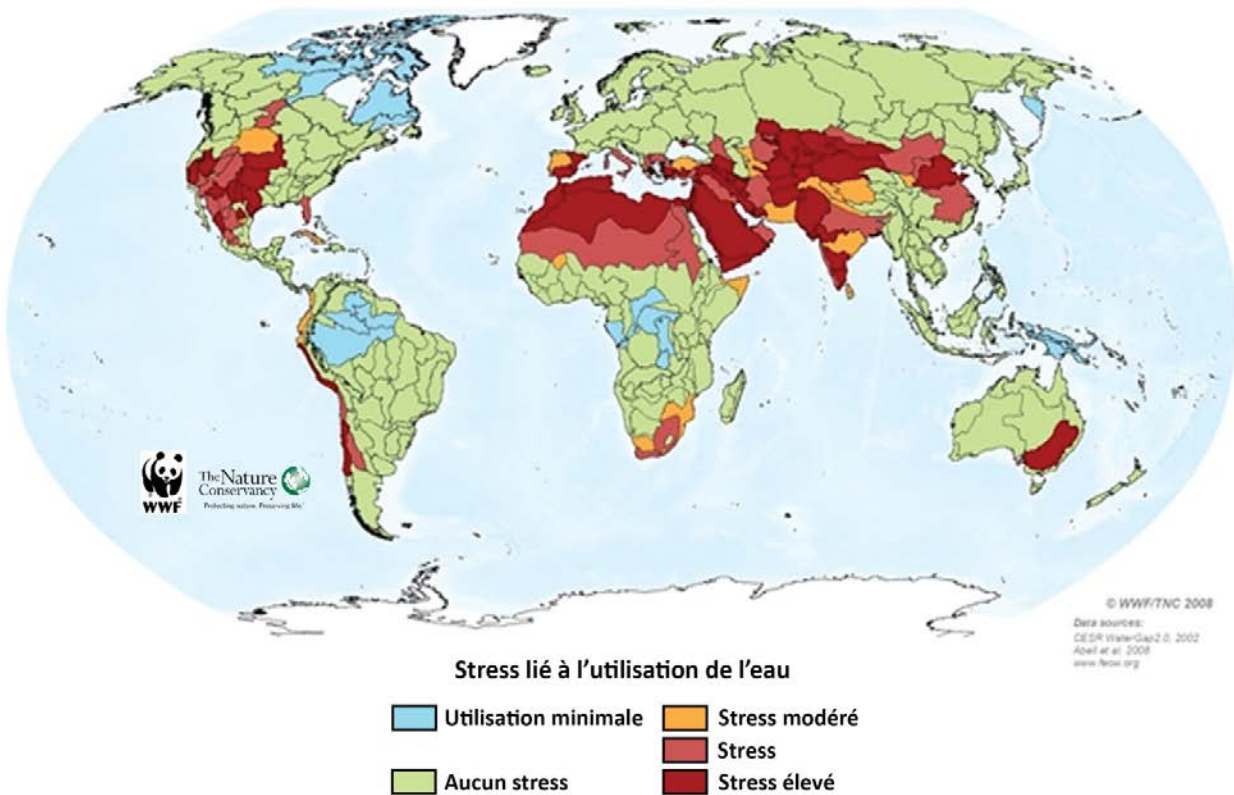


Figure 2. Stress lié à l'utilisation de l'eau dans le monde

Source : Fonds mondial pour la nature et The Nature Conservancy (2008b), valeur calculée à partir des données fournies par WaterGAP. Information consultée le 21 février 2009. Droit d'auteur © 2008 détenu par The Nature Conservancy et le Fonds mondial pour la nature, 2008. Tous droits réservés.

⁶ Les terres converties englobent les zones cultivées et aménagées, les mosaïques de terres cultivées, et les surfaces artificielles et les secteurs associés. L'analyse des terres converties est fournie selon l'écorégion d'eau douce. Les écozones⁺ qui renferment ces écorégions sont indiquées dans le texte.

TENDANCES CHEZ LES POISSONS D'EAU DOUCE D'INTÉRÊT PARTICULIER

Les pressions environnementales et anthropiques ont fait en sorte que plus de 20 % des espèces de poissons d'eau douce de la planète sont disparues ou sont devenues en voie de disparition ou menacées au cours des dernières décennies – certaines analyses révèlent même que cette proportion représente une sous-estimation (par exemple Bräutigam, 1999). La présente section traite principalement des espèces de poissons d'eau douce, et la portée de celle-ci est nécessairement limitée en raison de l'absence générale de données recueillies ou observées régulièrement dans tout le pays en ce qui concerne l'ensemble des taxons, y compris les poissons, et d'un manque global de données nationales concernant les taxons ne correspondant pas aux poissons. En septembre 2010, le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC) avait désigné 18 % (35 espèces) des poissons d'eau douce et diadromes comme des espèces en voie de disparition ou menacées dans l'ensemble ou dans des parties de leur aire de répartition. Cinquante-huit espèces (29 %) ont été désignées comme étant en péril, ce qui comprend les espèces disparues du Canada et les espèces préoccupantes, de même que les espèces en voie de disparition ou menacées (Hutchings et Festa-Bianchet, 2009; Hutchings, 2010; COSEPAC, 2010b). Une compilation réalisée en 2008 des espèces de poissons d'eau douce et diadromes en péril en Amérique du Nord a révélé que 89 % avaient un statut de conservation semblable ou pire en 2008 par rapport à une étude de 1989 examinant le même ensemble de données (Jelks *et al.*, 2008). Dans les écorégions d'eau douce du Canada, le nombre de taxons de poissons en danger a augmenté, passant de 12 en 1979 à 22 en 1989, puis à 62 en 2008 (Figure 3). La détérioration de l'habitat et l'introduction d'espèces ont été ciblées comme étant les principaux dangers pour bon nombre d'espèces, dont plusieurs ont des aires de répartition limitées (Jelks *et al.*, 2008).

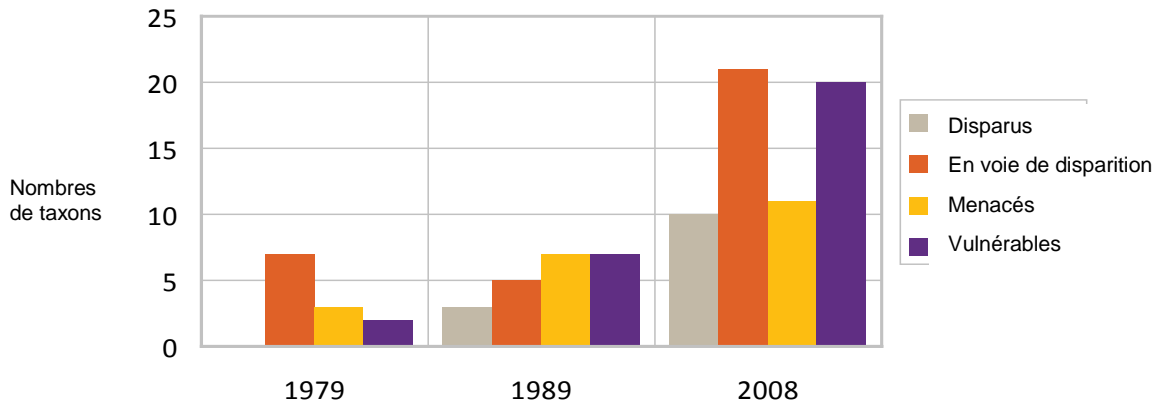


Figure 3. Nombre de taxons de poissons d'eau douce et diadromes en péril dans les écorégions d'eau douce nord-américaines situées au Canada, en 1979, 1989 et 2008

Le terme « taxon » (« taxa » ou « taxons » au pluriel) est employé au lieu du terme « espèce », car la liste a été mise à jour pour y ajouter les divisions régionales et le niveau taxinomique pertinent (p. ex. taxons du genre). Les listes antérieures pouvaient ne pas tenir compte des taxons à risque parce qu'elles ne comprenaient pas toutes les unités pertinentes, et mettaient plutôt l'accent sur les espèces reconnues sur le plan taxinomique. Les définitions des catégories de statuts diffèrent légèrement de celles du COSEPAC et sont décrites dans Jelks et al. (2008)

Source: Figure adaptée de l'étude de Jelks et al. (2008)

Chu *et al.* (2003) ont étudié la biodiversité des poissons d'eau douce au Canada relativement à des paramètres d'environnement et de stress. Malgré un manque de données récentes, les résultats indiquent que les stress anthropiques et les introductions d'espèces associées (introductions accidentelles ou volontaires) constituent la cause principale de l'extinction et de la disparition au pays. De plus, les auteurs ont constaté que les effets de la surexploitation des stocks halieutiques, effets pour la plupart non mesurés, de même que l'incidence considérable que risquent d'avoir les futurs changements climatiques ne feront qu'intensifier ces pressions anthropiques. Aux fins du présent document, des rapports du COSEPAC (2010a) ont été examinés pour évaluer les menaces qui entraînent la diminution des espèces de poissons d'eau douce au Canada. Les résultats révèlent que la dégradation et la perte d'habitat, l'introduction d'espèces, l'envasement, les barrages, les retenues et le développement urbain, agricole et industriel constituent les principaux dangers pour les poissons d'eau douce au Canada. Parmi les autres menaces cernées dans la documentation, citons l'extraction d'eau, la surexploitation, les effets des pluies acides, la modification des chenaux et les contaminants. Six exemples d'espèces de poissons d'eau douce répertoriées par la *Loi sur les espèces en péril* et évaluées par le COSEPAC ont été retenus pour fournir de l'information concernant l'incidence des dangers anthropiques pour les poissons d'eau douce. Ces espèces ont été choisies pour représenter les différents exemples d'effets sur les communautés aquatiques dans l'ensemble du Canada. Des populations de saumons atlantiques (intérieur de la baie de Fundy et lac Ontario), de fondules barrés, de saumons coho (fleuve Fraser), de chevaliers de rivière et d'esturgeons blancs ont été sélectionnées comme exemples de communautés de poissons en péril qui sont touchées par les modifications anthropiques et naturelles de l'habitat (y compris la fragmentation de l'habitat et la variabilité du climat), la surexploitation et la dissémination d'espèces envahissantes.

Population de saumons atlantiques de l'intérieur de la baie de Fundy

Dans l'écozone⁺ maritime de l'Atlantique, la population de saumons atlantiques (*Salmo salar*) de l'intérieur de la baie de Fundy a été désignée en voie de disparition (COSEPAC, 2006b; COSEPAC, 2010c). Dans cette région, un large éventail d'activités humaines, comme la construction de barrages, la surpêche, la surexploitation et les activités polluantes, posent un danger constant pour les populations de saumons atlantiques, et ce, depuis le XVII^e siècle. Présente au Nouveau-Brunswick, en Nouvelle-Écosse et dans l'océan Atlantique, la population a sans doute déjà compté plus de 40 000 adultes. En revanche, l'estimation du frai d'automne en 2003 était de moins de 100 adultes dans les 32 rivières historiquement peuplées (COSEPAC, 2006b), et selon l'estimation de 2008, le nombre total de saumons sauvages est de moins de 200 (COSEPAC, 2010c). L'étude des rivières individuelles de l'intérieur de la baie de Fundy révèle des tendances similaires. À titre d'exemple, le nombre de retours dans la rivière Big Salmon a fortement diminué (de plus de 96,7 %) sur une période de 30 ans, passant d'un maximum de 5 043 (intervalle de confiance bayésien à 80 % = de 3 996 à 6 686) en 1966 à environ 55 (intervalle de confiance bayésien à 80 % = de 18 à 133) en 2002 (COSEPAC, 2006b). Les données historiques sur les pêches commerciales de 1975 à 1984 témoignent de la baisse importante de la prise de saumons atlantiques de l'intérieur de la baie de Fundy. Malgré la variabilité interannuelle élevée, la tendance à la baisse est claire : les débarquements de saumons étaient élevés entre 1875 et 1924, plus faibles entre 1925 et 1973, et la période de 1974 à 1985 (année de fermeture de la pêche) présentait les débarquements les plus faibles (Figure 4). Bien que les raisons pour lesquelles une telle baisse de la population est survenue ne soient pas parfaitement comprises, certains croient qu'il y a eu une réduction du taux de survie entre le stade de saumoneau et le stade adulte dans les eaux marines, ce qui peut être dû aux changements dans les communautés découlant des interactions accrues avec les saumons d'élevage, aux changements environnementaux (hausse de la température de l'eau) et aux pêches (COSEPAC, 2006b). En outre, une perte et une dégradation de l'habitat (notamment en raison de l'exploitation forestière et des barrières à la migration) ont été constatées au fil du temps (COSEPAC, 2006b). Pour obtenir de plus amples renseignements, voir l'évaluation de l'état et des tendances de l'écozone⁺ maritime de l'Atlantique (Eaton, 2013).

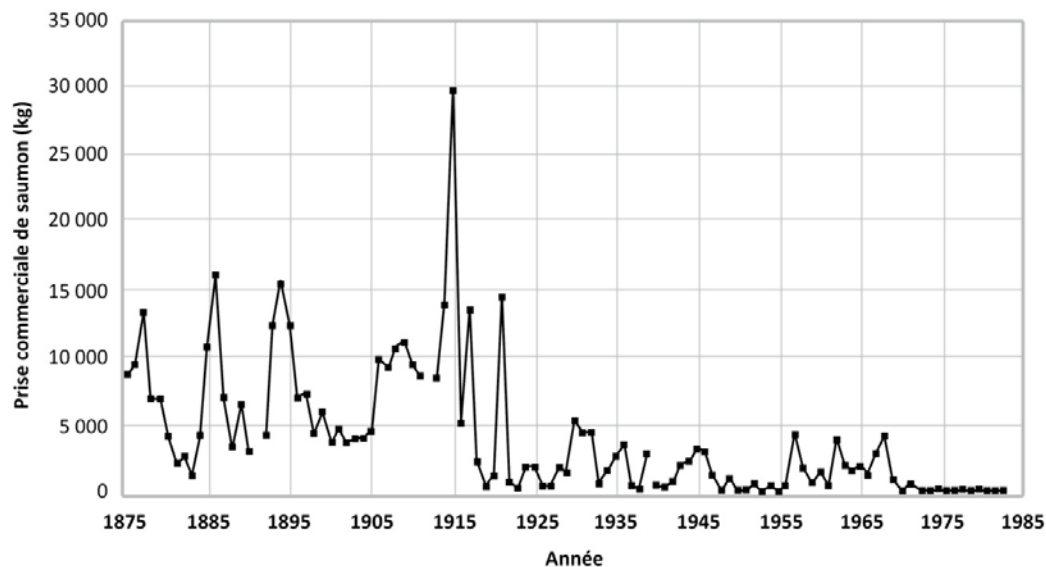


Figure 4.

Source : R.W. Dunfield – communication personnelle à P. Amiro, Pêches et Océans Canada, Institut océanographique de Bedford (citation du COSEPAC) (2006b)

Population de saumons atlantiques du lac Ontario

En 2006, le COSEPAC a déterminé que la population de saumons atlantiques du lac Ontario était disparue du Canada (COSEPAC, 2006c). Selon les données historiques, une diminution marquée a commencé au milieu du XIX^e siècle et aucun saumon atlantique sauvage n'a été vu dans le bassin versant après 1898. Cette baisse de la population était sans doute due à la destruction de l'habitat et à la surexploitation qui ont suivi la colonisation du Haut-Canada à la fin du XVIII^e siècle (COSEPAC, 2006c). Malgré les récents efforts visant à rétablir l'habitat, les tentatives de repeuplement ont échoué, en partie en raison des effets directs et indirects de l'urbanisation (y compris la pollution, la canalisation et la perte d'habitat) dans la région du Grand Toronto (COSEPAC, 2006c).

Fondule barré

Dans l'écozone⁺ de la forêt boréale de Terre-Neuve, le fondule barré (*Fundulus diaphanus*) est considéré comme étant une espèce préoccupante (COSEPAC, 2003b). Même si son aire de répartition s'étend dans l'ensemble de l'Amérique du Nord, la population de Terre-Neuve-et-Labrador est menacée, car ses mouvements et l'expansion de son aire de répartition sont limités par des fortes pentes et des habitats infranchissables et en raison des risques associés à l'exploitation forestière future (COSEPAC, 2003b).

Saumon coho de l'intérieur du Fraser

Le saumon coho de l'intérieur du Fraser (*Oncorhynchus kisutch*) est une population génétiquement distincte de saumons coho qui fraie et croît dans la partie intérieure du bassin hydrographique du fleuve Fraser, au nord de Hope (Colombie-Britannique). De 1975 à 2011, les échappées du saumon coho de l'intérieur du Fraser ont diminué de 72 % (Decker et Irvine,

2013), les baisses les plus importantes (au-delà de 60 %) ayant été observées de 1990 à 2000 (Figure 5) (COSEPAC, 2002). De 1975 à 1988, le nombre moyen de géniteurs était de 60 000, tandis qu'en 1996, seulement 9 000 géniteurs ont regagné le fleuve, soit le nombre le plus bas jamais enregistré (Decker et Irvine, 2013).

Cette population a été désignée comme étant en voie de disparition par le COSEPAC en 2002. Son comportement et ses habitudes migratoires la rendent vulnérable aux effets naturels et anthropiques (COSEPAC, 2002). Les baisses survenues dans les années 1990 ont été attribuées au déclin de la survie en mer exacerbé par la surpêche, mais les échappées sont demeurées faibles dans les années 2000 comparativement aux niveaux avant 1991 (Decker et Irvine, 2013). Pendant quatre années durant la période de 2001 à 2011, la production des géniteurs regagnant le fleuve était inférieure aux niveaux de remplacement, même en l'absence de pêche (Decker et Irvine, 2013). Toutefois, le nombre moyen d'échappées de 2009 à 2011 était estimé à 27 000, indiquant qu'un certain rétablissement a eu lieu (Decker et Irvine, 2013). En général, les échappées ont augmenté graduellement dans l'ensemble des cinq unités de conservation qui forment l'aire de répartition du saumon coho de l'intérieur du Fraser, à l'exception de l'unité de conservation du cours inférieur de la rivière Thompson qui a connu une plus grande augmentation des échappées de 72 % et de l'unité de conservation du canyon du Fraser qui a connu une baisse de 58 % des échappées (Figure 6) (Decker et Irvine, 2013). Les principales menaces à la survie à long terme du saumon coho de l'intérieur du Fraser sont encore la pêche et les perturbations de l'habitat, ainsi que les changements climatiques (Decker et Irvine, 2013).

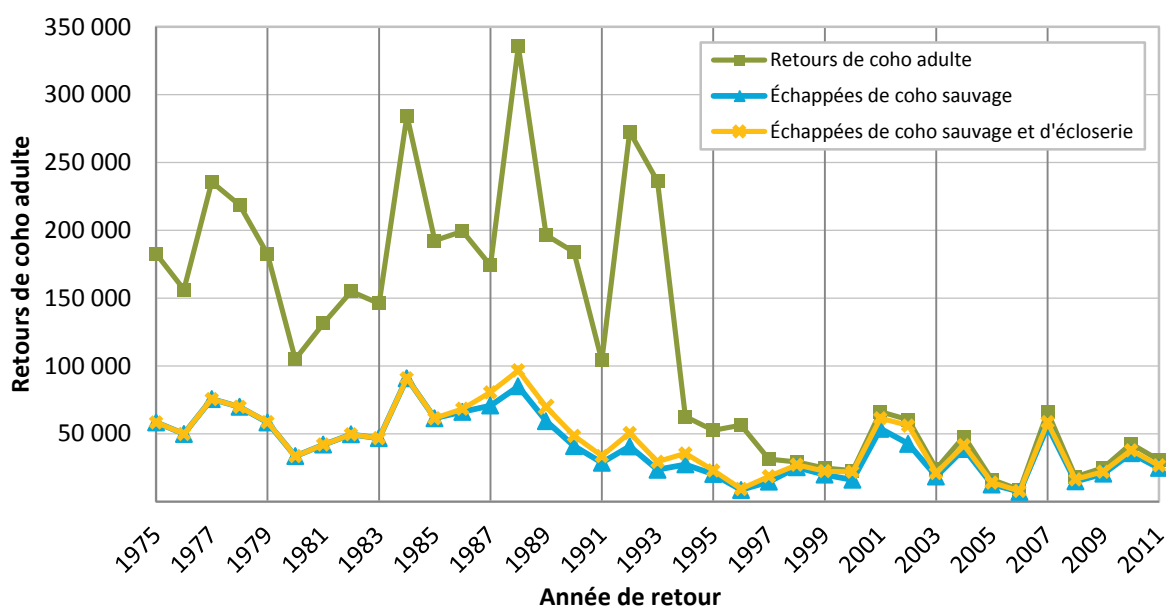


Figure 5. Série chronologique reconstituée des échappées de saumons coho sauvages, nombre total d'échappées (poissons sauvages et poissons d'écloserie) et nombre total de retours (échappées et prises) pour le bassin hydrographique de l'intérieur du Fraser, de 1975 à 2011
 Source : Données tirées de Decker et Irvine (2013)

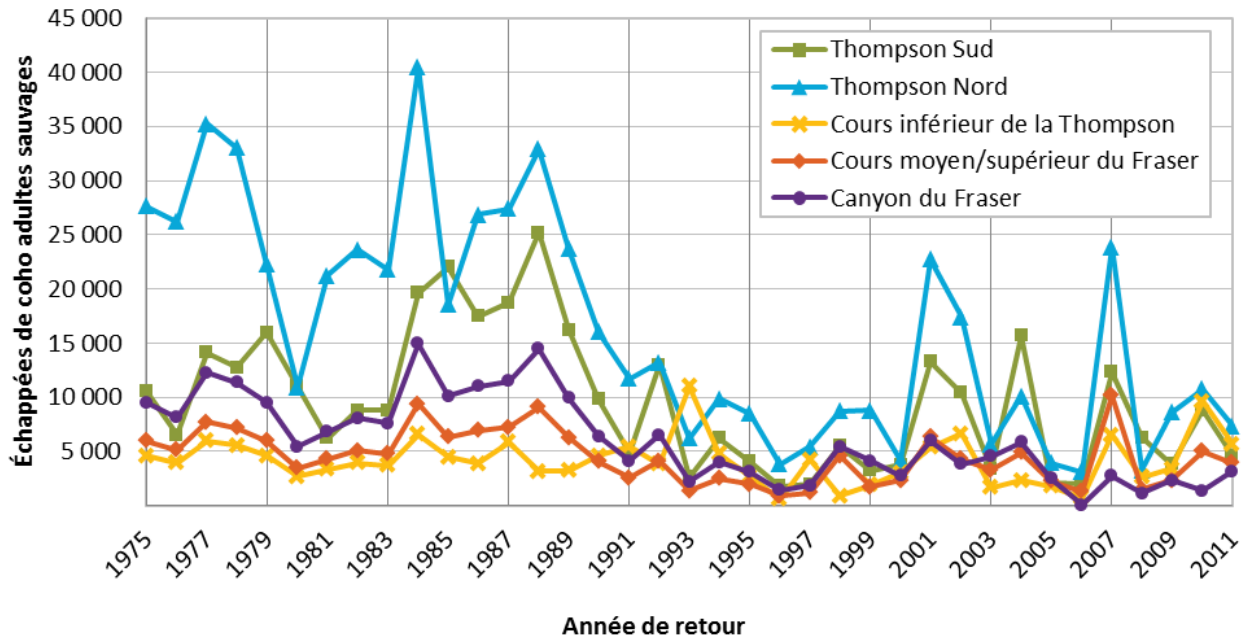


Figure 6. Série chronologique reconstituée des échappées de saumons coho sauvages pour les cinq unités de conservation dans le bassin hydrographique de l'intérieur du Fraser, de 1975 à 2011. Les données pour l'unité de conservation du cours inférieur de la Thompson avant 1984 et pour les unités de conservation des cours moyen et supérieur du Fraser ainsi que du canyon du Fraser avant 1998 sont extrapolées en se fondant sur les échappées observées pour les autres unités. Les taux d'exploitation de 1975 à 1985 sont la moyenne des estimations pour la période de 1986 à 1996. Pour obtenir plus de détails, voir Decker et Irvine (2013).
 Source : Données tirées de Decker et Irvine (2013)

Chevalier de rivière

La population canadienne du chevalier de rivière (*Moxostoma carinatum*), dont l'aire de répartition comprend des secteurs du sud de l'Ontario et du Québec, est menacée par la dégradation de l'habitat (p. ex. pollution et envasement) et sa fragmentation et par la régulation du débit des cours d'eau par les barrages (COSEPAC, 2006a). Considérée comme préoccupante par le COSEPAC, cette espèce est disparue des rivières Ausable, Châteauguay, Noire et Yamaska, mais elle était toujours présente dans les rivières Mississippi, des Outaouais et Richelieu en 2004 (COSEPAC, 2006a). Dans les années 1940, le chevalier de rivière était une espèce courante dans le fleuve Saint-Laurent, mais la population a connu une baisse importante dans ce système en raison de la fragmentation associée aux dérivations et à la construction de barrages (COSEPAC, 2006a).

Esturgeon blanc

L'esturgeon blanc (*Acipenser transmontanus*), le plus grand poisson d'eau douce au Canada, est limité à la côte ouest de l'Amérique du Nord (Welch *et al.*, 2006). Sa taille (une longueur pouvant atteindre six mètres), sa longévité (plus de 100 ans) et son âge de maturité tardif (entre 14 et 30 ans) le rendent particulièrement vulnérable à la surexploitation et à la dégradation de l'habitat (COSEPAC, 2003a). Les populations d'esturgeons blancs ont diminué

considérablement au Canada au cours du siècle dernier (COSEPAC, 2003a). Parmi les six populations d'esturgeons blancs de la Colombie-Britannique, trois sont en déclin (Columbia, Kootenay et Nechako), une est actuellement plus stable avec certaines fluctuations (cours inférieur du Fraser) et deux sont stables (cours moyen du Fraser et cours supérieur du Fraser) (COSEPAC, 2003a; McAdam, 2009, comm. pers.).

Le faible taux de survie des jeunes, lié aux détournements de rivières, les changements dans la quantité et la qualité des sédiments, et la régulation du débit d'eau associée aux barrages constituent les principales raisons de la mise en péril des trois populations en déclin (COSEPAC, 2003a; McAdam *et al.*, 2005). Ces populations en déclin devraient diminuer de plus de 83 % au cours de la prochaine génération, malgré les efforts de conservation (qui comprennent le frai de poissons d'élevage et la libération des juvéniles) déployés en vue d'atténuer ce déclin (COSEPAC, 2003a). La production de juvéniles (ou recrutement) de la population de la rivière Nechako illustre cette tendance (Figure 7). Une hypothèse visant à expliquer l'échec du recrutement de la population de la rivière Nechako est que ce dernier soit le résultat de substrats modifiés dans la rivière, particulièrement à la suite de deux phénomènes de glissement de terrain durant lesquels un million de mètres cubes de limon, de sable et de gravier fin se sont ajoutés au canal principal – plus ou moins la moitié de ces matériaux se sont déplacés en aval ultérieurement (McAdam *et al.*, 2005).

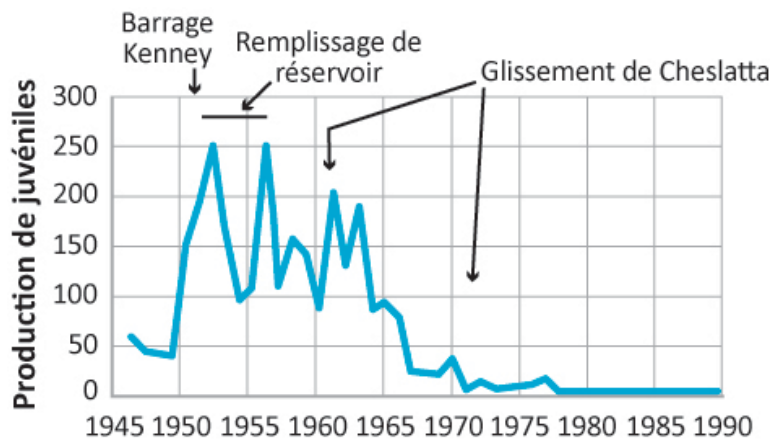


Figure 7. Production de juvéniles d'esturgeons blancs, populations de la rivière Nechako, de 1945 à 1990. Estimation fondée sur les données concernant la composition par âge recueillies de 1995 à 1999. Source : McAdam *et al.* (2005)

TENDANCES DES RÉGIMES HYDROLOGIQUES

Les Relevés hydrologiques du Canada coordonnent la base de données nationale, HYDAT (Environnement Canada, 2006b), qui, depuis 2006, contient des renseignements hydrométriques nationaux pour plus de 2 500 stations de surveillance actives du débit et du niveau d'eau et plus de 5 500 autres stations abandonnées situées sur les lacs, les rivières et les cours d'eau partout au Canada. La plupart des stations se trouvent dans la moitié sud du pays, près des centres de

population et de développement – dans le nord, il existe moins de stations et moins de données sur plusieurs années consécutives (Figure 8).

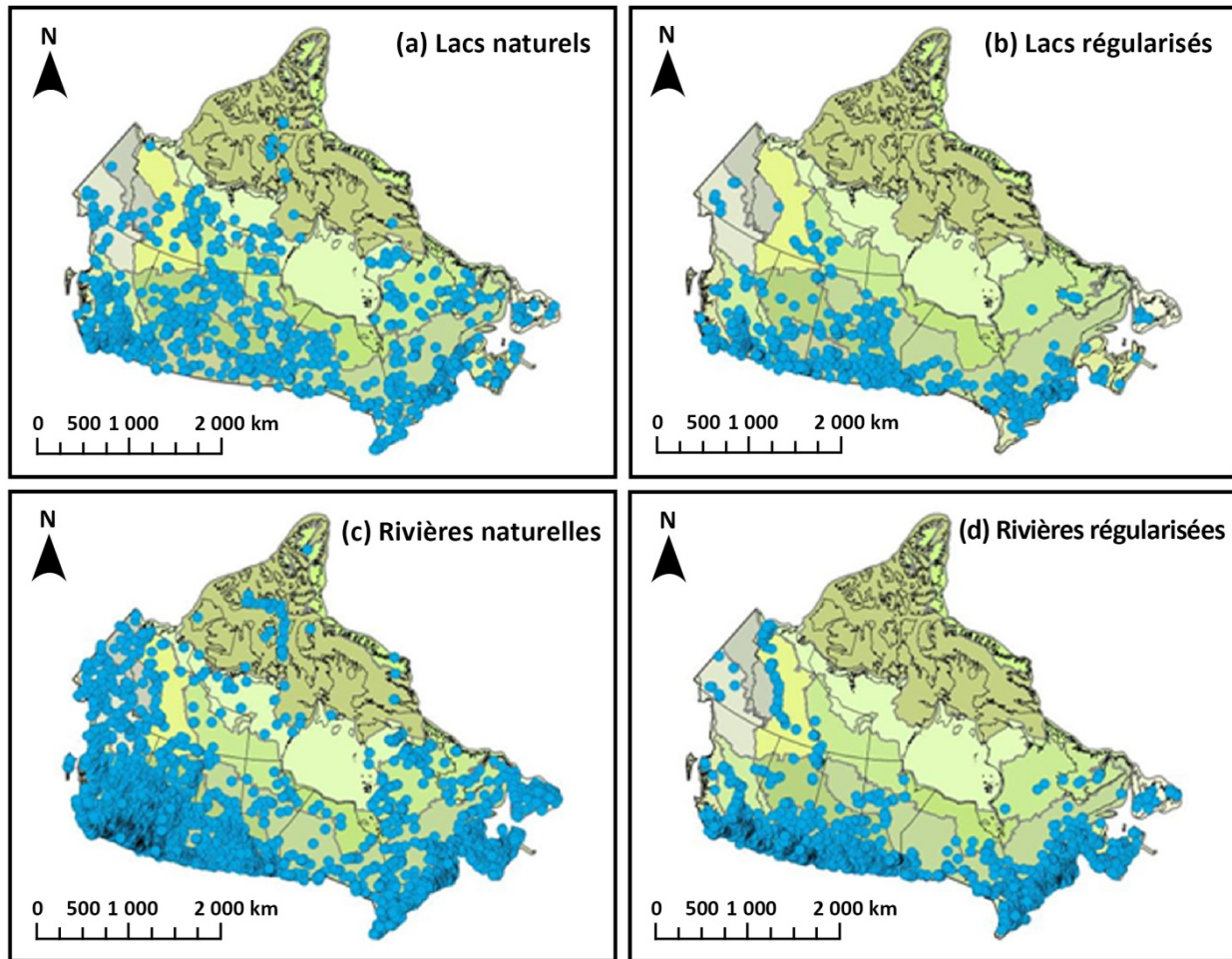


Figure 8. Distribution des stations actuelles et des anciennes stations hydrométriques dans l'ensemble du Canada : a) lacs naturels; b) lacs régulés; c) rivières naturelles; d) rivières régulées
Source : Données d'Environnement Canada (2006b)

Les Relevés hydrologiques du Canada font la distinction entre les stations hydrométriques des sites naturels et celles des sites régulés. Les sites dits « naturels » comportent des stations hydrométriques pour lesquelles la régulation ou l'impact en amont est minima (Environnement Canada, 2010b). L'altération des caractéristiques hydrologiques des sites régulés, selon les prélèvements, les retenues et les dérivations, varie à l'échelle régionale. Bien que pour certains sites, des observations quotidiennes soient effectuées depuis le début du XIX^e siècle, la plupart des données de la base HYDAT ont été recueillies entre les années 1970 et le début des années 1990 (Figure 9). La rationalisation du réseau menée dans les années 1990 a entraîné une diminution importante du nombre de stations, ce qui a réduit la couverture spatiale du réseau. Il semble que les activités initiales de surveillance aient porté davantage sur les bassins de rivières et de lacs régulés. Même si tous les types de sites affichent une augmentation récente de la surveillance, c'est pour les rivières naturelles que la hausse semble la plus

marquée. Les stations comprises dans la base HYDAT ont recueilli pour la plupart des données qui s'étendent sur moins de 18 années consécutives (Figure 10). Des données continues à long terme étant nécessaires pour surveiller les tendances actuelles et faire des prévisions quant aux tendances futures dans les régimes hydrologiques, il est essentiel de maintenir en place les stations qui sont actives depuis longtemps et d'activer de nouvelles stations là où un suivi des tendances est requis, notamment pour l'évaluation continue des changements climatiques.

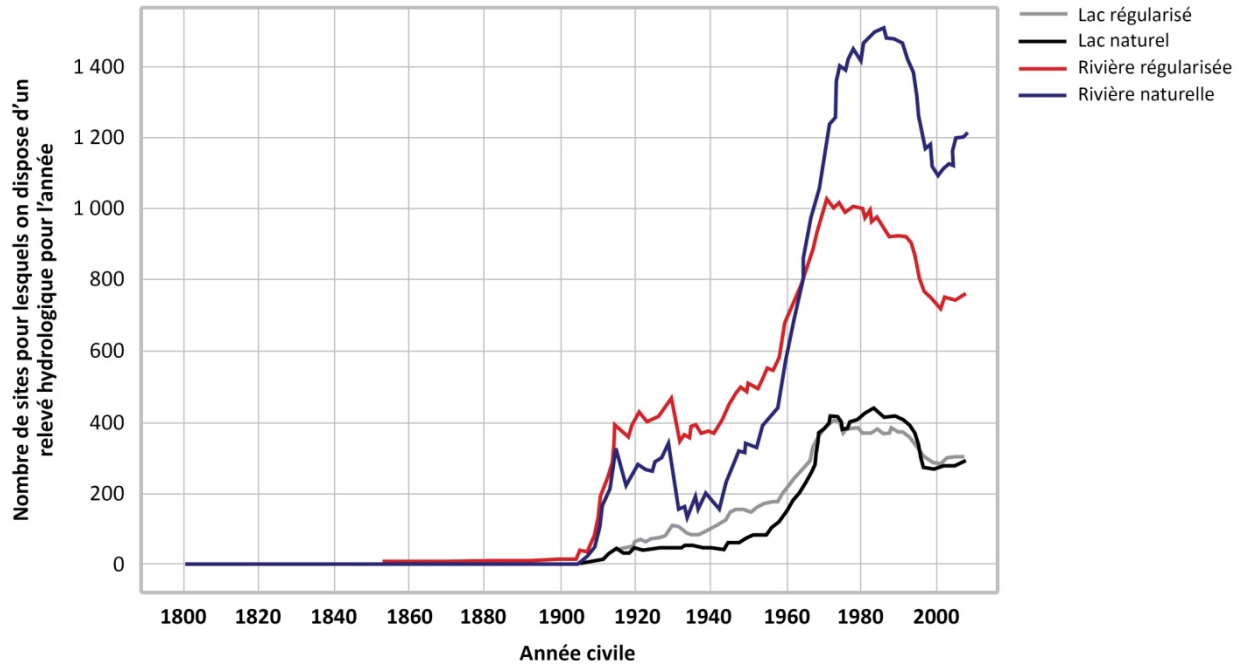


Figure 9. Nombre de sites ayant des enregistrements des conditions hydrologiques pour les rivières et lacs naturels et régularisés, de 1800 à 2006

Source : Données d'Environnement Canada (2006b)

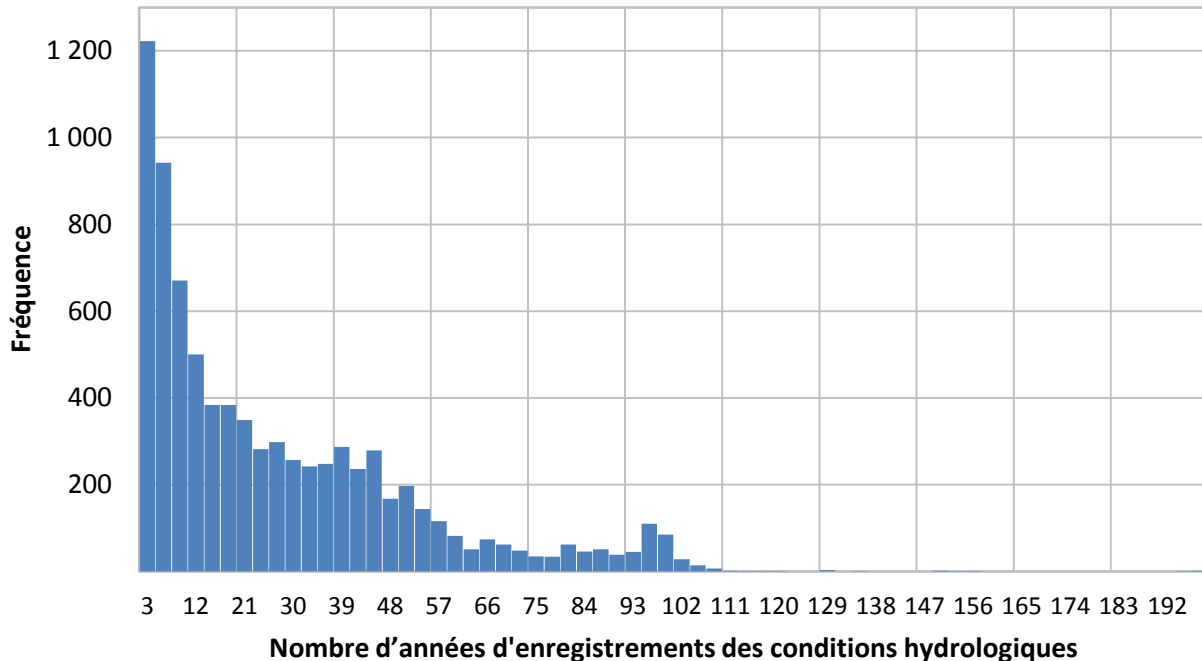


Figure 10. Histogramme de fréquence pour le nombre total d'années sur lesquelles s'étendent les données (ensemble des sites hydrométriques)
 Source : Données d'Environnement Canada (2006b)

Tendances hydroécologiques

Les communautés aquatiques sont généralement adaptées à la variabilité interannuelle naturelle du régime d'écoulement en ce qui concerne l'ampleur, le moment et la prévisibilité des crues et des étiages (Jowett et Duncan, 1990). Des études antérieures ont analysé de façon quantitative l'importance écologique des composantes du régime d'écoulement à des fins de recherche hydroécologique. L'objectif était également d'instaurer des recommandations relativement au débit environnemental et d'élaborer des méthodes connexes (par exemple Monk *et al.*, 2008). Les recherches ont porté sur les tendances relatives aux régimes hydrologiques dans l'ensemble de l'Amérique du Nord (voir les exemples du Tableau 2). À titre d'exemple, Schindler et Donahue (2006) ont constaté que le débit moyen en été (de mai à août) de la rivière Athabasca a baissé de 20 % depuis 1958. Des changements ont également été signalés dans les facteurs déterminants du régime hydrologique – p. ex. les précipitations totales de neige ont diminué dans l'Ouest canadien et les Prairies entre 1900 et 2003 en raison du réchauffement de la planète (Vincent et Mekis, 2006).

Tableau 2. Sommaire des recherches scientifiques publiées portant sur les tendances statistiques relatives au débit et à l'écoulement des rivières canadiennes

Bassins versants étudiés	Région	Écozone [†]	Nombre de sites Méthode d'analyse Période d'analyse (nombre de sites par période)	Résultats/orientation des tendances	Référence
Rivières Liard, de la Paix et Athabasca	Yuk., Alb., C.-B., Sask., T.N.-O.	Cordillère boréale, taïga des plaines, plaines boréales, cordillère montagnarde	26 – hydrométriques Mann-Kendall 1970–2005 (26) 1965–2005 (21) 1960–2005 (18)	<ul style="list-style-type: none"> • Crues printanières hâtives, surtout dans les eaux d'amont des bassins récepteurs • Changements associés en partie aux effets de l'oscillation décennale du Pacifique, de l'oscillation nord-atlantique, de l'indice du Pacifique Nord et de l'oscillation multidécennale de l'Atlantique 	Burn (2008)
Rivière Liard	Yuk., T.N.-O., C.-B., Alb.	Taïga des plaines, taïga de la cordillère, plaines boréales, cordillère boréale	12 – hydrométriques Mann-Kendall 1975–1999 (13) 1970–1999 (12) 1965–1999 (8) 1960–1999 (7)	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de l'écoulement en hiver et de l'écoulement minimal • Tendance légèrement à la baisse de l'écoulement en été • Crues printanières hâtives; écoulement de pointe au printemps observé plus tôt en raison de l'augmentation de la température de l'air • Augmentation de l'écoulement en hiver associée à l'oscillation décennale du Pacifique • Différences spatiales claires selon le secteur du bassin récepteur – p. ex. tendances à la baisse dans le haut du bassin et tendances à la hausse dans le bas 	Burn (2004)
Rivières Athabasca, de la Paix, Liard, Peel (nord) et Coppermine, Grand lac des Esclaves, fleuve Mackenzie	Alb., Sask., C.-B., T.N.-O., Yuk.	Taïga du bouclier, bouclier boréal, plaines boréales, cordillère montagnarde, taïga des plaines, taïga de la cordillère, cordillère boréale	54 – hydrométriques 10 – météorologiques Mann-Kendall 1975–2000 (54) 1970–2000 (46) 1965–2000 (34) 1960–2000 (21)	<ul style="list-style-type: none"> • Fortes tendances à la hausse en hiver (décembre à avril) • Augmentation de l'écoulement annuel minimal • Légères tendances à la baisse pour ce qui est de l'écoulement annuel moyen et de l'écoulement du début de l'été et de la fin de l'automne • Crues printanières hâtives 	Aziz et Burn (2006)

Bassins versants étudiés	Région	Écozone ⁺	Nombre de sites Méthode d'analyse Période d'analyse (nombre de sites par période)	Résultats/orientation des tendances	Référence
248 sites partout au Canada	Toutes les régions	Toutes les écozones ⁺ , sauf celle de la cordillère arctique dans l'écozone ⁺ de l'archipel Arctique	248 – hydrométriques (réseau hydrométrique de référence) 1940–1997 1950–1997 1960–1997 1970–1997 Tous les relevés disponibles aux stations	<ul style="list-style-type: none"> • Profil spatial dans des tendances significatives qui laisse croire que les effets ne sont pas uniformes dans l'espace • Tendance à la baisse de l'écoulement annuel maximal dans le sud et tendance à la hausse dans le nord • Débâcle hâtive, sans doute en raison du fait que la fonte printanière commence plus tôt • Forte tendance à la hausse du débit en mars et en avril indiquant une fonte des neiges printanière qui commence plus tôt • Forte tendance à la baisse de l'écoulement en juin • Tendance à la hausse de l'écoulement en octobre dans l'est et le nord et tendance à la baisse dans l'ouest 	Burn et Hag Elnur (2002)
25 cours d'eau dans l'ensemble des Prairies	Alb., Sask., Man.	Prairies, plaines boréales, bouclier boréal, taïga du bouclier, taïga des plaines	25 – hydrométriques 16 – météorologiques 1976–2005 (26) 1971–2005 (24) 1966–2005 (17)	<ul style="list-style-type: none"> • Tendance à la baisse du volume d'écoulement associé à la fonte des neiges printanière et de l'écoulement de pointe • Fonte des neiges printanière maximale survenant plus tôt • Tendance à la baisse du volume d'écoulement saisonnier (mars-octobre) • Changements dus à la réduction des chutes de neige et à l'augmentation de la température de l'air en hiver 	Burn <i>et al.</i> (2008)
26 sous-bassins récepteurs dans le réseau de la rivière Churchill et du fleuve Nelson	C.-B.	Cordillère montagnarde, écozone ⁺ maritime du Pacifique, bassin intérieur de l'Ouest	26 – hydrométriques 19 – température de l'air 18 – précipitations Mann-Kendall 1960–1999	<ul style="list-style-type: none"> • Diminution de l'ampleur des événements hydrologiques • Changements dans l'écoulement associés à la fonte des neiges survenant plus tôt • Augmentation de l'écoulement mensuel moyen au printemps en raison d'un potentiel de fonte des neiges accru • Moment des événements hydrologiques fortement influencé par les changements dans la température de l'air • Tendance à la baisse dans le sud et tendance à la hausse dans le nord 	Cunderlik et Burn (2004)
156 stations hydrométriques partout au Canada	Toutes les régions	Toutes les écozones ⁺ , sauf celle de la cordillère arctique dans l'écozone ⁺ de	156 – hydrométriques (réseau hydrométrique de référence)	<ul style="list-style-type: none"> • Tendances variables en ce qui a trait à l'écoulement minimal – étiages annuels et saisonniers (1, 7, 15 et 30 jours) • Résultats qui dépendent du délai de l'analyse 	Khaliq <i>et al.</i> (2008)

Bassins versants étudiés	Région	Écozone ⁺	Nombre de sites Méthode d'analyse Période d'analyse (nombre de sites par période)	Résultats/orientation des tendances	Référence
		l'archipel Arctique	1974–2003 (156) 1964–2003 (102) 1954–2003 (49)		
Rivière Winnipeg	Ont., Man.	Bouclier boréal	9 – hydrométriques Données climatiques canadiennes historiques ajustées et ensemble de données rectangulaires sur le climat Mann-Kendall 1924–2003	<ul style="list-style-type: none"> • Tendance à la hausse de l'écoulement, avec une augmentation de 60 % à 110 % en hiver dans l'ensemble du bassin • Changements liés au climat (stations de cours d'eau naturels c. stations de cours d'eau régularisés) • Hausse dans les paramètres hydrologiques du bassin, mais augmentations plus faibles en ce qui a trait aux précipitations en été et en automne 	St. George (2007)
Rivière Miramichi	N.-B.	Écozone ⁺ maritime de l'Atlantique	2 – hydrométriques 3 – météorologiques Régression linéaire 1970–1999	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de la température de l'air au printemps et en été • Débit relativement le même en hiver et en automne • Augmentation de la durée des étiages, ce qui reflète une plus grande évaporation due à l'augmentation de la température de l'air • Écoulement de pointe du printemps survenant plus tôt 	Swansburg <i>et al.</i> (2004)
151 stations hydrométriques partout au Canada	Toutes les régions	Toutes les écozones ⁺ , sauf celle de la cordillère arctique dans l'écozone ⁺ de l'archipel Arctique	151 – hydrométriques (réseau hydrométrique de référence) Mann-Kendall 1967–1996 (151) 1957–1996 (71) 1947–1996 (47)	<ul style="list-style-type: none"> • Diminution globale de l'écoulement annuel moyen, avec des baisses significatives dans le sud du pays • Baisse considérable de l'écoulement en août et en septembre • Augmentation de l'écoulement au printemps (mars et avril) • Crues printanières survenant beaucoup plus tôt en Colombie-Britannique • Englacement hâtif, surtout dans l'est du Canada 	Zhang <i>et al.</i> (2001)
248 stations hydrométriques	Toutes les régions	Toutes les écozones ⁺ , sauf celle de la cordillère arctique	248 – hydrométriques (réseau hydrométrique de référence)	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation significative de l'écoulement en juillet (Prairies et région du Pacifique) et en décembre (T.N.-O. /Nun.) • Tendance à la baisse de l'écoulement annuel moyen (régions du 	Adamowski et Bocci (2001)

Bassins versants étudiés	Région	Écozone ⁺	Nombre de sites Méthode d'analyse Période d'analyse (nombre de sites par période)	Résultats/orientation des tendances	Référence
		dans l'écozone ⁺ de l'archipel Arctique	Estimation des tendances statistiques Les stations sont divisées dans 10 secteurs géospatiaux, la longueur des données variant selon chacun des secteurs. Série chronologique maximale : 1908–1997 (région des montagnes) Série chronologique minimale : 1961–1997 (T.N.-O./Nun.)	centre, du nord des montagnes et du Pacifique) <ul style="list-style-type: none"> • Baisse significative de l'écoulement journalier maximal (annuel) (centre/est, nord des montagnes, Pacifique, T.N.-O./Nun.) • Tendance significative à la hausse de l'écoulement journalier maximal (annuel) (centre et Prairies) • Augmentation significative de l'écoulement annuel minimal (ouest du Québec/sud de l'Ontario, nord des montagnes, Pacifique) Tendance à la baisse de l'écoulement annuel minimal (centre/est) 	
Bassin du Mackenzie	Alb., Sask., C.-B., T.N.-O., Yuk.	Taïga du bouclier, bouclier boréal, plaines boréales, cordillère montagnarde, taïga des plaines, taïga de la cordillère, cordillère boréale	16 – hydrométriques 9 – météorologiques Corrélation des rangs de Spearman 1972–1999	<ul style="list-style-type: none"> • À l'échelle du bassin du Mackenzie, l'écoulement ne présentait aucune tendance claire, que ce soit sur une base mensuelle ou annuelle • À l'échelle des rivières, la débâcle survenait plus tôt, ce qui peut être associé à l'augmentation de la température de l'air pour les mois de fonte des neiges (avril à juin) • De façon générale, la date et l'ampleur associées à l'écoulement de pointe ne décrivent aucune tendance, mais il existe une plus grande variabilité pour le cours inférieur du Mackenzie et la rivière de la Paix • Tendance à la hausse de la variabilité de l'écoulement 	Woo et Thorne (2003)
64 sites hydrométriques où l'eau s'écoule dans les hautes latitudes océaniques	Yuk., T.N.-O., Nun., Qc, Ont., Man., T.-N.-L.	Haut-Arctique, Bas-Arctique, cordillère arctique, taïga de la cordillère, taïga des plaines, plaines	64 – hydrométriques Mann-Kendall 1964–2003	<ul style="list-style-type: none"> • Tendance à la baisse significative du débit annuel total d'eau douce menant à une diminution de 10 % de l'apport annuel total dans l'Arctique et le nord de l'Atlantique • Changements associés à la tendance à la baisse des précipitations au cours de la même période, ce qui laisse croire que les changements dans le débit des rivières du nord du 	Déry et Wood (2005)

Bassins versants étudiés	Région	Écozone ⁺	Nombre de sites Méthode d'analyse Période d'analyse (nombre de sites par période)	Résultats/orientation des tendances	Référence
		hudsoniennes, taïga du bouclier		Canada sont régis principalement par les précipitations, et non par l'évapotranspiration	
42 rivières qui se jettent dans les baies d'Hudson, James et d'Ungava	Nun., Ont., Sask., Alb., Man., Qc	Haut-Arctique, Bas-Arctique, taïga du bouclier, taïga des plaines, plaines hudsoniennes, bouclier boréal, plaines boréales	42 – hydrométriques Mann-Kendall 1964–2000	<ul style="list-style-type: none"> • Tendance à la baisse du débit pour 36 des 42 rivières • En 2000, l'apport annuel total d'eau douce dans les baies d'Hudson, James et d'Ungava avait baissé de 13 % par rapport à 1964 • Le débit de pointe associé à la fonte des neiges a été observé huit jours plus tôt et a diminué en intensité • Le moment où survient la crue printanière varie de cinq jours pour chaque degré de latitude 	Déry <i>et al.</i> (2005)
56 rivières partout en Amérique du Nord (14 se jetant dans l'Arctique et 42 s'écoulant dans les baies d'Hudson, d'Ungava et James)	Yuk., T.N.-O., Nun., Qc, Ont., Man., T.-N.-L.	Taïga de la cordillère, taïga des plaines, Bas-Arctique, Haut-Arctique, cordillère arctique, taïga du bouclier, plaines hudsoniennes	56 – hydrométriques Mann-Kendall 1964–2000	<ul style="list-style-type: none"> • Diminution de l'écoulement dans l'Arctique (rivières de l'ensemble de l'Amérique du Nord) • Baisse du débit des rivières se jetant dans les baies d'Hudson, d'Ungava et James d'environ 2,5 km³/an par année entre 1964 et 2000 • Aucun changement significatif dans la rivière Yukon, malgré la tentative de rétablissement du débit • Cela laisse croire à une baisse concomitante des précipitations et du débit de la rivière 	McClelland <i>et al.</i> (2006)

Un sous-ensemble de stations hydrométriques forme le réseau hydrométrique de référence (Environnement Canada, 2010b). Ce réseau, qui rassemble des bassins récepteurs intacts dans l'ensemble du Canada, assure la contribution nationale au programme de surveillance des changements climatiques de l'Organisation météorologique mondiale. Brimley *et al.* (1999) et Harvey *et al.* (1999) ont défini les six critères initiaux de sélection des stations du réseau : 1) la station doit être très peu touchée et afficher un taux de modification de moins de 10 %, les modifications devant être le résultat de conditions naturelles; 2) il ne doit y avoir aucun ouvrage de régularisation majeure ni aucune dérivation importante en amont de la station hydrométrique; 3) il faut disposer de données hydrologiques sur une période d'au moins 20 ans; 4) la station doit avoir une bonne longévité et conserver son état actuel; 5) les spécialistes locaux doivent évaluer l'exactitude des données sur les conditions lorsque les eaux sont libres et lorsque les glaces sont présentes; 6) il faut tenir compte de l'étendue de la surveillance réalisée par les différents types de stations hydrométriques (surveillance saisonnière ou continue, écoulement fluvial, niveau d'eau des lacs). Des 255 stations hydrométriques qui figuraient sur la liste initiale du réseau, 7 sont des stations qui mesurent le niveau d'eau d'un lac, 37 sont des stations saisonnières et 211 sont des stations de surveillance continue du débit (Environnement Canada, 2006b).

Les tendances relatives aux niveaux d'eau des lacs n'ont pas été prises en compte dans l'analyse, étant donné leur nombre limité dans la base de données du réseau hydrométrique de référence, ce qui empêche pour l'instant d'analyser de façon concrète les tendances à l'échelle nationale. Cependant, plusieurs analyses importantes des tendances régionales du niveau d'eau des lacs ont été réalisées. À titre d'exemple, Van der Kamp *et al.* (2008) se sont penchés sur les tendances relatives aux changements du niveau d'eau à long terme dans 16 lacs à bassin fermé dans la région semi-aride des Prairies. Les résultats ont révélé une tendance globale à la baisse du niveau d'eau des lacs de 4 à 10 mètres de 1920 à 2005 environ. Par contre, certains lacs du centre-est présentaient un niveau d'eau à la hausse depuis 1960. Cette augmentation est associée soit à des précipitations accrues, soit à une évaporation plus faible, de même qu'à la sensibilité des lacs aux changements d'affectation des terres, sensibilité qui découle de leur faible élévation (Van der Kamp *et al.*, 2008) – cela témoigne de l'influence de la variation régionale du climat pour ce qui est du masquage des changements de l'habitat.

Des données sur l'écoulement journalier moyen ont été extraites de la base de données HYDAT des Relevés hydrologiques du Canada (Environnement Canada, 2006b) pour la période de 1969 à 2005 (ce qui correspond aux années hydrologiques de 1970 à 2005) pour les 211 stations de surveillance continue du réseau hydrométrique de référence. Une analyse a permis de vérifier s'il y avait un manque de données et d'évaluer la qualité des données. La superficie des bassins récepteurs variait de 3,9 à 145 000 km² et la plupart des sites fournissaient des données sur plus de 30 ans pour la période de 1970 à 2005, alors que les autres disposaient de données sur plus de 20 ans. Selon la méthode employée par Burn et Hag Elnur (2002), pour qu'une station soit incluse dans l'analyse, il ne peut y avoir de données manquantes pour plus de cinq ans dans la période commune de 1970 à 2005. Il a été déterminé qu'un minimum de 31 ans de données avec moins de cinq relevés manquants assurerait une série chronologique maximale – 172 stations présentaient des données adéquates (Figure 11). Le fait de choisir une période commune pour l'analyse permet d'étudier les conditions climatiques variables au cours de cette période.

Les stations hydrométriques couvraient l'ensemble des écozones⁺ (Figure 11); toutefois, la distribution des stations dans les écozones⁺ n'était pas uniforme, la densité de stations

hydrométriques qui répondent aux critères étant la plus forte dans l'écozone⁺ du bassin intérieur de l'Ouest et l'écozone⁺ maritime de l'Atlantique. Les écozones⁺ situées plus au nord affichaient des densités plus faibles. De plus, la couverture spatiale révèle un manque de stations fournissant des données adéquates dans le nord-est du Canada et les Prairies, où les stations hydrométriques fonctionnent souvent de façon saisonnière. Compte tenu de la rareté des stations dans certaines régions, il faut user de prudence lors de l'interprétation des résultats de l'analyse des tendances.

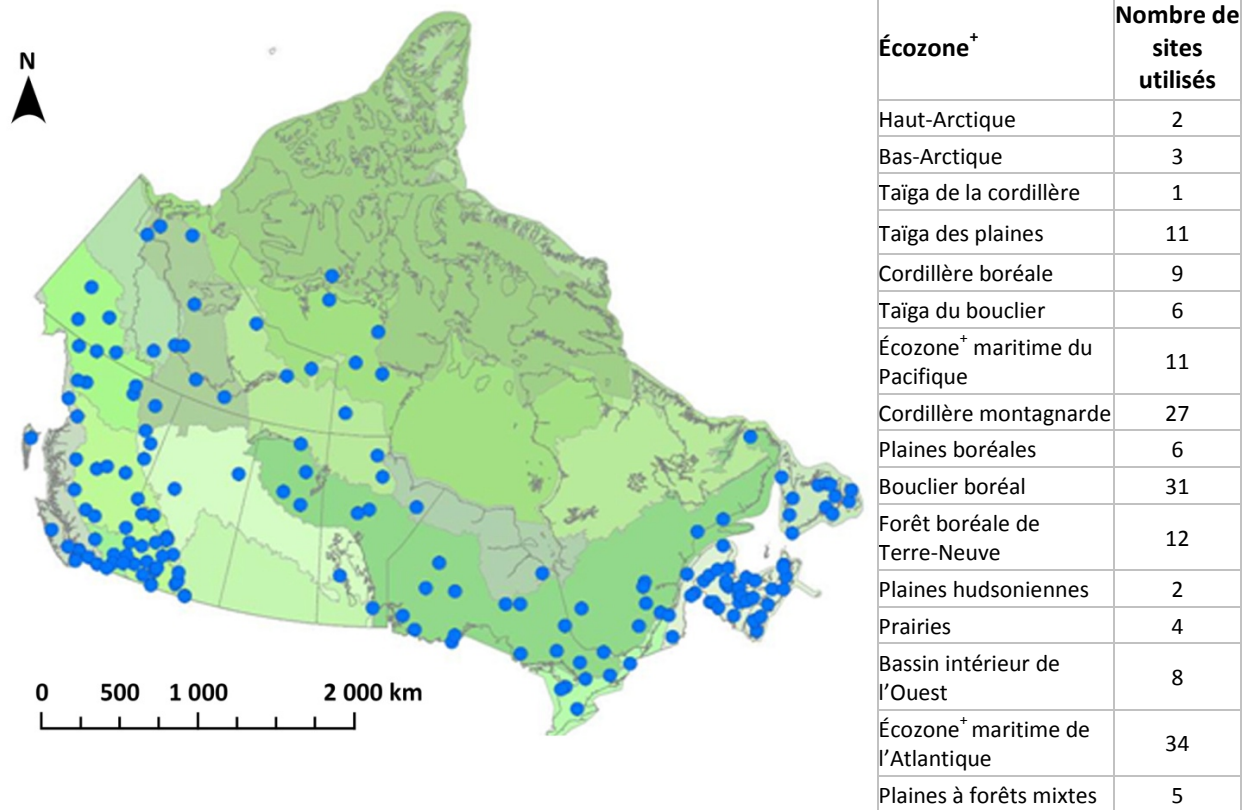


Figure 11. Carte des stations ayant des données hydrologiques appropriées utilisées dans le cadre d'analyses des tendances et tableau résumant le nombre de stations adéquates par écozone⁺

Richter *et al.* (1996) ont relevé 32 variables hydroécologiques annuelles, appelées « indicateurs d'altération hydrologique » (IAH). Ces variables représentent les composantes du régime d'écoulement importantes sur le plan écologique (voir le Tableau 3 et le Tableau 4). Les 32 variables annuelles des indicateurs d'altération hydrologique ont été calculées pour chaque année de 1970 à 2005 (du 1^{er} octobre au 30 septembre) aux stations hydrométriques. Ces variables permettent de quantifier l'ampleur (quantité), la fréquence, le moment, la durée et le caractère soudain (vitesse) des changements du régime d'écoulement. Les calculs ont été réalisés à l'aide du logiciel des indicateurs d'altération hydrologique de The Nature Conservancy (The Nature Conservancy, 2007). Ces variables, qui décrivent le régime hydrologique, permettent d'effectuer une évaluation de la qualité de l'habitat pour les communautés aquatiques lorsqu'aucune donnée écologique à long terme n'est connue.

Tableau 3. Description des composantes du régime d'écoulement, de leurs impacts écologiques dans les cours d'eau et des variables de comparaison

Composante du régime d'écoulement	Description	Impacts écologiques	Variables de comparaison
Ampleur	Mesure de la quantité d'eau qui passe par un point fixe par unité de temps. L'écoulement peut varier selon les conditions climatiques et la grosseur du bassin récepteur à l'intérieur d'un même réseau hydrographique et entre les réseaux. L'ampleur peut être utilisée comme un indicateur de la qualité d'un habitat.	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilité des habitats pour les espèces • Disponibilité de l'eau du sol pour les végétaux • Effets sur la température de l'eau, la teneur en oxygène et la photosynthèse dans la colonne d'eau 	Écoulement mensuel moyen Écoulement maximal ou minimal
Fréquence	Mesure de la récurrence d'événements hydrologiques qui dépassent une ampleur donnée sur une période précise.	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilité des habitats de plaines inondables • Échanges de nutriments et de matières organiques entre les rivières et les plaines inondables • Disponibilité des minéraux du sol • Effets sur le transport des sédiments du lit et la texture des sédiments des chenaux 	Nombre annuel d'étiages ou de crues qui dépassent une certaine ampleur
Durée	Mesure de la période durant laquelle une condition hydrologique, qu'il s'agisse d'un événement extrême ou d'une condition normale, persiste. La durée peut être associée à un événement en particulier lié au débit ou définie comme une valeur composite liée à une période donnée.	<ul style="list-style-type: none"> • Durée des conditions perturbatrices, comme la faible teneur en oxygène et l'accumulation de produits chimiques en milieu aquatique • Répartition des communautés végétales dans les lacs, les étangs et les plaines inondables • Durée des crues pour l'aération des frayères dans les sédiments des chenaux 	Nombre de jours par année où l'écoulement présente une ampleur précise
Moment	Mesure de la régularité des conditions hydrologiques d'une ampleur définie.	<ul style="list-style-type: none"> • Prévisibilité/caractère évitable des éléments de perturbation pour les organismes • Signaux de déclenchement du frai pour les poissons migratoires • Évolution des stratégies relatives au cycle biologique et des mécanismes comportementaux 	Date julienne correspondant à l'écoulement annuel maximal sur un jour
Vitesse de changement (variabilité de l'écoulement)	Désigne la vitesse à laquelle changent les conditions (ampleur). À titre d'exemple, les cours d'eau stables présentent une faible vitesse de changement comparativement aux cours d'eau à crues ou à étiages soudains, ceux-ci affichant une vitesse de changement élevée.	<ul style="list-style-type: none"> • Échouement d'espèces dans des parcelles d'habitat isolées (baisses) • Piégeage sur des îles ou des plaines inondables (élevations) 	Nombre de changements journaliers positifs/négatifs dans l'écoulement

Source : Richter et al. (1997) et Poff et al. (1996)

Tableau 4. Paramètres hydrologiques pertinents sur le plan écologique utilisés pour les indicateurs d'altération hydrologique (IAH) et leurs caractéristiques

Groupe d'IAH	Composante du régime hydrologique	Paramètres hydrologiques
Groupe 1 Ampleur de l'écoulement mensuel	<ul style="list-style-type: none"> • Ampleur • Moment 	<ul style="list-style-type: none"> • Valeur médiane pour chaque mois civil (octobre-septembre)
Groupe 2 Écoulement annuel minimal et maximal	<ul style="list-style-type: none"> • Ampleur • Durée 	<ul style="list-style-type: none"> • Valeur minimale annuelle (moyenne) sur 1 jour, 3 jours, 7 jours, 30 jours et 90 jours • Valeur maximale annuelle (moyenne) sur 1 jour, 3 jours, 7 jours, 30 jours et 90 jours • Débit de base (minimum sur 7 jours/écoulement annuel moyen)
Groupe 3 Date correspondant à l'écoulement annuel minimal sur un jour et à l'écoulement annuel maximal sur un jour	<ul style="list-style-type: none"> • Moment 	<ul style="list-style-type: none"> • Date julienne correspondant à chaque valeur de l'écoulement annuel minimal sur un jour • Date julienne correspondant à chaque valeur de l'écoulement annuel maximal sur un jour
Groupe 4 Fréquence et durée des crues et des étiages	<ul style="list-style-type: none"> • Ampleur • Fréquence • Durée 	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre d'épisodes d'étiage par année (le seuil étant la valeur médiane - 25 %) • Nombre d'épisodes de crue par année (le seuil étant la valeur médiane + 25 %) • Durée médiane des épisodes d'étiage chaque année • Durée médiane des épisodes de crue chaque année
Groupe 5 Variabilité de l'écoulement	<ul style="list-style-type: none"> • Fréquence • Vitesse de changement 	<ul style="list-style-type: none"> • Valeur médiane de la différence négative entre les moyennes journalières consécutives • Valeur médiane de la différence positive entre les moyennes journalières consécutives • Nombre de hausses sur l'hydrogramme (changements positifs journaliers de l'écoulement) • Nombre de baisses sur l'hydrogramme (changements négatifs journaliers de l'écoulement) • Nombre d'inversions (nombre de permutations entre un écoulement à la hausse et un écoulement à la baisse, et vice-versa)

Source : Adapté de Richter et al. (1996)

Les données sur le débit des rivières (m³ par seconde) ont été converties en données sur l'écoulement (mm par jour) pour normaliser les effets des aires de drainage différentes. Pour la plupart, les variables ont été calculées en employant des statistiques non paramétriques (percentiles) en raison du caractère naturellement biaisé de bon nombre de relevés hydrologiques, à l'exception des variables de la moyenne mobile (minimums et maximums sur 1 à 90 jours), lesquelles sont toujours calculées en tant que moyennes. Les variables sont calculées pour chaque année hydrologique et sont employées dans l'analyse des tendances. La présence de tendances à chaque station pour chacune des variables a fait l'objet d'une analyse en appliquant les méthodes Mann-Kendall pour déterminer l'importance des tendances décelées à l'aide d'une procédure de permutation (voir l'encadré). L'analyse a été complétée en utilisant le programme MAKESENS, une application de feuille de calcul de Microsoft Excel (Salmi *et al.*, 2002). Les résultats étaient statistiquement significatifs au niveau de 10 % ($p < 0,1$), ce qui concorde avec les autres études du même type (par exemple Aziz et Burn, 2006).

Encadré : Détails concernant l'analyse des tendances Mann-Kendall

Une méthode statistique non paramétrique a été employée pour isoler les tendances dans les variables des indicateurs d'altération hydrologique (IAH) en raison du caractère naturellement biaisé de bon nombre de relevés hydrologiques. L'analyse des tendances Mann-Kendall a été appliquée pour réduire au minimum les problèmes de distinction entre la variabilité naturelle et les tendances dans les données (Burn et Hag Elnur, 2002; Burn et Cunderlik, 2004; Kundzewicz et Robson, 2004). Élaboré par Mann (1945) et développé ensuite par Kendall (1975), le test Mann-Kendall pour l'analyse des tendances a été appliqué par d'autres chercheurs dans des études semblables (p. ex. Burn et Hag Elnur, 2002; Chu *et al.*, 2003; Burn et Cunderlik, 2004; Bonsal *et al.*, 2006). Dans ce test non paramétrique, ce sont les ampleurs relatives des données d'entrée qui sont comparées plutôt que les valeurs des données réelles (Mann, 1945; Khaliq *et al.*, 2008). La formule du test est la suivante :

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_k)$$

$$\text{sign}(x_j - x_k) = 1 \text{ si } x_j - x_k > 0$$

$$\text{où} \quad \quad \quad = 0 \text{ si } x_j - x_k = 0$$

$$= -1 \text{ si } x_j - x_k < 0$$

où x_1, x_2, \dots, x_n représentent n points de données, et x_j représente le point de donnée au moment j .

Sommaire national et répartition spatiale des tendances hydrologiques (de 1970 à 2005)

Des recherches publiées portent sur les corrélations entre les tendances hydrologiques et le climat (voir les exemples dans le Tableau 2). Les résultats sont toutefois variables, c'est pourquoi il est important d'interpréter les tendances à plus long terme relatives à l'écoulement, en tenant compte des changements climatiques d'une décennie à l'autre et des caractéristiques du bassin (Woo et Thorne, 2008). Un sommaire national des résultats de l'application de l'analyse des tendances Mann-Kendall non paramétrique est présenté dans le Tableau 5 et à la Figure 12, et les résultats sont résumés par écozone⁺ aux Figure 13 et Figure 14. Les résultats sont ensuite examinés à l'échelle du pays et de l'écozone⁺ dans trois sections : ampleur de l'écoulement; moment, fréquence et durée; et caractère soudain. Il est difficile d'établir des conclusions concernant les tendances pour plusieurs écozones⁺ en raison du nombre limité de stations hydrométriques adéquates du réseau hydrométrique de référence au sein de celles-ci (c.-à-d. qu'elles comptent moins de dix stations). Ces écozones⁺, soit celles des plaines à forêts mixtes, des plaines hudsoniennes, de la taïga du bouclier, des plaines boréales, des prairies, de la taïga de la cordillère, de l'archipel Arctique et de la cordillère boréale, ne sont pas examinées plus à fond dans cette section. Afin de limiter les biais potentiels et de réduire les erreurs dans les conclusions, les données sur l'ensemble des écozones⁺ sont fournies à l'annexe 1.

Tableau 5. Résultats des tendances pour les variables des indicateurs d'altération hydrologique pour les 172 stations du réseau hydrométrique de référence visées dans cette analyse, d'après les données pour les années hydrologiques de 1970 à 2005

Groupe d'IAH	Variable des IAH	% de stations qui présentent une tendance à la hausse significative ($p < 0,1$)	% de stations qui présentent une tendance à la baisse significative ($p < 0,1$)
Groupe 1 Ampleur de l'écoulement mensuel	Octobre	4,7	8,1
	Novembre	8,7	3,5
	Décembre	16,9	7,6
	Janvier	18,6	8,1
	Février	14,0	8,7
	Mars	12,2	2,9
	Avril	29,1	3,5
	Mai	2,3	22,1
	Juin	5,8	19,8
	Juillet	6,4	13,4
Groupe 2 Écoulement annuel minimal et maximal	Août	4,7	28,5
	Septembre	5,8	18,0
	Minimum sur 1 jour	12,8	26,2
	Minimum sur 3 jours	13,4	25,6
	Minimum sur 7 jours	14,0	25,0
	Minimum sur 30 jours	15,7	23,3
	Minimum sur 90 jours	16,3	21,5
	Débit de base	12,2	15,7
	Maximum sur 1 jour	6,4	18,0
	Maximum sur 3 jours	5,8	18,0
Groupe 3 Date correspondant à l'écoulement annuel minimal sur un jour et à l'écoulement annuel maximal sur un jour	Maximum sur 7 jours	6,4	18,0
	Maximum sur 30 jours	5,2	16,9
Groupe 4 Fréquence et durée des crues et des étiages	Maximum sur 90 jours	6,4	14,5
	Date correspondant à l'écoulement minimal sur un jour	16,3	8,1
Groupe 5 Variabilité de l'écoulement	Date correspondant à l'écoulement maximal sur un jour	6,4	10,5
	Nombre d'épisodes d'étiage	11,6	2,3
	Durée des épisodes d'étiage	7,0	14,5
	Nombre d'épisodes de crue	4,1	7,0
Groupe 5 Variabilité de l'écoulement	Durée des épisodes de crue	5,2	6,4
	Vitesse d'augmentation	8,1	20,9
	Vitesse de diminution	15,1	5,8
	Inversion sur l'hydrogramme	30,2	10,5

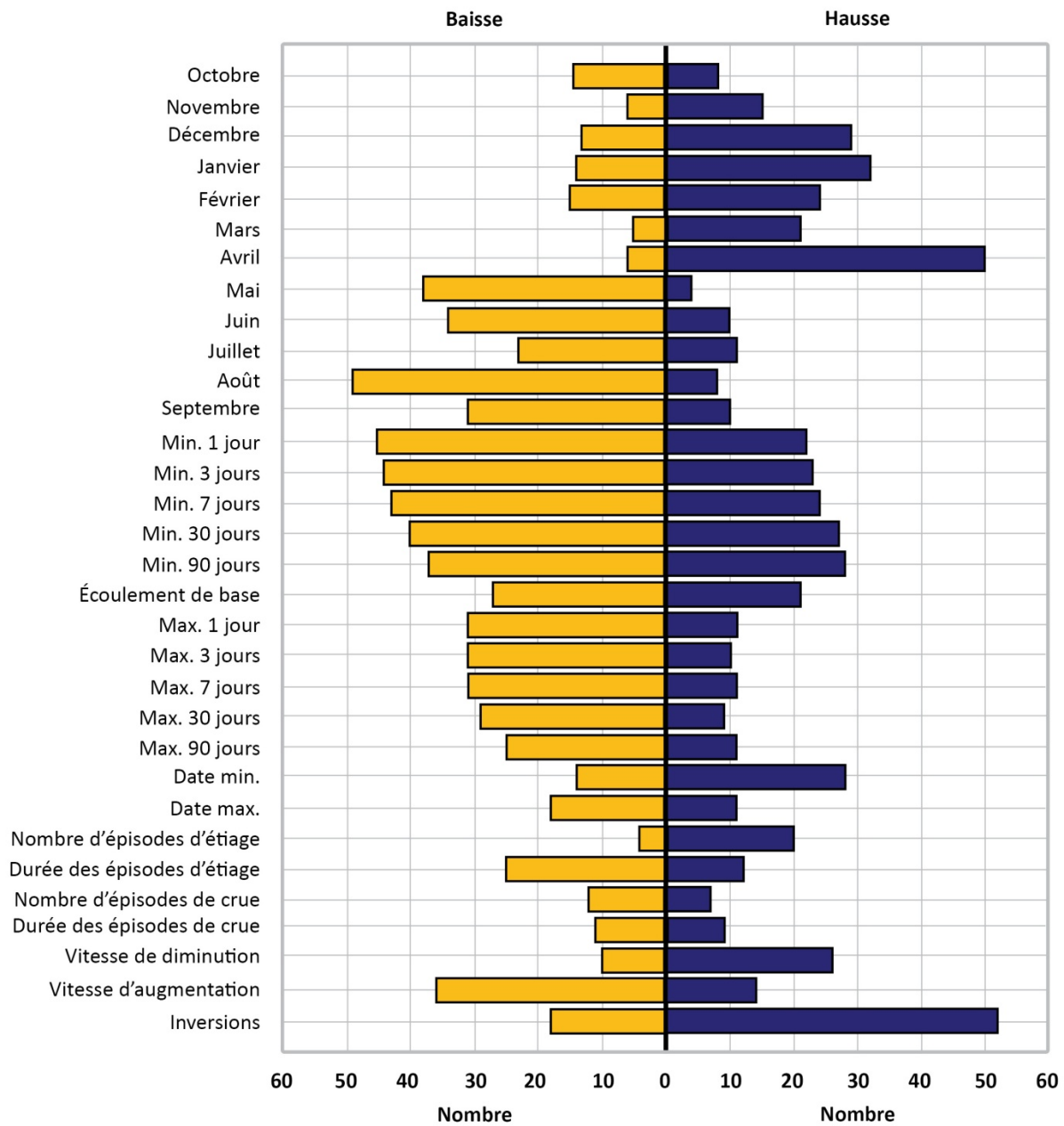


Figure 12. Résumé du nombre total de stations affichant des tendances à la hausse et à la baisse significatives ($p < 0,1$) pour chaque variable des indicateurs d'altération hydrologique, d'après les données pour les années hydrologiques de 1970 à 2005

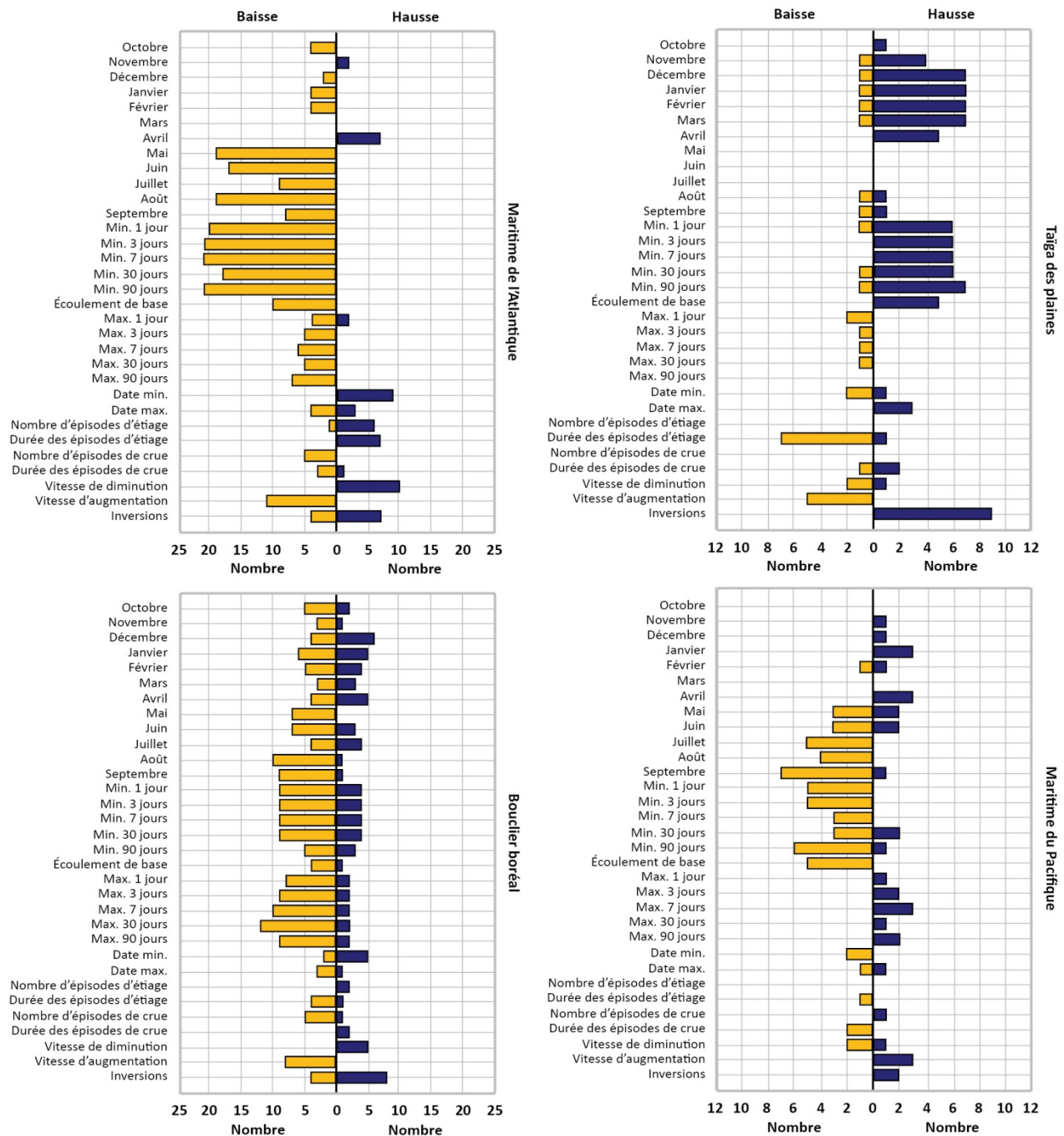


Figure 13. Nombre total de stations affichant des tendances significatives ($p < 0,1$) à la hausse et à la baisse pour chaque variable des indicateurs d'altération hydrologique pour : a) l'écozone⁺ maritime de l'Atlantique; b) l'écozone⁺ de la taïga des plaines; c) l'écozone⁺ du bouclier boréal; d) l'écozone⁺ maritime du Pacifique, d'après les données pour les années hydrologiques de 1970 à 2005
 Veuillez noter les différentes échelles de l'axe des x. Seules les stations qui présentent des tendances significatives sont comprises.

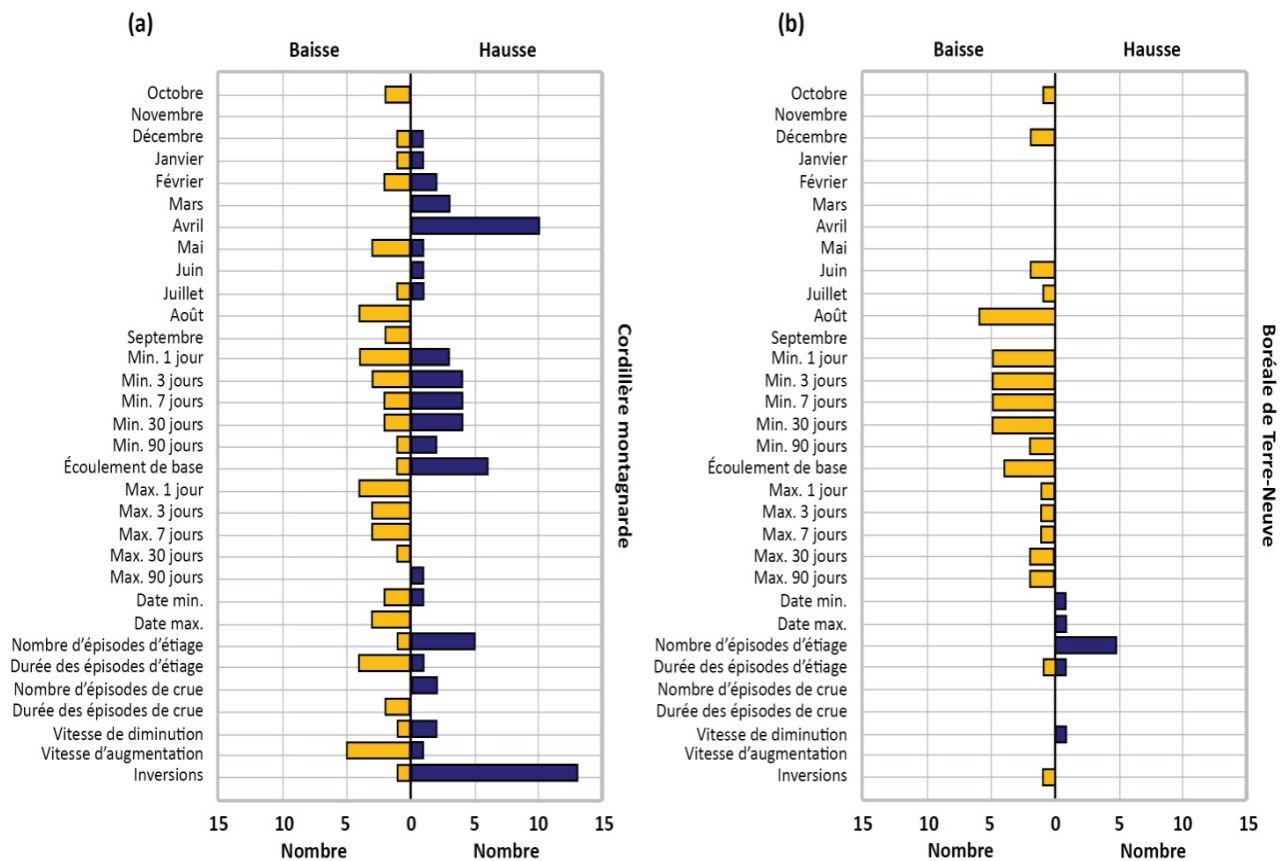


Figure 14. Nombre total de stations affichant des tendances significatives ($p < 0,1$) à la hausse et à la baisse pour chaque variable des indicateurs d'altération hydrologique pour : a) l'écozone⁺ de la cordillère montagnarde; b) l'écozone⁺ de la forêt boréale de Terre-Neuve, d'après les données pour les années hydrologiques de 1970 à 2005

Remarque : Seules les stations qui présentent des tendances significatives sont comprises.

L'accent est mis principalement sur les tendances directionnelles statistiquement significatives ($p < 0,1$), bien que des tendances directionnelles non significatives aient aussi été signalées ($p > 0,1$). Même s'il est reconnu que celles-ci sont beaucoup plus susceptibles d'être le fruit du hasard à cause du bruit inhérent associé aux données hydrologiques, elles offrent une méthode permettant de visualiser l'uniformité au sein d'une région, lorsque la majorité des stations démontrent un profil directionnel. En outre, ces résultats non significatifs ne signifient pas qu'il n'y a pas de tendance, mais plutôt qu'il n'est pas possible de relever des tendances significatives avec la courte série de données existantes. Par conséquent, elles sont utilisées dans le cadre d'une vaste caractérisation spatiale au sein de chaque écozone⁺ au lieu d'être utilisées pour tirer des conclusions précises concernant la réponse de chaque station. Cette stratégie a été adoptée par d'autres chercheurs, comme Hannaford et Marsh (2006), qui ont étudié les tendances hydrologiques régionales au Royaume-Uni.

Tendances relatives à l'ampleur de l'écoulement

L'ampleur, ou l'importance, de l'écoulement peut refléter des différences dans la disponibilité des habitats convenables pour les communautés aquatiques et influencer sur la température de l'eau et la teneur en oxygène, surtout dans les secteurs caractérisés par une couverture de glace saisonnière.

Étant donné la variabilité importante des facteurs déterminants (comme le climat et les caractéristiques naturelles des bassins hydrologiques), il n’y a pas de profil constant dans l’ensemble du pays. Ainsi, le moment (le mois) où surviennent les événements hydrologiques, comme le commencement des crues printanières, varie considérablement. Une grande variabilité, selon le mois, a été observée dans le pourcentage des tendances relatives à l’écoulement (Tableau 5 et Figure 15). Par exemple, une plus grande proportion de stations ont affiché des tendances à la hausse statistiquement significatives ($p < 0,1$) pendant les mois d’hiver (de décembre à février) que celles ayant présenté une diminution pour ces mêmes mois. Le profil des écoulements printaniers et estivaux variait, affichant des hausses significatives de l’écoulement moyen en avril, tandis que la majorité des tendances relatives à l’écoulement de mai à septembre révélait des diminutions significatives. Plus particulièrement, l’écoulement en août a diminué de façon considérable dans le cas de plus de 28 % des stations. Quelques profils spatiaux ont été relevés pour les tendances de l’écoulement mensuel. Par exemple, la majorité des stations dans l’ouest du Canada ont démontré des tendances considérablement à la hausse de l’écoulement en avril, et un groupe de stations présentait des tendances à la baisse dans la région des Grands Lacs.

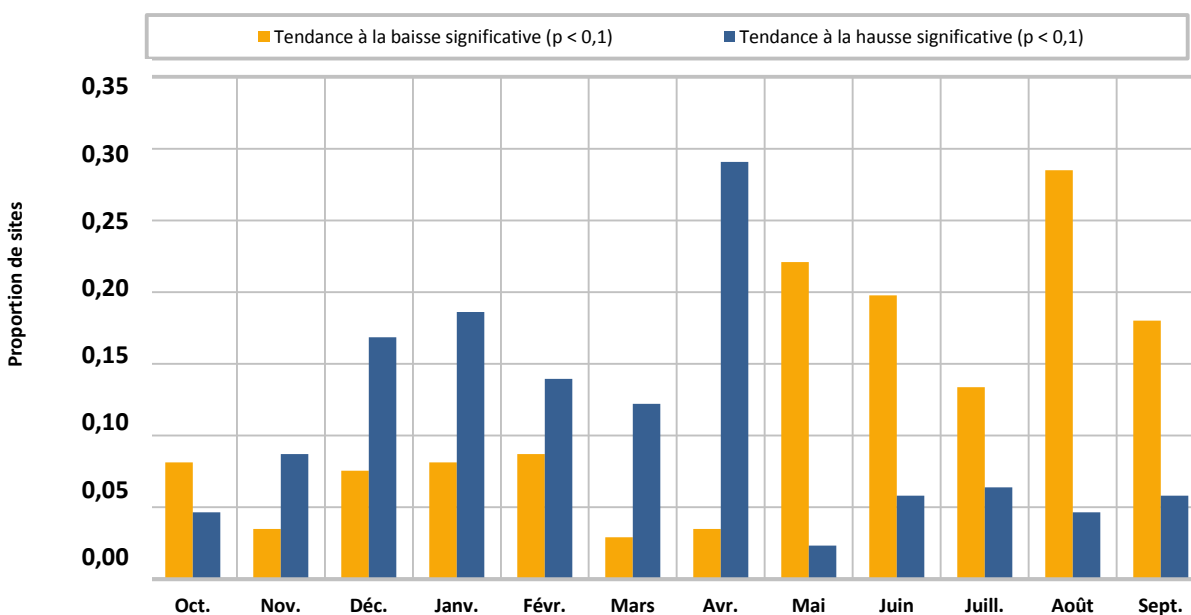


Figure 15. Tendances relatives à l’écoulement mensuel à long terme dans le cas des stations du réseau hydrométrique de référence, d’après les données pour les années hydrologiques de 1970 à 2005

L’écoulement minimal est important sur le plan écologique, puisqu’il limite la disponibilité des habitats aquatiques spécifiques et influe sur la température de l’eau et la teneur en oxygène dissous. Dans l’ensemble de données, une plus grande proportion de stations présentaient des tendances à la baisse significatives ($p < 0,1$) comparativement à celles présentant des tendances à la hausse significatives concernant l’écoulement minimal pour toutes les variables analysées (tableau 5 et Figure 16). Toutefois, ces tendances significatives étaient plus éminentes dans le cas des variables décrivant un débit minimal sur de courtes durées. Par exemple, 26,2 % des stations ont démontré un débit minimal sur un jour considérablement à la baisse par rapport à 21,5 % des stations pour ce qui est du débit minimal sur 90 jours. Le fait que les tendances semblent plus marquées à court terme pourrait refléter la prédominance des variations saisonnières à long terme. Sur le plan géographique, les stations qui présentaient des tendances significatives à la baisse pour

ce qui est de l'écoulement minimal sur un jour se trouvaient principalement dans le sud-est et le Canada atlantique, et d'autres stations se situaient dans le sud-ouest du pays (Figure 17). Les stations qui présentaient des augmentations significatives de l'écoulement minimal sur un jour se situaient principalement dans le nord-ouest du Canada, et quelques stations se trouvaient dans le nord du pays.

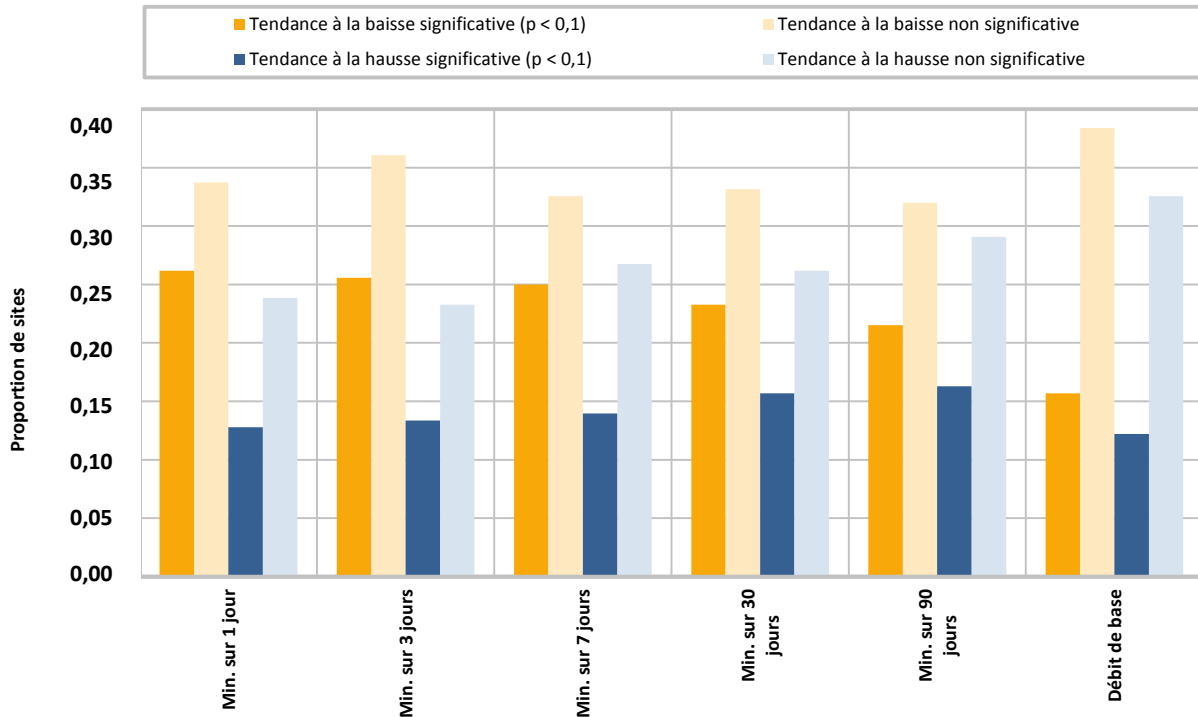


Figure 16. Tendances relatives à l'ampleur de l'écoulement minimal sur 1 jour, 3 jours, 7 jours, 30 jours et 90 jours et du débit de base pour les stations du réseau hydrométrique de référence, d'après les données pour les années hydrologiques de 1970 à 2005

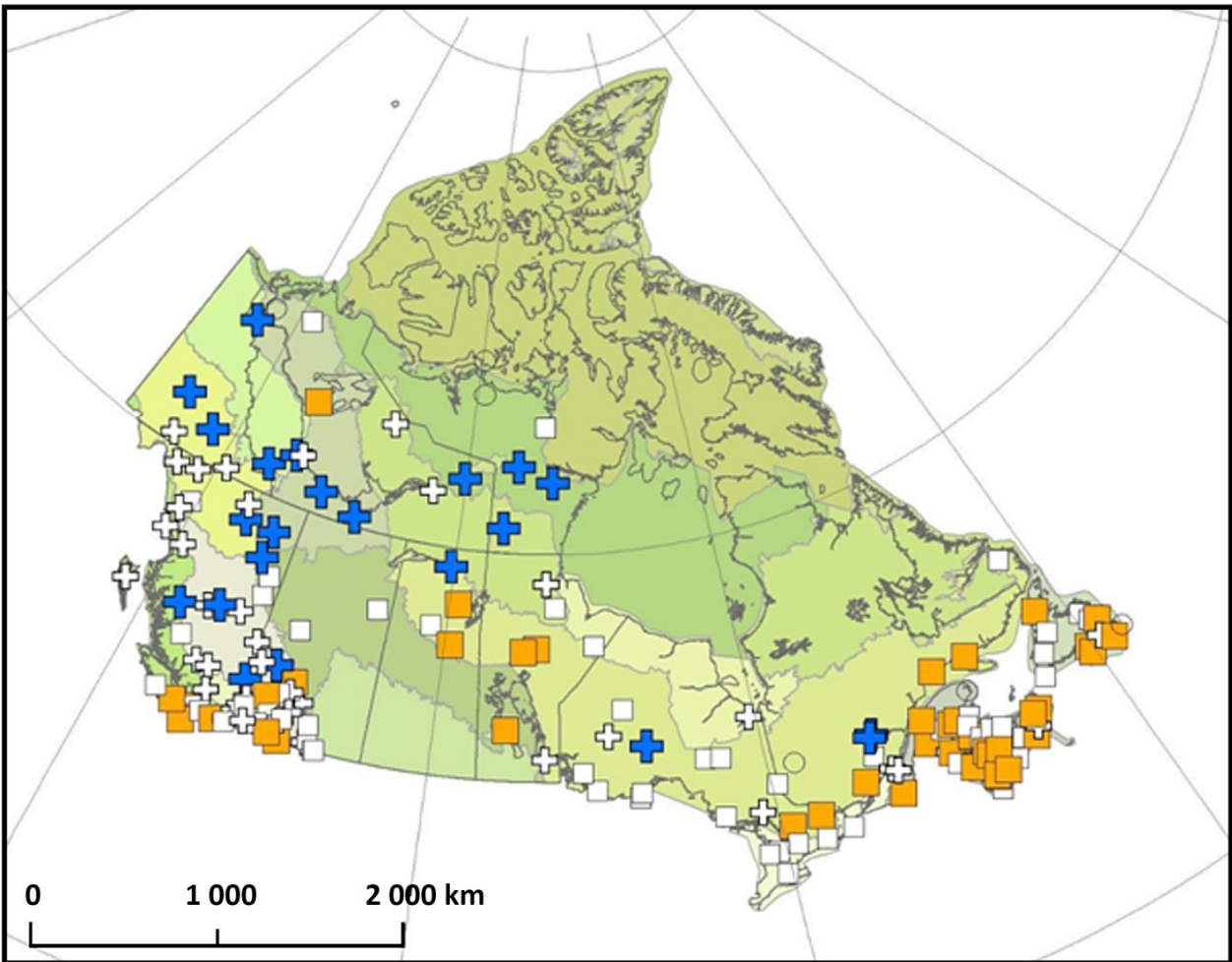


Figure 17. Carte illustrant les tendances du débit minimal sur un jour des rivières naturelles au Canada, d'après les données pour les années hydrologiques de 1970 à 2005
 + tendance à la hausse significative ($p < 0,1$); + tendance à la hausse ($p > 0,1$), ■ tendance à la baisse significative ($p < 0,1$); □ tendance à la baisse ($p > 0,1$), ○ aucune tendance

Pour l'ensemble de ces variables, les tendances observées pourraient refléter des changements réels dans les processus aquatiques. À titre d'exemple, il pourrait y avoir réduction des échanges de nutriments entre les rivières et les plaines inondables, de même que des étiages plus longs et perturbateurs. En général, un moins grand nombre de stations ont présenté des tendances statistiquement significatives pour ce qui est de l'écoulement maximal, toutes durées confondues (Figure 12 et Figure 18). Cependant, il semble y avoir eu une tendance à la baisse pour ce qui est de l'écoulement maximal entre 1970 et 2005 (Figure 18 et Figure 19). Sur le plan spatial, il semblait y avoir des tendances à la baisse significatives pour l'écoulement maximal sur un jour dans les Grands Lacs et le fleuve Saint-Laurent, mais les autres tendances ne décrivaient aucun profil spatial clair (Figure 19). Les variables de l'écoulement maximal pour des courtes et moyennes durées (de 3 à 30 jours) ont indiqué des tendances à la baisse dans les cas des groupes de stations dans l'est et le sud-ouest du Canada. Les profils spatiaux pour l'écoulement maximal sur 90 jours reflètent des tendances à la baisse dans les stations en basse latitude, mais un plus grand nombre de tendances à la hausse significatives dans les zones côtières de l'ouest et les stations en haute latitude. Des

profils spatiaux importants ont été constatés dans les tendances à la baisse dans l'est et le sud-ouest du Canada, alors que des tendances à la hausse se sont dessinées dans le nord-ouest du pays.

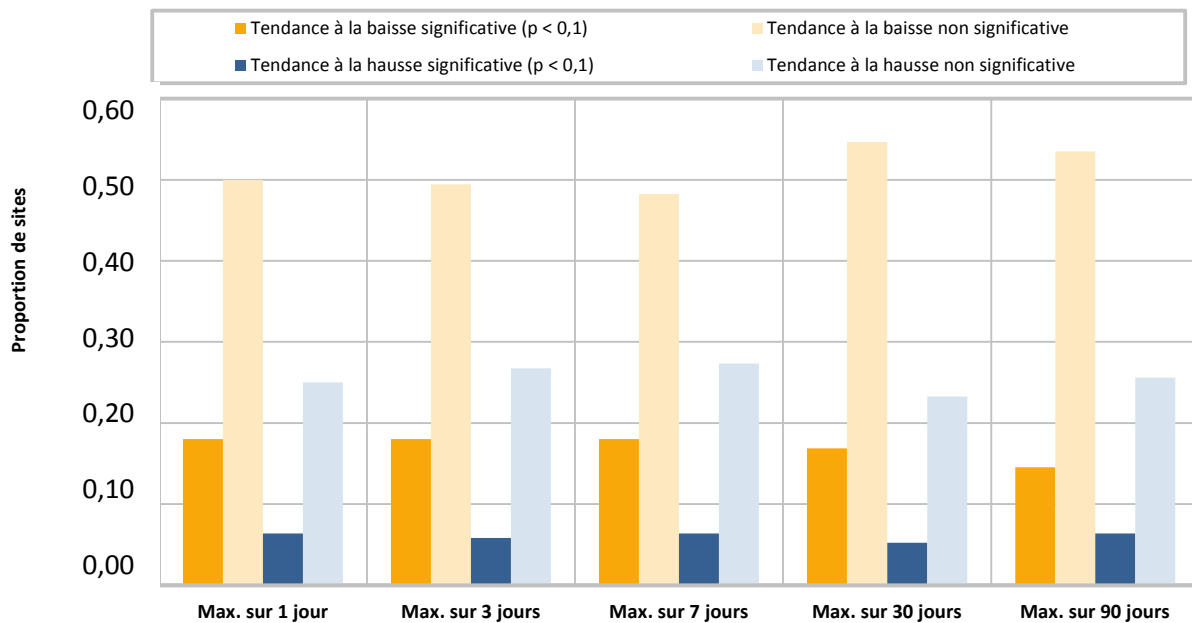


Figure 18. Tendances relatives à l'ampleur de l'écoulement maximal sur 1 jour, 3 jours, 7 jours, 30 jours et 90 jours pour les stations du réseau hydrométrique de référence, d'après les données pour les années hydrologiques de 1970 à 2005

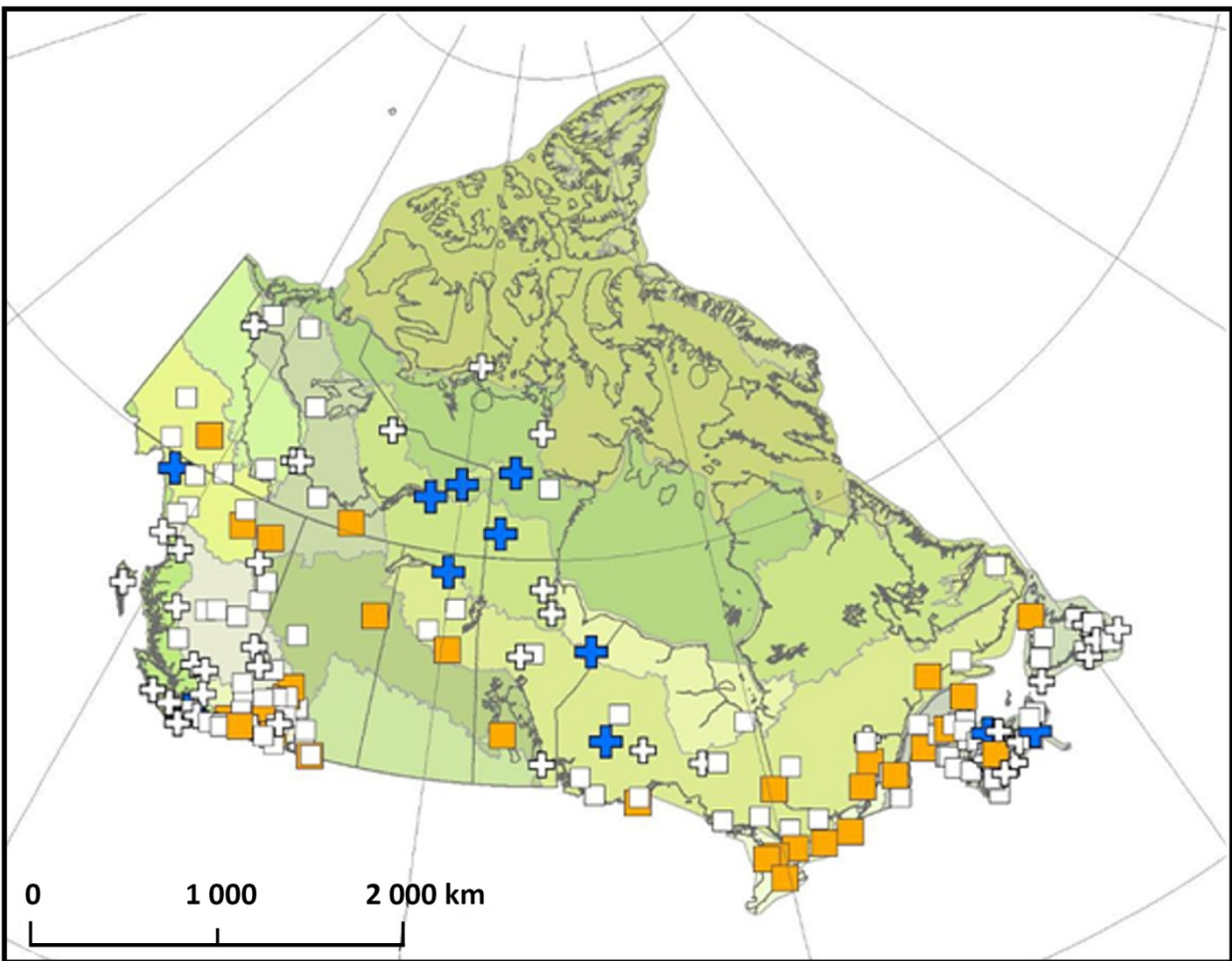


Figure 19. Carte illustrant les tendances du débit maximal sur un jour des rivières naturelles au Canada, d'après les données pour les années hydrologiques de 1970 à 2005

+ tendance à la hausse significative ($p < 0,1$); + tendance à la hausse ($p > 0,1$); ■ tendance à la baisse significative ($p < 0,1$); □ tendance à la baisse ($p > 0,1$); ○ aucune tendance

Sommaire des tendances selon l'écozone⁺

Écozone⁺ maritime de l'Atlantique (n = 34; Figure 17, Figure 19 et Figure 13)

Peu de stations ont présenté des tendances significatives ($p < 0,1$) dans le cas de l'écoulement mensuel moyen, à l'exception des mois de mai et de juin où 19 et 17 des 34 stations, respectivement, ont connu une diminution importante et du mois d'août où 19 des 34 stations ont aussi connu une diminution importante. Toutes les stations affichant un changement statistiquement significatif (en moyenne 20 des 34 stations) ont présenté une diminution du débit minimal, toutes durées confondues. De plus, la majorité des autres stations non significatives (en moyenne 13 sur 34) démontraient une tendance à la réduction du débit minimal. Même si la variable décrivant les conditions du débit de base ne présentait pas de fortes tendances significatives (10 sur 34), la plupart des stations (23 sur 34) ont démontré une tendance à la réduction de la valeur. La majorité des stations ont aussi présenté des réductions du débit maximal, toutes durées confondues, soit une moyenne de cinq stations affichant des tendances à la baisse significatives et aucune station ne démontrant une tendance à la hausse significative. Une moyenne supplémentaire de 19 stations ont affiché une tendance à la baisse non significative.

Écozone⁺ de la forêt boréale de Terre-Neuve (n = 12; Figure 17, Figure 19 et Figure 14)

Peu de stations démontrent des tendances significatives pour ce qui est de l'écoulement mensuel, à l'exception du mois d'août où la moitié des stations ont présenté une diminution statistiquement significative. La majorité des stations ont affiché une diminution de l'écoulement minimal, toutes durées confondues. Il n'y avait aucun profil clair de l'écoulement maximal : une partie des stations présentaient des tendances à la hausse et une autre partie, des tendances à la baisse.

Écozone⁺ du bouclier boréal (n = 31; Figure 17, Figure 19 et Figure 13)

Quelques stations ont affiché une tendance statistiquement significative pour l'écoulement mensuel à un niveau de 10 %, à l'exception des mois d'août et de septembre où 10 et 9 des 31 stations, respectivement, ont indiqué des tendances à la baisse de l'écoulement estival tardif. L'absence de tendances directionnelles claires peut être associée au gradient longitudinal considérable propre à l'écozone⁺. Une plus grande proportion de stations ont présenté des tendances à la baisse significatives pour ce qui est des variables de l'écoulement minimal et maximal, et la majorité des autres stations ont indiqué une tendance à la réduction.

Écozone⁺ de la taïga des plaines (n = 11; Figure 17, Figure 19 et Figure 13)

Sept des 11 stations ont affiché une augmentation statistiquement significative de l'écoulement en hiver et au début du printemps (de janvier à mars). De fortes tendances à la hausse significatives de l'écoulement minimal ont été observées dans le cas de six stations en moyenne au sein de cette écozone⁺, et la majorité des autres stations indiquaient aussi une tendance à l'augmentation. De plus, cinq stations ont affiché une augmentation marquée du débit de base. Toutefois, peu de tendances significatives ont été dégagées en ce qui concerne l'écoulement maximal.

Écozone⁺ de la cordillère montagnarde (n = 27; Figure 17, Figure 19 et Figure 14)

La majorité des stations n'ont pas affiché de tendances significatives en ce qui concerne l'écoulement mensuel moyen, à l'exception du mois d'avril où une forte tendance à la hausse s'est dessinée. Bien qu'elle ne soit pas statistiquement significative, une tendance à l'augmentation de l'écoulement minimal a été présentée par les stations, particulièrement dans le cas des variables de plus longues durées. La plupart des stations ont indiqué une baisse de l'écoulement maximal, souvent non significative.

Écozone⁺ maritime du Pacifique (n = 11; Figure 17, Figure 19 et Figure 13)

Les variables de la valeur médiane de l'écoulement mensuel présentaient très peu de tendances, quoiqu'il semblait y avoir une tendance globale à la baisse de l'écoulement à la fin de l'été (juillet, août et septembre). Une tendance à la baisse évidente a été relevée en ce qui concerne l'écoulement minimal, toutes durées confondues, tandis que la plupart des stations indiquaient une réduction marquée du débit de base. Inversement, la majorité des stations ont affiché une tendance à la hausse de l'écoulement maximal, mais celle-ci n'était pas significative en général.

Tendances relatives au moment, à la fréquence et à la durée des événements hydrologiques extrêmes

Bon nombre d'espèces réagissent en fonction du moment où surviennent les étiages et les crues, ce qui détermine les processus du cycle biologique; ces événements peuvent par exemple servir de signaux pour la reproduction des poissons migratoires ou fournir un accès aux habitats marginaux pendant la reproduction. Peu de stations ont présenté des tendances significatives pour ce qui est

du moment de l'écoulement minimal et de l'écoulement maximal sur un jour (Tableau 5 et Figure 20). Cependant, la majorité des stations (78 sur 172) ont présenté une tendance selon laquelle le débit minimal annuel surviendrait à une date ultérieure, tandis que 85 des 172 stations ont présenté une tendance selon laquelle le débit maximal annuel surviendrait à une date antérieure. Cette tendance est particulièrement importante, puisqu'elle est liée à la crue printanière annuelle pour la plupart des rivières. Le fait que l'écoulement annuel de pointe semble survenir plus tôt concorde avec les tendances de débâcle hâtive signalées antérieurement (voir la section *Tendances relatives à la débâcle et à l'englacement des rivières et des lacs*). Sur le plan géographique, les stations présentant un écoulement minimal sur un jour survenant plus tard se situaient principalement dans l'est du Canada et la région des Grands Lacs, tandis que les stations affichant un écoulement minimal sur un jour survenant plus tôt se trouvaient dans les zones sud et côtières de l'ouest du Canada, la région des Grands Lacs et le nord-est du pays. On observe des tendances qui indiquent un écoulement minimal sur un jour survenant plus tôt dans les hautes latitudes et le sud-est du Canada.

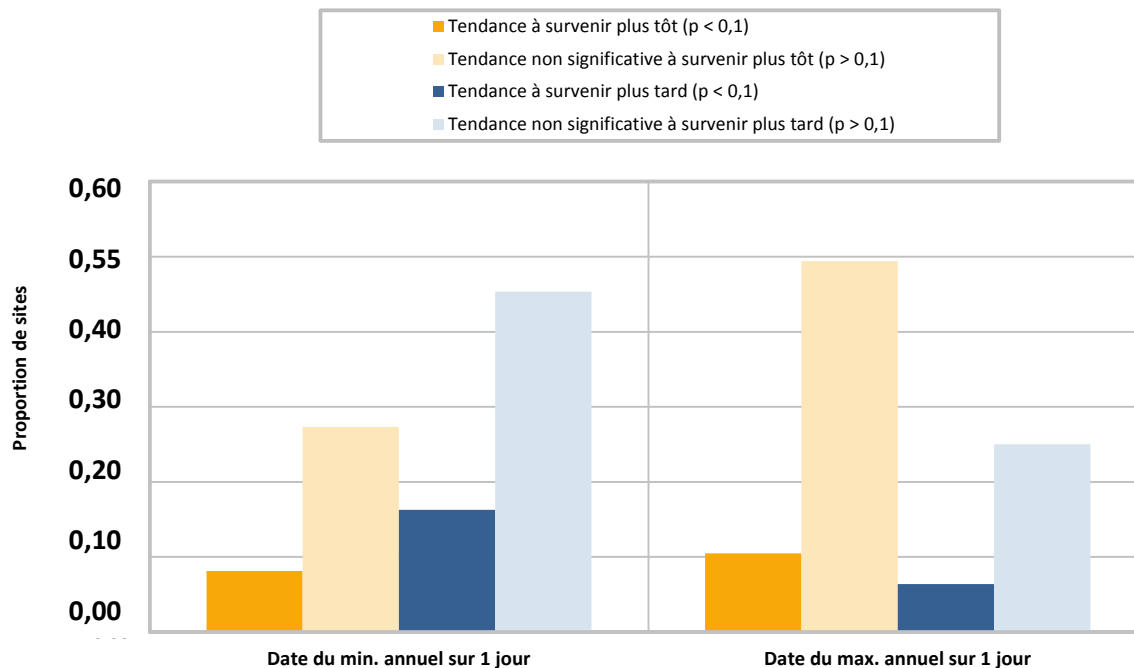


Figure 20. Tendances relatives à la date de l'écoulement minimal et de l'écoulement maximal annuels sur un jour pour les stations du réseau hydrométrique de référence, d'après les données pour les années hydrologiques de 1970 à 2005

L'exposition à des conditions d'écoulement extrêmes (étiages et crues) peut provoquer un stress chez les communautés aquatiques, en plus de nuire au milieu abiotique. Ces conditions extrêmes peuvent, par exemple, influencer sur le déplacement de la charge de fond de sédiments aquatiques et ainsi modifier la composition sédimentaire et provoquer des perturbations. Les étiages de longue durée peuvent limiter l'accès des oiseaux aquatiques et ainsi les empêcher de se nourrir, de se reposer et de se reproduire. Quelques stations ont présenté des tendances à la hausse ou à la baisse statistiquement significatives, l'orientation de la tendance étant partagée dans le cas des variables utilisées pour quantifier ces conditions extrêmes (Figure 21). Malgré le peu de tendances

significatives dans le nombre d'épisodes d'étiage, les stations de l'est du Canada ont démontré une tendance à la hausse (significative et non significative) pour ce qui est de la durée de ces épisodes (Figure 22). Les stations se trouvant dans l'ouest et le nord-ouest du Canada ont présenté des durées plus courtes (significatives et non significatives) en ce qui concerne les étiages, à l'exception de la partie sud de la cordillère montagnarde qui a affiché des tendances relatives à des plus longues durées des étiages.

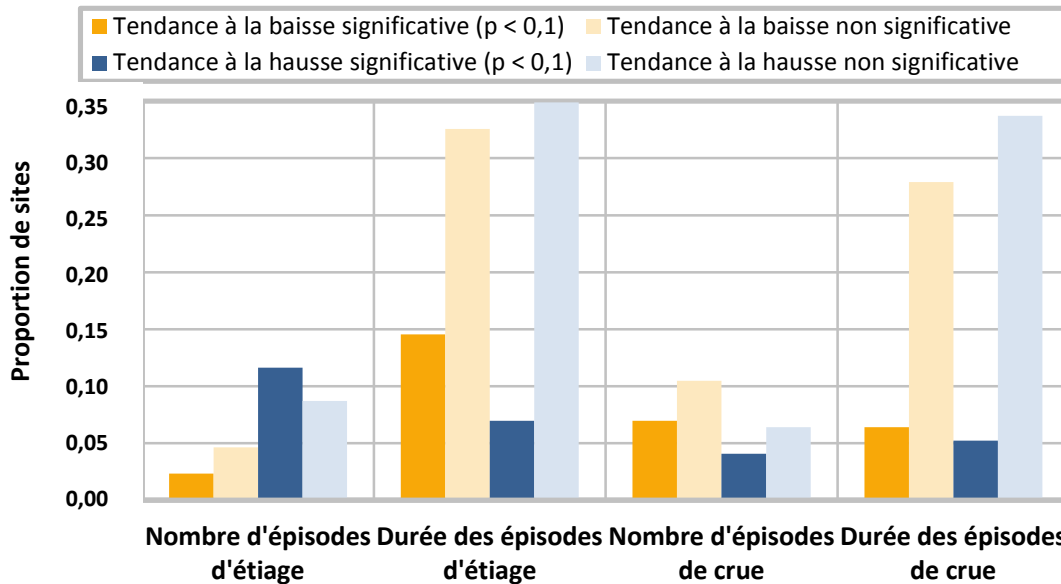


Figure 21. Tendances relatives à la fréquence et à la durée des épisodes d'étiage et de crue pour les stations du réseau hydrométrique de référence, d'après les données pour les années hydrologiques de 1970 à 2005

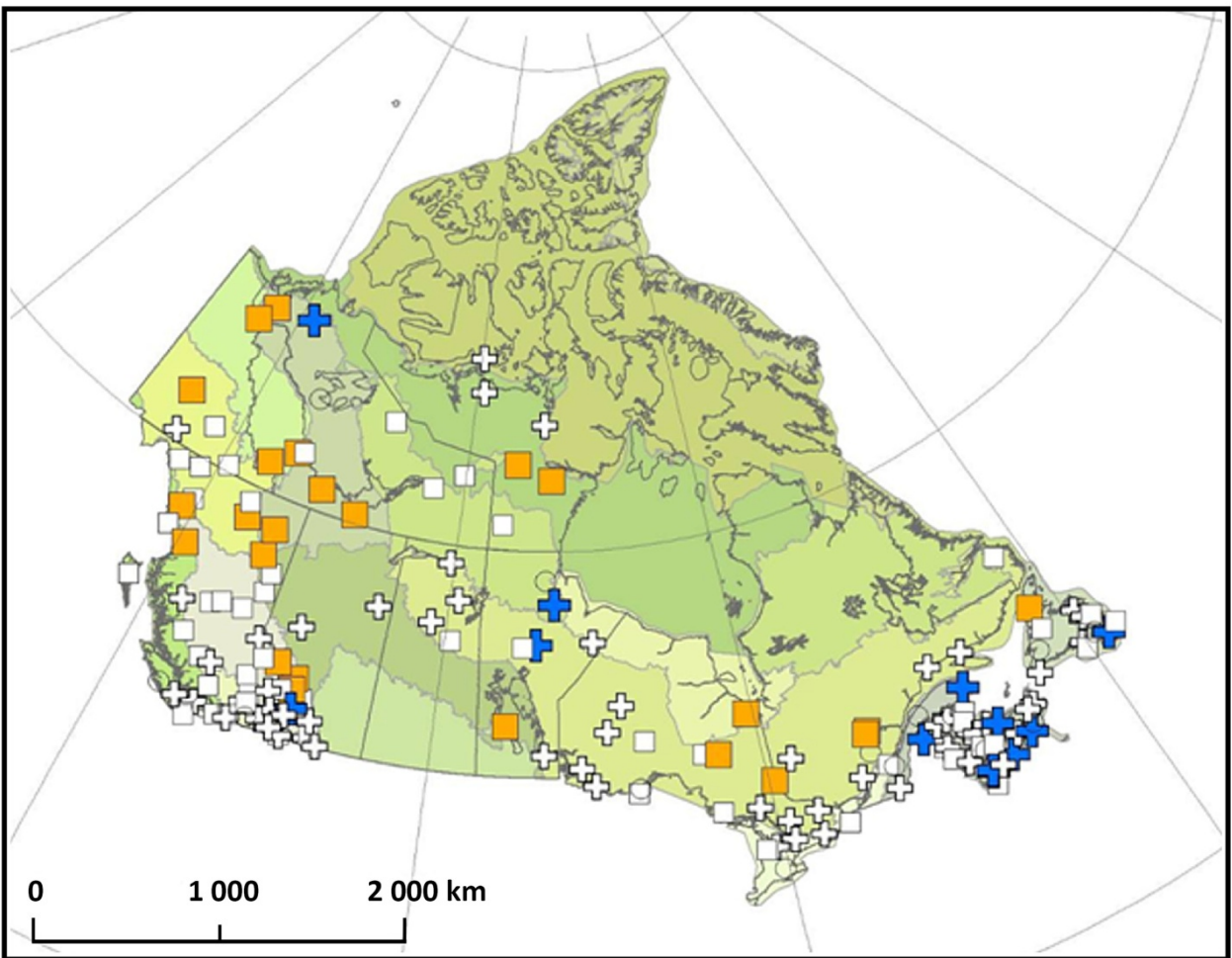


Figure 22. Carte illustrant les tendances relatives à la durée des épisodes d'étiage dans les rivières naturelles au Canada, d'après les données pour les années hydrologiques de 1970 à 2005

+ tendance à la hausse significative ($p < 0,1$); + tendance à la hausse ($p > 0,1$); ■ tendance à la baisse significative ($p < 0,1$); □ tendance à la baisse ($p > 0,1$); ○ aucune tendance

Sommaire des tendances selon l'écozone⁺

Écozone⁺ maritime de l'Atlantique (n = 34; Figure 13 et Figure 22)

Vingt des trente-quatre stations présentaient une tendance à la baisse pour ce qui est du nombre d'épisodes de crue. De plus, la majorité des stations ont démontré une tendance à l'augmentation de la durée des épisodes d'étiage, mais le profil relatif au nombre d'épisodes d'étiage n'était pas clair.

Écozone⁺ de la forêt boréale de Terre-Neuve (n = 12; Figure 14 et Figure 22)

La plupart des stations ont indiqué une tendance selon laquelle l'écoulement minimal et l'écoulement maximal annuels surviendraient à une date ultérieure. La tendance de l'écoulement maximal annuel à survenir plus tard n'est pas reflétée ailleurs au pays, la majorité des stations connaissant une crue printanière plus tôt.

Écozone⁺ du bouclier boréal (n = 31; Figure 13 et Figure 22)

Plus de la moitié des stations présentaient une tendance de l'écoulement maximal annuel à survenir à une date antérieure (18 des 31 stations), ce qui laisse supposer une crue printanière plus tôt. Une grande proportion de stations (19 sur 31) ont indiqué une tendance à l'augmentation de la durée des épisodes de crue.

Écozone⁺ de la taïga des plaines (n = 11; Figure 13 et Figure 22)

Les stations au sein de la région n'ont présenté aucun profil clair pour le nombre d'épisodes d'étiage et de crue ni pour la durée de ces épisodes. Toutefois, 7 des 11 stations ont indiqué une tendance à la baisse statistiquement significative ($p < 0,1$) relative à la durée des épisodes d'étiage.

Écozone⁺ de la cordillère montagnarde (n = 27; Figure 14 et Figure 22)

Bien qu'elle ne soit pas statistiquement significative, une tendance selon laquelle l'écoulement maximal surviendrait à une date antérieure a été démontrée par la majorité des stations. Il ne semblait y avoir aucune tendance claire pour ce qui est des épisodes de crue et d'étiage, sauf une tendance à la baisse de la durée des épisodes de crue.

Écozone⁺ maritime du Pacifique (n = 11; Figure 13 et Figure 22)

Les stations ont présenté une tendance selon laquelle l'écoulement maximal surviendrait à une date précoce, ce qui se traduit par la possibilité d'une crue printanière plus tôt. La durée des épisodes d'étiage tendait quant à elle à baisser.

Tendances relatives au caractère soudain des crues et des étiages

La variabilité de l'écoulement peut modifier la disponibilité des habitats et des nutriments. Même si les cours d'eau à crues soudaines naturels sont souvent considérés comme étant perturbés ou « hostiles » sur le plan écologique, une diminution du caractère soudain peut tout de même provoquer un stress chez les communautés aquatiques, puisque les organismes tentent de s'adapter aux nouvelles conditions. Plusieurs stations ont présenté des tendances significatives (à la fois à la hausse et à la baisse) pour ce qui est des variables quantifiant la variabilité du régime d'écoulement annuel (50 pour la vitesse d'augmentation, 36 pour la vitesse de diminution et 70 pour le nombre d'inversions sur l'hydrogramme⁷, et ce, sur les 172 stations) (Tableau 5 et Figure 23). Il est intéressant de noter qu'un plus grand nombre de stations ont connu des augmentations statistiquement significatives en ce qui concerne la variabilité de l'écoulement annuel quantifiée par le nombre d'inversions (52 des 172 stations affichant des tendances significatives et 43 autres stations présentant une tendance à l'augmentation) (Figure 23). Sur le plan spatial, ces stations se trouvaient principalement dans l'ouest et le nord-ouest du Canada, en plus de certaines stations situées dans le sud-est du pays (Figure 24).

⁷ Le nombre d'inversions sur l'hydrogramme quantifie la variabilité du régime d'écoulement en calculant le nombre de fois que le débit passe soit d'une augmentation à une diminution, soit d'une diminution à une augmentation. Ces inversions peuvent avoir un effet direct sur les communautés aquatiques. Par exemple, les macroinvertébrés n'ont souvent pas la mobilité requise pour s'adapter au changement rapide des conditions (The Nature Conservancy, 2007).

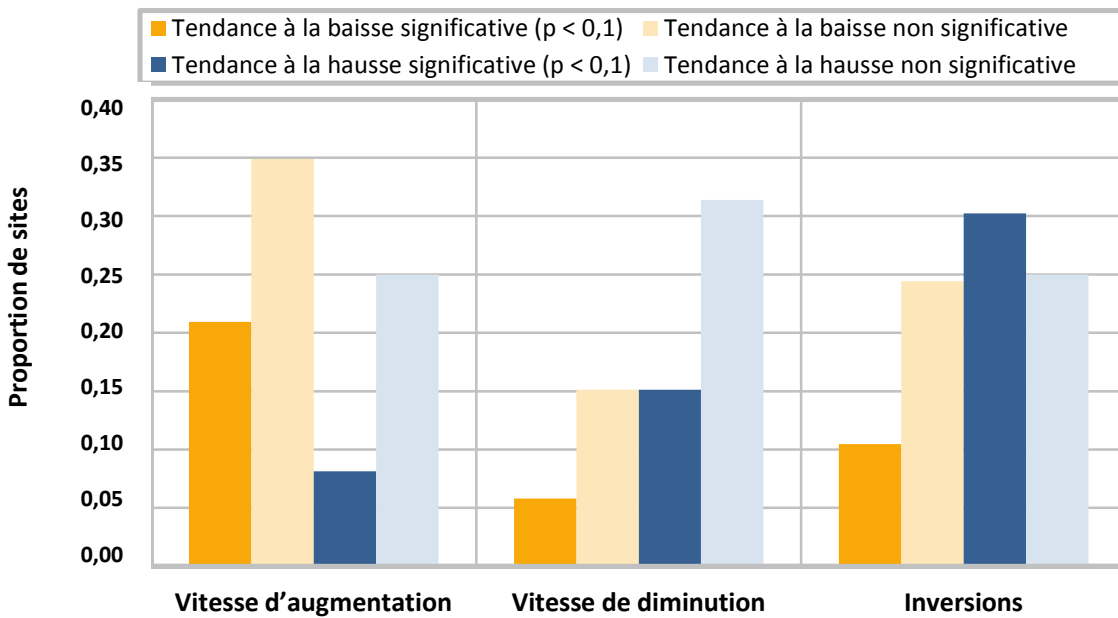


Figure 23. Tendances relatives à la variabilité de l'écoulement pour les stations du réseau hydrométrique de référence, d'après les données pour les années hydrologiques de 1970 à 2005

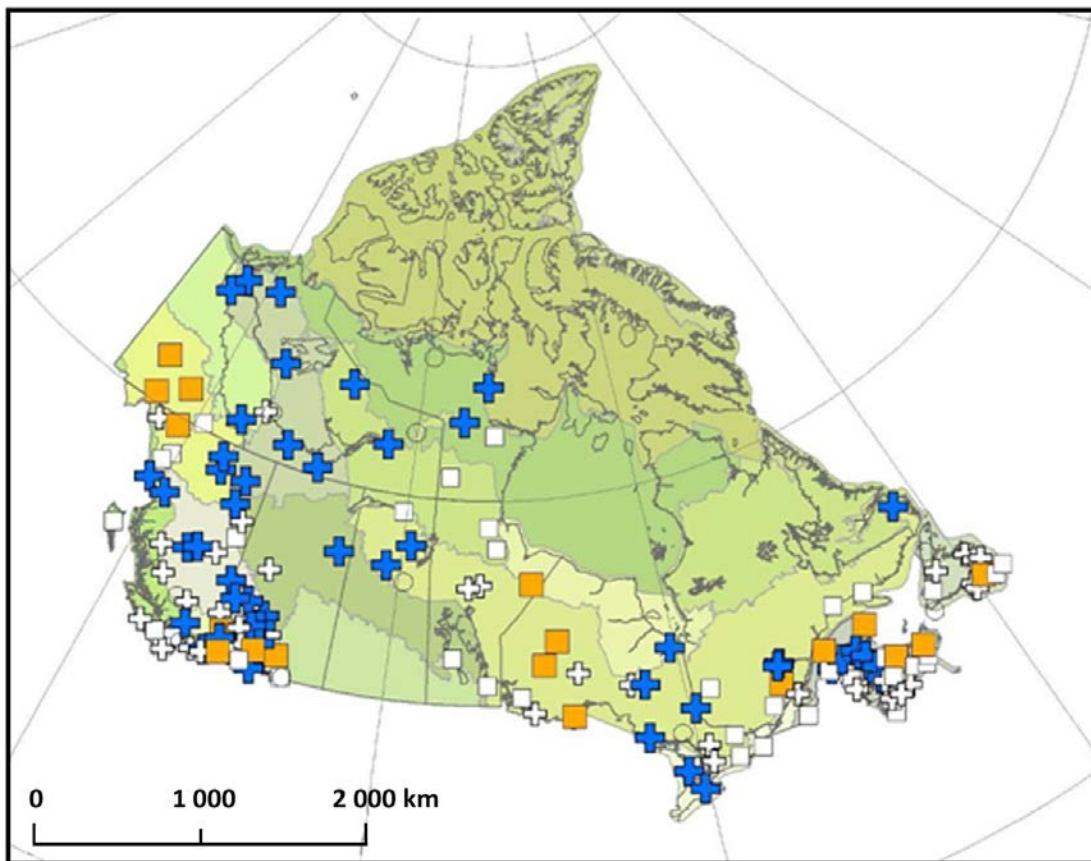


Figure 24. Carte illustrant les tendances relatives au nombre d'inversions sur l'hydrogramme pour les rivières naturelles au Canada, d'après les données pour les années hydrologiques de 1970 à 2005

+ tendance à la hausse significative ($p < 0,1$); + tendance à la hausse ($p > 0,1$); ■ tendance à la baisse significative ($p < 0,1$); □ tendance à la baisse ($p > 0,1$); ○ aucune tendance

Sommaire des tendances selon l'écozone⁺

Écozone⁺ maritime de l'Atlantique (n = 34; Figure 13 et Figure 24)

Des tendances à la baisse relatives aux vitesses d'augmentation se sont dessinées dans le cas de 11 stations, et 16 autres stations ont affiché une tendance à la diminution. Inversement, 10 stations ont présenté une tendance à la hausse en ce qui concerne les vitesses de diminution, et 20 autres stations ont affiché une tendance à l'augmentation. Cependant, le nombre d'inversions ne décrivait aucune tendance directionnelle.

Écozone⁺ de la forêt boréale de Terre-Neuve (n = 12; Figure 14 et Figure 24)

Peu de tendances significatives ont été dégagées pour ce qui est de la variabilité (étiages et crues, vitesses d'augmentation et de diminution, nombre d'inversions). Cependant, la majorité des stations présentaient une tendance à l'augmentation de la vitesse de diminution.

Écozone⁺ du bouclier boréal (n = 31; Figure 13 et Figure 24)

Le quart des stations ont affiché une augmentation marquée du nombre d'inversions du débit reflétée dans une hausse de la vitesse de diminution et une baisse de la vitesse d'augmentation. Ces résultats indiquent une variabilité accrue de l'écoulement et, du même coup, des habitats dans les rivières de cette écozone⁺.

Écozone⁺ de la taïga des plaines (n = 11; Figure 13 et Figure 24)

La plupart des stations (9) ont présenté une tendance à la hausse significative du nombre d'inversions et les deux autres stations ont affiché une tendance à l'augmentation. Cela indique une augmentation de la variabilité de l'écoulement, ce qui laisse croire à un stress hydrologique potentiellement accru dans le réseau.

Écozone⁺ de la cordillère montagnarde (n = 27; Figure 14 et Figure 24)

La majorité des stations présentaient une tendance à la baisse des vitesses d'augmentation, cette tendance étant significative dans cinq cas ($p < 0,1$). De plus, une tendance à la hausse de la vitesse de diminution s'est dégagée. Cela se reflète pour la plupart des stations qui présentent une tendance à la hausse relative à la variabilité de l'écoulement quantifiée par le nombre d'inversions du débit, cette tendance étant statistiquement significative dans 13 cas ($p < 0,1$).

Écozone⁺ maritime du Pacifique (n = 11; Figure 13 et Figure 24)

Les stations ont présenté une tendance à la hausse en ce qui concerne les vitesses d'augmentation et de diminution, en plus du nombre d'inversions. Cela indique une variabilité accrue dans ces rivières, comme en témoignent les autres variables.

Sommaire des tendances hydroécologiques

L'analyse non paramétrique Mann-Kendall, qui visait à cerner les tendances dans les variables hydroécologiques du réseau hydrométrique de référence du Canada, a permis de relever des profils spatiaux et temporels pour la période 1970-2005. En utilisant les variables des indicateurs d'altération hydrologique (Richter *et al.*, 1996), la quantification des tendances dans les habitats hydrologiques qui ont une importance sur le plan écologique a été entreprise.

Peu de rivières faisant l'objet d'une surveillance ont montré des tendances significatives pour ce qui est de la valeur médiane de l'écoulement mensuel, sauf en avril et en août. En ce qui a trait à l'écoulement maximal et minimal, très peu de tendances statistiquement significatives se sont dessinées à l'échelle du pays. Cependant, pour ces deux variables, la plupart des tendances significatives étaient à la baisse. En plus des stations importantes, le tiers de celles-ci présentaient une tendance à la baisse des débits minimaux, tandis qu'un peu plus de la moitié des stations ont indiqué une tendance à la baisse des débits maximaux. La diminution de l'écoulement qui en résulte a des répercussions considérables – il suffit de penser, par exemple, aux effets sur la disponibilité des habitats pour les communautés aquatiques. Cependant, une variabilité spatiale a été constatée dans le cas de ces tendances relatives à l'écoulement minimal et à l'écoulement maximal. Par exemple, les stations se trouvant dans l'écozone⁺ de la taïga des plaines et l'écozone⁺ maritime du Pacifique affichaient une augmentation de ces variables, tandis que les autres écozones⁺ étudiées présentaient une diminution globale.

Une plus grande proportion des stations importantes ont présenté une tendance significative selon laquelle l'écoulement maximal annuel sur un jour surviendrait à une date précoce, et un autre 56 % des stations affichaient cette même tendance. Comme l'écoulement annuel maximal sur un jour survient souvent pendant la crue printanière, cela laisse croire à une débâcle hâtive. Si on tient compte du fait que l'englacement tend à survenir plus tard (voir la section *Tendances relatives à la débâcle et à l'englacement des rivières et des lacs* ci-dessous), cela indique un prolongement de la saison des eaux libres, ce qui aura un impact sur l'écosystème aquatique. La majorité des stations ne révèlent pas de tendances significatives en ce qui concerne la fréquence et la durée des épisodes extrêmes de crue et d'étiage. Cependant, la plupart des stations ont indiqué une tendance à la baisse de la vitesse d'augmentation, une tendance à la hausse de la vitesse de diminution et une tendance à l'augmentation du nombre d'inversions, ce qui laisse entendre une tendance à l'augmentation de la variabilité du débit.

TENDANCES RELATIVES À LA DÉBÂCLE ET À L'ENGLACEMENT DES RIVIÈRES ET DES LACS

La couverture de glace joue un rôle fondamental dans les processus biologiques, chimiques et physiques qui forment les écosystèmes d'eau douce (par exemple Prowse, 2001a; Prowse, 2001b; Prowse et Culp, 2003; Huusko *et al.*, 2007; Prowse *et al.*, 2007b) et a un impact sur les structures artificielles (par exemple Jasek, 1998; Beltaos *et al.*, 2006). Les régimes hydrologiques de 58 % des rivières de l'hémisphère Nord sont influencés par la couverture de glace saisonnière, 29 % de ces rivières étant caractérisées par une couverture étendue (Prowse, 2005; Bennett et Prowse, 2010). Prowse (2005) a constaté que la glace saisonnière pouvait se former vers le sud jusqu'au 33^e degré de latitude nord en Amérique du Nord et jusqu'au 26^e degré de latitude nord en Eurasie, influant ainsi sur 7 des 15 plus grandes rivières au monde et 11 des 15 plus grands lacs au monde (Prowse *et al.*, 2007a). Le Canada se situe au nord du 48^e degré de latitude nord et les lacs et rivières qu'il renferme (dans l'ensemble des écozones⁺) sont influencés par la glace, qu'il s'agisse de glace pelliculaire périodique dans les régions tempérées du sud ou de glace de plus de 2 m d'épaisseur dans les régions des hautes latitudes.

La glace de rivière constitue une composante essentielle du régime d'écoulement dans les régions froides en raison de son effet hydraulique sur le niveau d'eau et de sa capacité de limiter ou de

modifier l'écoulement et de réduire les échanges de gaz dans les lacs. L'englacement, la couverture de glace et la débâcle peuvent entraîner des effets directs (notamment sur le moment et l'ampleur des événements hydrologiques extrêmes tels que les étiages et les crues d'embâcle – par exemple Beltaos *et al.*, 2006) et indirects sur le régime hydrologique. Ces changements peuvent modifier considérablement la géomorphologie des chenaux (notamment en entraînant l'affouillement du lit), modifier les processus chimiques aquatiques et influencer sur les communautés écologiques aquatiques. En outre, la couverture de glace sert de séparation entre l'eau mouvante ou stagnante des rivières et des lacs et l'atmosphère et limite l'apport d'énergie du soleil, ce qui influence sur les processus physicochimiques et biologiques principaux (p. ex. concentration de gaz dissous et capacité photosynthétique). Malgré l'importance évidente des processus liés à la glace pour les écosystèmes d'eau douce, les données de surveillance biologique à long terme se rapportant à la saison des glaces sont limitées et très peu d'ensembles de données qui permettent d'analyser les tendances existent.

Prowse et Culp (2003) présentent en détail les effets de la glace sur les communautés écologiques aquatiques. Les communautés aquatiques sont vulnérables à tout changement dans les régimes hydrologiques, cryosphériques et atmosphériques. En général, le cycle biologique de bon nombre d'organismes aquatiques est touché directement et indirectement par la durée pendant laquelle la couverture de glace demeure en place, la température de l'eau et la variabilité hydrologique (voir les exemples du Tableau 6). En analysant des données de 1991 à 1998 se rapportant à une zone alpine de l'ouest de la Norvège, Borgstrøm (2001) a constaté qu'il y avait une corrélation négative entre les taux de croissance annuels de la truite brune (*Salmo trutta*) et la profondeur de la neige printanière. Les résultats indiquent que pendant les années caractérisées par une neige profonde (1992-1995), le taux de croissance annuel moyen pour les poissons des groupes d'âge 6 à 8 était réduit d'environ 50 % par rapport aux années où il y avait moins de neige au printemps (1991 et 1996). Une autre étude menée par Cunjak *et al.* (1998) a indiqué que la variabilité interannuelle de la survie des saumons atlantiques juvéniles dans le ruisseau Catamaran, au Nouveau-Brunswick, augmentait plus l'écoulement moyen en hiver était élevé, mais que les plus hauts taux de mortalité étaient associés aux débâcles et aux embâcles déclenchés par la fonte des neiges causée par la pluie.

Tableau 6. Sommaire de l'analyse documentaire concernant les changements de l'habitat physique et les effets directs et indirects sur la biodiversité et la disponibilité des habitats dans les rivières touchées par la glace

	Changements de l'habitat physique	Impacts sur la biodiversité	Exemples d'étude
Englacement	Baisse de la température de l'eau	<ul style="list-style-type: none"> • Ralentissement du métabolisme (-) • Réduction des besoins alimentaires (-) • Diminution de l'activité (-) 	
	Réduction du nombre d'habitats et de leur qualité	<ul style="list-style-type: none"> • Déplacement des poissons juvéniles vers des habitats hivernaux plus propices (-) 	Rimmer <i>et al.</i> (1984)
	Création de nouveaux refuges (p. ex. glace de rive)	<ul style="list-style-type: none"> • Protection contre la prédation (+) • Refuges où le débit est plus faible (+) 	

	Formation de frasil	<ul style="list-style-type: none"> • Fournit un milieu d'incubation pour le poulamon atlantique (<i>Microgadus tomcod</i>) (+) • Abrasion des branchies (-) • Obturation des branchicténies (-) • Éloignement des poissons des habitats où le débit est plus favorable (-) 	Power <i>et al.</i> (1993)
	Eau en surfusion / formation de glace de fond	<ul style="list-style-type: none"> • Mortalité importante des invertébrés benthiques et des poissons (œufs/juvéniles) (-) • La glace présente dans les habitats de frai réduit l'apport d'oxygène aux nids de frai (-) • La modification du régime d'écoulement entraîne l'échouement et la suffocation (-) • Accroissement de la dérive en aval lorsque la glace de fond se libère (-) • Modification de l'utilisation de l'habitat 	Power <i>et al.</i> (1993) Stickler <i>et al.</i> (2008)
	Baisse de l'écoulement et du niveau d'eau des rivières	<ul style="list-style-type: none"> • Exposition des nids de frai (-) 	Cunjak <i>et al.</i> (1998)
Hiver	Accroissement de la glace dans la zone littorale	<ul style="list-style-type: none"> • Les organismes migrent plus en profondeur (-) • Entrent en diapause (-) • Peuvent hiverner dans la glace de fond (-) • Mortalité associée à l'exposition prolongée à de basses températures (-) • Ralentissement du métabolisme chez les saumons atlantiques juvéniles 	Li <i>et al.</i> (2007) Finstad <i>et al.</i> (2004)
	Formation de clairières isolées causant une perturbation de l'habitat	<ul style="list-style-type: none"> • Fournit un habitat d'hivernation pour certaines espèces de poissons (+) • Utilisation d'un habitat alimenté par une source pour l'hivernation des œufs et la fourniture de nourriture (+) • Effet sur les relations prédateur/proie (-) 	
	Formation de cavités glaciaires servant d'habitats	<ul style="list-style-type: none"> • Accès à la rive pour les mammifères aquatiques (+) • Des cavités d'air bien isolées fournissent un habitat (+) • Stress pour la végétation aquatique (-) • La couverture de glace qui demeure longtemps en place peut réduire les sources alimentaires (p. ex. périphyton) (-) 	
	Réduction de la teneur en oxygène dissous	<ul style="list-style-type: none"> • Vulnérabilité accrue au stress, à la prédation et aux contaminants (-) • Effets sublétaux (p. ex. changements dans les fonctions cardiaques et métaboliques, réduction de la croissance et de la capacité de nage) (-) • Destruction localisée des poissons par l'hiver associée à la surpopulation dans les habitats (-) 	
	Affouillement du lit	<ul style="list-style-type: none"> • Faibles taux de survie des œufs et des poissons juvéniles (-) • Perte/modification de la végétation aquatique et riveraine (-) • Les larves de macroinvertébrés peuvent présenter un comportement d'évitement en utilisant le substrat comme refuge (-) 	Cunjak <i>et al.</i> (1998) Cameron et Lambert (1971) Scrimgeour <i>et al.</i> (1994)

Transport de gros matériaux de charge de fond	<ul style="list-style-type: none"> • Perte d'habitat (-) • Influe sur le taux de survie des œufs et des poissons juvéniles (-) • L'impact dépend grandement du moment où survient la débâcle (-) 	Cunjak <i>et al.</i> (1998)
Crues d'embâcle	<ul style="list-style-type: none"> • Maintien du niveau d'eau dans les étangs riverains et les milieux humides (+) 	Prowse et Culp (2003)
Changements dans le niveau d'eau	<ul style="list-style-type: none"> • Échouement et suffocation des poissons (-) 	Needham et Jones (1959) Cott <i>et al.</i> (2008) Clague et Evans (1997)
Taux élevés de sédiments	<ul style="list-style-type: none"> • Productivité accrue associée à l'augmentation de la quantité de matière organique (+) • Réduction de la diversité et de l'abondance des espèces en raison de la perte d'habitat (quantité et qualité) (-) • L'effet est souvent immédiat chez les invertébrés benthiques, mais se manifeste plus tard chez les poissons (-) 	Elwood et Waters (1969)

Les études antérieures sur la variabilité de la couverture de glace sur les lacs et les rivières d'eau douce du Canada sont limitées quant à leur portée géographique; elles portent principalement sur des paramètres phénoménologiques, comme le moment où surviennent l'englacement en automne et la débâcle au printemps (par exemple Williams, 1970; Brimley et Freeman, 1997; Jasek, 1998; Lacroix *et al.*, 2005). La date de l'englacement correspond à la première journée où le plan d'eau est complètement couvert de glace, tandis que la date de la débâcle correspond à la journée où la dernière glace est observée, avant la période des eaux libres. Jusqu'ici, les recherches sur les tendances quant à la débâcle et à l'englacement des lacs et rivières étaient limitées en raison du manque d'observations à long terme de paramètres uniformes et définis de façon objective. Au Canada, la surveillance de la couverture de glace a commencé en 1822 au havre de Toronto, sur le lac Ontario, et d'autres sites se sont ajoutés au réseau au fil des ans (Power *et al.*, 1993; Wania et Mackay, 1993). Même si la Canadian Ice Database (base de données canadienne sur les glaces) contient 63 656 enregistrements couvrant la période de la saison des glaces de 1822-1823 à celle de 2000-2001, le réseau a connu une compression considérable au cours des dernières années en raison du manque de financement (Lenormand *et al.*, 2002). À titre d'exemple, le réseau de l'englacement et de la débâcle pour la saison des glaces 2000-2001 représentait seulement 4 % du réseau de 1985-1986 (Lenormand *et al.*, 2002). Les récents progrès réalisés dans le domaine de l'analyse par imagerie satellitaire (Brown et O'Neill, 2002) et la mise sur pied de Veille au gel, un programme national de surveillance volontaire des glaces (Environnement Canada et Attention glace, 2008), pourraient permettre d'élargir le réseau actuel et d'accroître la base d'information spatiale pour les zones en grande partie habitées du Canada.

Une étude récente s'est penchée sur les tendances à long terme dans les données sur les glaces des lacs qui remontaient jusqu'à 1822 pour l'ensemble du Canada (Environnement Canada et Attention glace, 2008). Les données de Veille au gel, un programme de surveillance effectuée par des bénévoles, ont été combinées aux données recueillies par le Service météorologique du Canada et le Service canadien des glaces. Parmi les 950 sites dans la base de données, près du tiers n'étaient représentés que par une ou deux années de données (Environnement Canada et Attention glace, 2008). En limitant l'analyse aux sites pour lesquels les données couvraient une période d'au moins

huit ans et les dernières observations avaient été effectuées en 1990 ou après, une analyse Mann-Kendall non paramétrique a été réalisée sur des séries chronologiques, laquelle a montré que dans 15 des 195 sites, l'englacement tendait à survenir plus tôt ($p < 0,05$) et que dans 15 autres sites, l'englacement tendait à survenir plus tard, les tendances étant significatives dans les deux cas ($p < 0,05$) (Environnement Canada et Attention glace, 2008). Des tendances se sont également dessinées relativement au moment où survient le dégel printanier : selon des tendances significatives, la fonte surviendrait plus tôt à 40 des 258 sites ($p < 0,05$) et plus tard à seulement cinq sites ($p < 0,05$) (Environnement Canada et Attention glace, 2008). L'examen des sites présentant des tendances non significatives révèle que 168 des 258 sites démontrent une tendance selon laquelle la fonte printanière surviendrait plus tôt comparativement aux 75 sites affichant une tendance selon laquelle la fonte printanière surviendrait plus tard, bien que ces tendances ne soient pas statistiquement significatives (Environnement Canada et Attention glace, 2008). En étudiant plus en profondeur les résultats, il est clair que les changements dans la fonte des glaces des lacs étaient beaucoup plus rapides de 1950 à aujourd'hui que pendant la première moitié du XX^e siècle (Environnement Canada et Attention glace, 2008).

La période d'enregistrements était toutefois variable pour chaque site dans l'analyse, c'est pourquoi les données ont été examinées de nouveau pour fournir une analyse additionnelle en utilisant des quantités et des périodes uniformes. Des données ont été sélectionnées pour deux analyses différentes : 1) période de 1970-2002, avec des données sur au moins 25 années; 2) période de 1900-2000, avec des données sur au moins 80 années. Ces périodes ont été choisies pour maximiser le nombre de sites à analyser tout en assurant un contrôle rigoureux de la qualité des données. Soulignons toutefois que les variables n'étaient pas toutes disponibles pour chacune des années, le gauchissement étant plutôt vers les variables relatives à la débâcle. En outre, même si des données plus récentes étaient disponibles (jusqu'à 2007 dans cet ensemble de données), aucune information à long terme n'existait pour les années ultérieures. Pour l'analyse, la stratégie employée est la même que celle utilisée pour produire le rapport de Veille au gel (2008a) en ce qui concerne la sélection et le traitement des variables. Pour la période de 1970 à 2002, un seul des vingt-quatre sites pour lesquels des données adéquates existaient présentait un englacement qui tendait à survenir plus tard, cette tendance étant significative ($p < 0,05$). Les autres sites ne présentaient aucune tendance pour ce qui est du moment où survenait l'englacement. L'analyse des dates de débâcle révèle que dans 8 des 69 sites, la débâcle tendait à survenir plus tôt, cette tendance étant statistiquement significative ($p < 0,05$). Pour une grande proportion des sites restants (46 sur 69), la débâcle tendait à survenir plus tôt, alors qu'elle tendait à survenir plus tard sur 14 sites, ce qui concorde avec les résultats du rapport initial de Veille au gel. Des 14 sites pour lesquels existaient des données à long terme pour l'analyse (1900-2000), un seul site présentait une tendance statistiquement significative qui indiquait une débâcle hâtive, ceci au niveau de 10 %. Par contre, 10 des 14 sites montraient une tendance non significative qui indiquait une débâcle hâtive. Les trois sites pour lesquels existaient des données sur l'englacement affichaient une tendance significative ($p < 0,01$) qui indiquait un englacement tardif.

Malgré le manque de données à long terme provenant d'un réseau étendu, Magnuson *et al.* (2000) ont constaté des signes constants d'un englacement tardif et d'une débâcle hâtive (voir les exemples de lacs et de rivières du Canada aux Tableau 7 et Tableau 8). L'analyse des données provenant de 39 lacs et rivières dans l'ensemble de l'hémisphère Nord entre 1846 et 1995 a révélé que l'englacement survenait en moyenne 5,8 jours plus tard d'un siècle à l'autre, et que la débâcle

survenait en moyenne 6,5 jours plus tôt. Ces résultats étaient sans doute dus en grande partie à la hausse d'environ 1,2 °C par siècle de la température moyenne de l'air. Trois des sites (Russie, Finlande et Japon) possédaient des enregistrements qui remontaient au XVIII^e siècle. Ceux-ci indiquent que des tendances étaient déjà présentes à cette époque, mais que les taux tendanciels ont continué d'augmenter après 1850. Sur le lac Suwa (Japon), par exemple, les enregistrements pour une période de 550 ans montraient que l'englacement survenait 2,0 jours plus tard d'un siècle à l'autre ($p < 0,0001$). Toutefois, sur de plus courtes périodes, la variation de la date de l'englacement passait de 3,2 jours par siècle (1443-1592) à 20,5 jours par siècle (1897-1993) (Magnuson *et al.*, 2000). Cependant, l'étude était limitée sur le plan géographique, alors il est déconseillé de tirer des conclusions générales.

Bien que les relations à l'échelle du continent révèlent une diminution importante de la couverture de glace dans l'hémisphère Nord au cours des 300 dernières années, une plus grande variabilité est présente à l'échelle régionale (voir les exemples du Tableau 7 concernant l'englacement et ceux du Tableau 8 concernant la débâcle). À titre d'exemple, dans une étude, Williams (1970) a constaté que la débâcle de la rivière Saint-Jean, au Nouveau-Brunswick, survenait 15 jours plus tôt dans les années 1950, comparativement aux années 1870. Au XIX^e siècle, les dates médianes de débâcle et d'englacement de la rivière Rouge à Winnipeg, au Manitoba, se situaient 12 jours plus tôt et 10 jours plus tard, respectivement, comparativement au XX^e siècle (Rannie, 1983). D'autres études régionales et continentales fondées sur des observations plus détaillées révèlent des profils marqués pour ce qui est de l'englacement et de la débâcle entre les décennies et les régions reflétant des profils atmosphériques à plus grande échelle (voir les exemples fournis aux tableaux 7 et 8). À titre d'exemple, Duguay *et al.* (2006) se sont penchés sur les tendances relatives à la débâcle et à l'englacement des lacs dans l'ensemble du Canada (la Figure 25 comporte des exemples de débâcle de lacs). Une analyse des tendances non paramétrique Mann-Kendall a permis de comparer les tendances de trois périodes distinctes de 30 ans, soit de 1951 à 1980, de 1961 à 1990 et de 1971 à 2000, en plus d'étudier la période de 1966 à 1995. Les résultats indiquent peu de tendances spatiales claires pour ce qui est de l'englacement des lacs au cours des trois périodes (les exceptions sont présentées au Tableau 7), les quelques grappes spatiales significatives laissant plutôt croire à des effets à l'échelle locale ou régionale. Ces résultats ne concordent pas avec ceux qu'ont obtenus Zhang *et al.* (2001), qui ont relevé des tendances généralisées indiquant un englacement hâtif dans l'ensemble du pays; cette dissimilitude pourrait toutefois refléter la différence dans la répartition spatiale et temporelle des sites entre les deux études.

Tableau 7. Sommaire des études scientifiques quantifiant les tendances relatives à l'englacement des lacs et des rivières du Canada, d'après les données jusqu'à l'année 2000 inclusivement

Site	Emplacement	Habitat	Années d'enregistrement	N ^{bre} d'années d'analyse (n ^{bre} de sites, le cas échéant)	Tendance	Significativité	Référence
Fleuve Mackenzie	Taïga du bouclier, bouclier boréal, plaines boréales, cordillère montagnarde, taïga des plaines, taïga de la cordillère, cordillère boréale	Rivière	1868–1978	10	6,1 jours plus tard/100 ans	< 0,01	Magnuson <i>et al.</i> (2000)
Rivière Rouge	Sud du Manitoba (écozone ⁺ incertaine)	Rivière	1799–1981	16	13,2 jours plus tard/100 ans	< 0,001	Magnuson <i>et al.</i> (2000)
Havre de Toronto	Plaines à forêts mixtes	Rivière	1822–1920	11	36,9 jours plus tard/100 ans	< 0,001	Magnuson <i>et al.</i> (2000)
Rivière Rouge	Plaines boréales, prairies	Rivière	1815–1981	153	12 jours plus tard au cours du XX ^e siècle		Rannie (1983)
Lac Frame	Plaines boréales	Lac	1956–1980	25	0,4 jour plus tard/année	< 0,1	Duguay <i>et al.</i> (2006)
Stations du réseau hydrométrique de référence du Canada dans l'ensemble du pays	Canada	Rivière	a) 1967–1996 b) 1957–1996 c) 1947–1996	a) 30 ⁸ (151) b) 40 ⁺ (71) c) 50 ⁺ (47)	a) plus tôt dans 21,4 % des sites b) plus tôt dans 38,2 % des sites c) plus tôt dans 50 % des sites	< 0,1	Zhang <i>et al.</i> (2001)
Grand Lac	Écozone ⁺ maritime de	Lac	1952–1980	29	0,58 jour plus tôt/année	< 0,1	Duguay <i>et al.</i> (2006)

⁸ Chaque site n'a pas nécessairement des données pour chaque année de l'analyse.

Site	Emplacement	Habitat	Années d'enregistrement	N ^{bre} d'années d'analyse (n ^{bre} de sites, le cas échéant)	Tendance	Significativité	Référence
l'Atlantique							
Lac Athabasca	Taïga du bouclier, bouclier boréal, plaines boréales	Lac	1965–1990	23	1,25 jour plus tard/année	< 0,01	Duguay <i>et al.</i> (2006)
Deadman's Pond	Écozone ⁺ de la forêt boréale de Terre-Neuve	Lac	1961–1990	28	0,5 jour plus tôt/année	< 0,05	Duguay <i>et al.</i> (2006)
Lac Utopia	Écozone ⁺ maritime de l'Atlantique	Lac	1971–2000	30	1,23 jour plus tard/année	< 0,001	Duguay <i>et al.</i> (2006)
Lac Island	Bouclier boréal	Lac	1971–1998	21	0,42 jour plus tôt/année	< 0,05	Duguay <i>et al.</i> (2006)
Rivières dans l'ensemble du Canada	Canada	Rivière	a) 1951–1980 b) 1961–1990 c) 1966–1995 d) 1950–1998	a) 30 ⁹ (50) b) 30 ^{***} (68) c) 30 ^{***} (60) d) 49 ^{***} (41)	a) 1,0 jour plus tard/décennie b) 0,1 jour plus tôt/décennie c) 0,1 jour plus tard/décennie d) 0,3 jour plus tard/décennie	< 0,1	Lacroix <i>et al.</i> (2005)

⁹ Chaque site n'a pas nécessairement des données pour chaque année de l'analyse.

Tableau 8. Sommaire des études scientifiques dans lesquelles sont quantifiées les tendances relatives à la débâcle des lacs et des rivières au Canada, d'après les données jusqu'à 2002 inclusivement

Site	Écozone ⁺	Habitat	Années d'enregistrement	N ^{bre} d'années avec données (n ^{bre} de sites, le cas échéant)	Tendance	Signifi-cativité	Référence
Rivière Rouge	Sud du Manitoba (écozone ⁺ incertaine)		1799–1993	180	10,6 jours plus tôt/100 ans	< 0,001	Magnuson <i>et al.</i> (2000)
Havre de Toronto	Plaines à forêts mixtes		1822–1985	111	7,4 jours plus tôt/100 ans	Non significative	Magnuson <i>et al.</i> (2000)
Rivière Miramichi	Plaines à forêts mixtes		1822–1955	127	7,3 jours plus tôt/100 ans	< 0,01	Magnuson <i>et al.</i> (2000)
Lac Canoe	Plaines à forêts mixtes		1982–2001	17	Mann-Kendall Z = -1,65	< 0,05	Futter (2003)
Lac St. Nora	Plaines à forêts mixtes		1968–1990	21	Mann-Kendall Z = -3,14	< 0,001	Futter (2003)
Lac Scugog	Plaines à forêts mixtes		1872–1995	102	Mann-Kendall Z = -1,73	< 0,05	Futter (2003)

Site	Écozone ⁺	Habitat	Années d'enregistrement	N ^{bre} d'années avec données (n ^{bre} de sites, le cas échéant)	Tendance	Signifi-cativité	Référence
Lac Simcoe	Plaines à forêts mixtes		1853–1995	130	Mann-Kendall Z = -1,82	< 0,05	Futter (2003)
Lac Stoney	Plaines à forêts mixtes		1956–1988	30	Mann-Kendall Z = -2,30	< 0,01	Futter (2003)
Lac Thirteen Islands	Plaines à forêts mixtes		1992–2001	10	Mann-Kendall Z = -1,70	< 0,05	Futter (2003)
Rivière Rouge	Prairies, plaines boréales		1815–1981	157	10 jours plus tôt au cours du XX ^e siècle		Rannie (1983)
Bassin du fleuve Mackenzie	Taïga du bouclier, bouclier boréal, plaines boréales, cordillère boréale, cordillère montagnarde, taïga des plaines, taïga de la cordillère		1970–2002	33 ¹⁰ (17)	~1 jour/décennie en amont	< 0,1	de Rham <i>et al.</i> (2008)

¹⁰ Chaque site n'a pas nécessairement des données pour chaque année de l'analyse.

Site	Écozone ⁺	Habitat	Années d'enregistrement	N ^{bre} d'années avec données (n ^{bre} de sites, le cas échéant)	Tendance	Signifi-cativité	Référence
Rivière Yukon	Cordillère boréale, taïga de la cordillère		1896–1998		~5 jours plus tôt/100 ans		Jasek (1998)
Stations du réseau hydro-métrique de référence dans l'ensemble du Canada	Canada		a) 1967–1996 b) 1957–1996 c) 1947–1996	a) 30 ¹¹ (151) b) 40 ⁺⁺⁺ (71) c) 50 ⁺⁺⁺ (47)	a) plus tôt dans 15,1 % des sites b) plus tôt dans 21,8 % des sites c) plus tôt dans 30 % des sites	< 0,1	Zhang <i>et al.</i> (2001)
Baie de Colpoy (lac Huron)	Plaines à forêts mixtes		1951–1980	29	0,5 jour plus tard/année	< 0,1	Duguay <i>et al.</i> (2006)
Brochet Bay (lac Reindeer)	Plaines boréales		1951–1980	30	0,5 jour plus tôt/année	< 0,05	Duguay <i>et al.</i> (2006)
Lac Gull	Plaines à forêts mixtes		1961–1990	30	0,44 jour plus tard/année	> 0,1	Duguay <i>et al.</i> (2006)
Lac Utopia	Écozone ⁺ maritime de l'Atlantique		1961–1990	30	0,52 jour plus tôt/année	< 0,01	Duguay <i>et al.</i> (2006)
Taïga des plaines	Lac		1971–1996	26	0,4 jour plus tard/année	< 0,05	Duguay <i>et al.</i> (2006)

¹¹ Tous les sites ont des données pour plus des deux tiers des années de l'analyse.

Site	Écozone ⁺	Habitat	Années d'enregistrement	N ^{bre} d'années avec données (n ^{bre} de sites, le cas échéant)	Tendance	Signifi-cativité	Référence
Lac Diefenbaker	Prairies		1971–2000	30	0,33 jour plus tôt/année	< 0,05	Duguay <i>et al.</i> (2006)
Rivières dans l'ensemble du Canada	Canada		a) 1951–1980 b) 1961–1990 c) 1966–1995 d) 1950–1998	a) 30 ⁺⁺⁺ (61) b) 30 ⁺⁺⁺ (79) c) 30 ⁺⁺⁺ (71) d) 49 ⁺⁺⁺ (45)	a) 1,0 jour plus tard/décennie b) 2,2 jours plus tôt/décennie c) 2,0 jours plus tard/décennie d) 1,6 jour plus tard/décennie	< 0,1	Lacroix <i>et al.</i> (2005)

Inversement, les tendances relatives à la débâcle des lacs relevées par Duguay *et al.* (2006) révèlent une plus grande cohérence spatiale. Selon la période retenue pour l'analyse, les résultats indiquent que la fonte printanière survenait plus tôt dans l'ouest du pays et plus tard dans l'est (1951-1980). La période de 1961 à 1990 révèle une tendance à l'échelle du pays indiquant que la débâcle survenait plus tôt, ce qui est aussi le cas pour la période de 1971 à 1990. En utilisant la période de 1966 à 1995, les résultats obtenus sont comparables à ceux de la période de 1961 à 1990, soit une tendance générale indiquant une débâcle hâtive et peu de tendances relatives à l'englacement à l'échelle régionale. Des études antérieures (par exemple Bonsal et Prowse, 2003; Bonsal *et al.*, 2006) ont permis de montrer le lien entre la débâcle/l'englacement et la température de l'air ressentie entre un et trois mois avant l'événement. Comme l'illustre la Figure 25, les tendances indiquant une débâcle hâtive des lacs concordent avec l'arrivée hâtive de l'isotherme 0 °C au printemps (Duguay *et al.*, 2006). Les résultats laissent croire à un degré de synchronisation élevé, 78 % des sites montrant une corrélation ($r > 0,5$) entre la date qui correspond à l'isotherme et celle qui correspond à la débâcle.

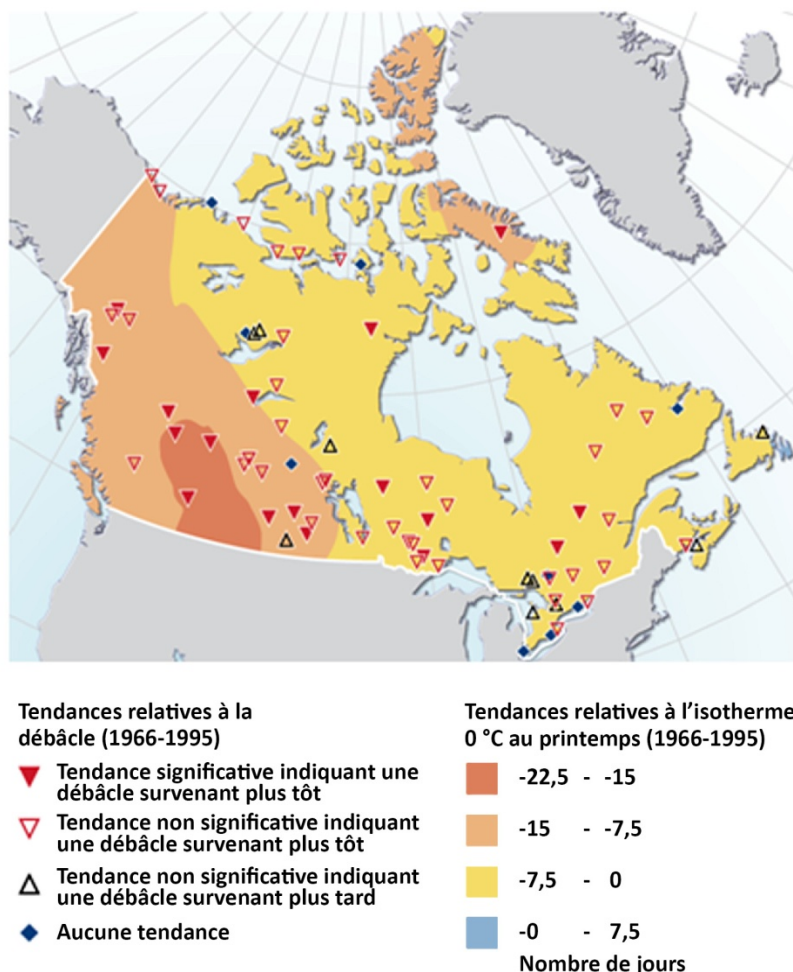


Figure 25. Tendances relatives aux températures printanières et aux dates de la débâcle au Canada, de 1966 à 1995

Source: Programme des Nations Unies pour l'environnement (2007), y compris des données tirées de Duguay *et al.* (2006)

Sommaire et orientation future

Les publications scientifiques signalent des tendances indiquant une débâcle et un englacement qui surviennent plus tôt et plus tard partout au Canada, les tendances les plus fréquentes dans l'ensemble du pays étant celles qui indiquent une débâcle hâtive. Les résultats provenant du rapport de Veille au gel (2008b) ont révélé peu de preuves indiquant des tendances d'englacement des lacs, mais signalent des tendances indiquant une débâcle des lacs survenant plus tôt. Ces résultats ont été reflétés dans nos analyses, particulièrement dans le cas de la série de données à long terme. Au sein de chacune des écozones⁺, une grande variabilité a été décelée. Par exemple, les données provenant des stations dans les écozones⁺ maritime de l'Atlantique, de la forêt boréale de Terre-Neuve et de la cordillère boréale indiquaient des tendances d'englacement précoce dans ces écozones⁺, tandis que les données provenant de la majorité des autres régions indiquaient des tendances variées. La plupart des régions ont présenté des tendances de débâcle précoce. Il est nécessaire de tenir à jour les bases de données de surveillance utiles (comme Veille au gel) et d'en tirer profit, en plus d'élaborer des analyses fondées sur le système d'information géographique (SIG) de l'image satellite.

TENDANCES RELATIVES À LA PERTE ET À LA FRAGMENTATION DE L'HABITAT

La modification de l'habitat constitue la menace la plus importante pour les poissons d'eau douce en péril au Canada (Dextrase et Mandrak, 2006). La fragmentation de l'habitat dans les écosystèmes aquatiques se produit lorsque la connectivité de l'habitat d'un lac ou d'une rivière est perturbée en raison de l'ajout ou de la modification des barrières naturelles ou humaines à la dispersion. Les espèces riveraines qui se dispersent de façon active sont particulièrement vulnérables en raison de l'utilisation qu'elles font de l'habitat linéaire. La fragmentation longitudinale et latérale des lacs et des rivières représente l'une des menaces les plus importantes à l'échelle mondiale pour les réseaux d'eau douce et entraîne souvent la dégradation de l'habitat et une perte de biodiversité (Revengea *et al.*, 2000; Jones et Bergey, 2007). La perturbation du régime de l'habitat naturel causée par les barrières longitudinales (comme les barrages, les déversoirs et les routes) et la dégradation de la zone riveraine (p. ex. trouées dans les zones tampons riveraines) nuisent aux communautés aquatiques, notamment en perturbant le passage du poisson et de la faune (par exemple Levesque, 2005; Reid *et al.*, 2008a). À titre d'exemple, les canalisations qui traversent les chenaux des rivières et des cours d'eau perturbent la continuité de l'habitat et nuisent à la nature physique et chimique de l'habitat du poisson (Levesque, 2005). En outre, il a été établi que les retenues favorisaient la dissémination d'espèces non indigènes envahissantes. En utilisant des données recueillies dans la région laurentienne des Grands Lacs, Johnson *et al.* (2008) ont montré que les espèces non indigènes envahissantes étaient entre 2,4 et 300 fois plus susceptibles d'être présentes dans les retenues que dans les lacs naturels, les retenues comportant souvent de multiples taxons envahissants. Les auteurs semblent indiquer que les systèmes naturels modifiés par des activités anthropiques servent d'habitats de « départ » pour la dispersion continue des espèces envahissantes en raison de la proximité accrue des plans d'eau envahis avec les systèmes naturels suivant l'augmentation du nombre de retenues (Johnson *et al.*, 2008).

À l'échelle mondiale, la dégradation des réseaux d'eau douce découlant de la modification des voies navigables, du drainage des terres humides, de la construction de barrages et de réseaux d'irrigation et des transferts entre bassins¹² augmente depuis le début du XX^e siècle (Figure 26) (Nilsson *et al.*, 2005). En Amérique du Nord, les transferts et dérivations entre bassins ont provoqué des modifications irréversibles du régime hydrologique (quantité et qualité de l'eau) de bon nombre de grandes rivières (Figure 26). Créées principalement pour la production d'énergie hydroélectrique au Canada, ces dérivations se trouvent surtout dans le nord de la Saskatchewan et du Québec, mais il y en a aussi en Ontario, à Terre-Neuve-et-Labrador et en Colombie-Britannique (Figure 26). Ces changements ont fait en sorte que les rivières et les lacs ne suivent plus le cycle hydrologique normal, entraînant ainsi des effets négatifs sur la disponibilité et la biodiversité des habitats.

¹² Par dérivation entre bassins, on entend le transfert plus ou moins continu, sur l'année entière ou une partie de l'année, effectué au moyen d'un fossé, d'un canal ou d'une canalisation, du bassin d'origine à un autre bassin versant.

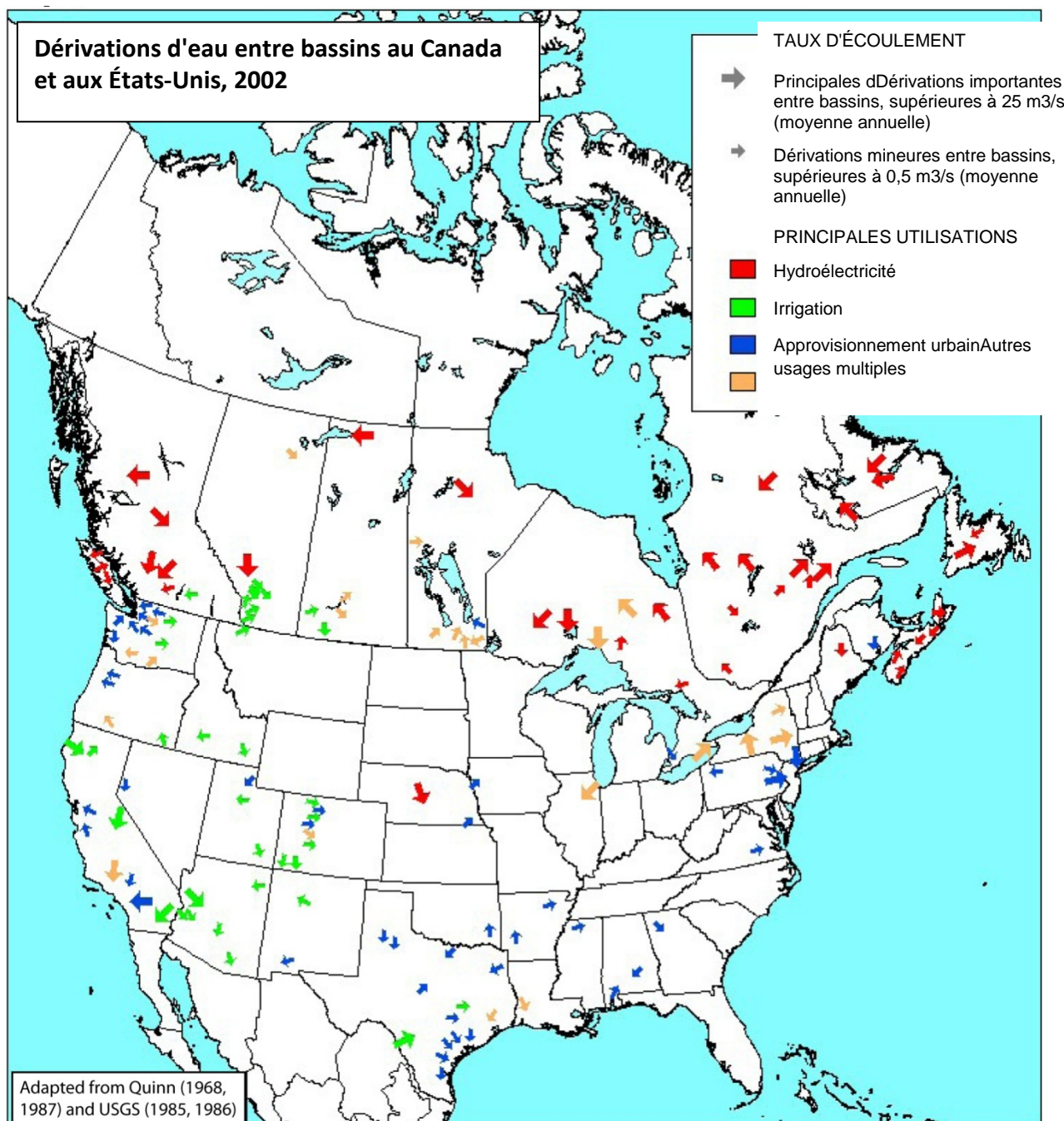


Figure 26. Carte illustrant les dérivations importantes de cours d'eau et les transferts au Canada et aux États-Unis

Source : Quinn (2004)

Les modifications apportées aux réseaux d'eau douce à l'échelle mondiale ont été importantes (Tableau 9). Globalement, Revenga *et al.* (2000) ont déclaré que le nombre de grands barrages a été multiplié par sept depuis 1950 et ceux-ci retiennent 14 % des écoulements du monde entier. Des 227 rivières les plus grandes au monde, 60 % sont fortement ou modérément fragmentées sous l'action des barrages, des dérivations et des chenaux (Revenga *et al.*, 2000). En outre, l'extraction d'eau s'est accrue de six fois entre 1900 et 1995, malgré le fait que 40 % de la population mondiale

vit dans des régions soumises à un stress hydrique élevé. De plus, la modification de l'écoulement provoquée par les barrages peut entraîner l'homogénéisation de l'écoulement, ce qui influe surtout sur l'ampleur des crues et des étiages et le moment où surviennent ces épisodes (Poff *et al.*, 2007). Ceci peut avoir un effet néfaste sur les communautés aquatiques, en particulier chez les espèces indigènes adaptées aux conditions locales (Poff *et al.*, 2007).

Tableau 9. Tendances relatives à la modification des réseaux d'eau douce à l'échelle mondiale, pour la période antérieure à 1900 jusqu'à 1996-1998

Modification	Avant 1900	1900	1950-1960	1985	1996-1998
Cours d'eau modifiés pour la navigation (km)	3 125	8 750	-	> 500 000	-
Chenaux (km)	8 750	21 250	-	63 125	-
Nombre de grands réservoirs (> 0,1 km ³)	41	581	1 105	2 768	2 836
Volume des grands réservoirs (> 0,1 km ³) (km ³)	14	533	1 686	5 879	6 385
Nombre de grands barrages (> 15 m en hauteur)	-	-	5 749	-	41 413
Capacité hydroélectrique installée (MW)	-	-	< 290 000	542 000	~660 000
Capacité hydroélectrique en voie de construction (MW)	-	-	-	-	~126 000
Extraction d'eau (km ³ /année)	-	578	1 984	~3 200	~3 800
Drainage des terres humides (km ²)	-	-	-	160 600	

Source : Revenga *et al.* (2000), adaptation de Naiman *et al.* (1995)

Tendances relatives à la construction de barrages au Canada

La fragmentation de l'habitat découlant de la construction de barrages est surveillée au Canada depuis les années 1830. S'appuyant sur des données de l'Association canadienne des barrages (2003), la Figure 27 fournit un aperçu du nombre de barrages dépassant 10 m de hauteur construits au Canada de 1895 à 2005. Le nombre de barrages a augmenté rapidement à partir de 1910, a culminé de 1950 jusqu'au début des années 1980, et est en déclin depuis lors. Les premiers barrages construits étaient concentrés autour de la région du Saint-Laurent/des Grands Lacs et de la côte du Pacifique (Figure 28). La plupart des barrages se trouvent dans les régions du sud du pays qui présentent les plus fortes densités de population (Figure 28). Les barrages construits récemment sont concentrés dans le nord du Québec. Un examen approfondi des tendances concernant la construction de barrages en fonction de l'écozone⁺ révèle que la plupart des ouvrages ont été construits dans le bouclier boréal (n = 265) et la taïga du bouclier (n = 177) (Figure 29). L'époque où ont été construits les barrages était variable dans l'ensemble des écozones⁺, les barrages dans les plaines à forêts mixtes et l'écozone⁺ maritime du Pacifique ayant été construits pour la plupart avant 1920, alors que les barrages plus récents ont davantage été construits dans la taïga du bouclier, le bouclier boréal et les prairies (Figure 29). De 1930 à 1980, des barrages ont été construits dans la plupart des régions, avec une construction plus marquée dans la taïga du bouclier vers la fin de cette période (Figure 29). Pour certaines régions, la construction fut relativement constante à partir du début des années 1900 et ultérieurement, par exemple, dans l'écozone⁺ du bouclier boréal,

l'écozone⁺ maritime de l'Atlantique, l'écozone⁺ du bassin intérieur de l'Ouest et l'écozone⁺ de la cordillère montagnarde (Figure 29).

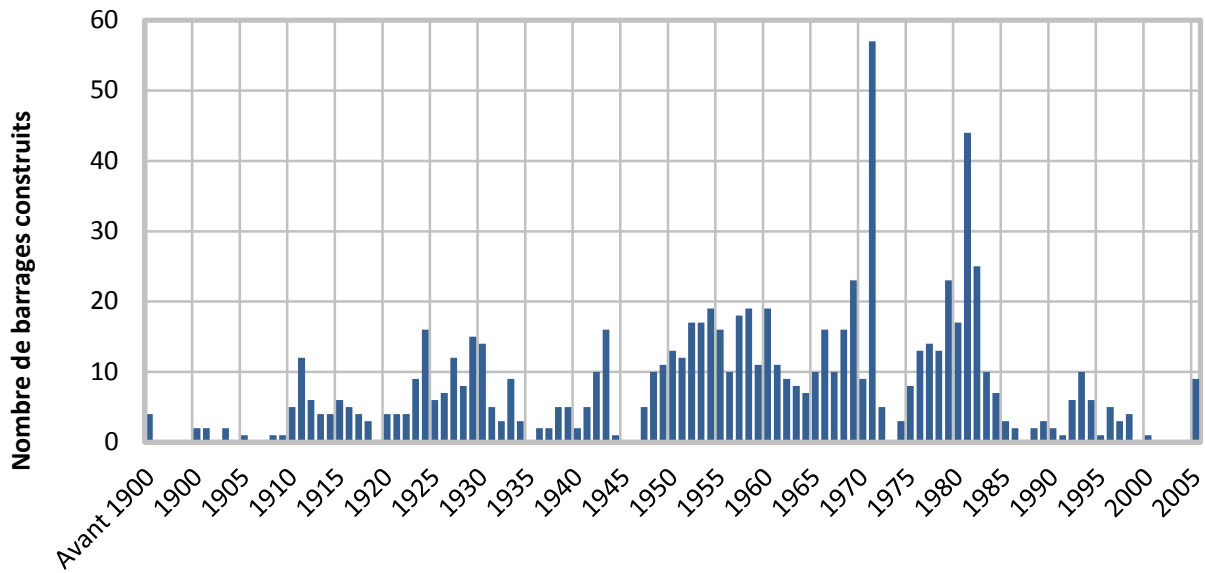


Figure 27. Nombre de barrages (hauteur supérieure à 10 m) construits chaque année au Canada, pour la période antérieure à 1900 jusqu'à 2005. Les enregistrements antérieurs à 1900 remontent à 1830. Source : Données provenant de l'Association canadienne des barrages (2003); mise à jour effectuée pour inclure les données jusqu'à 2005.

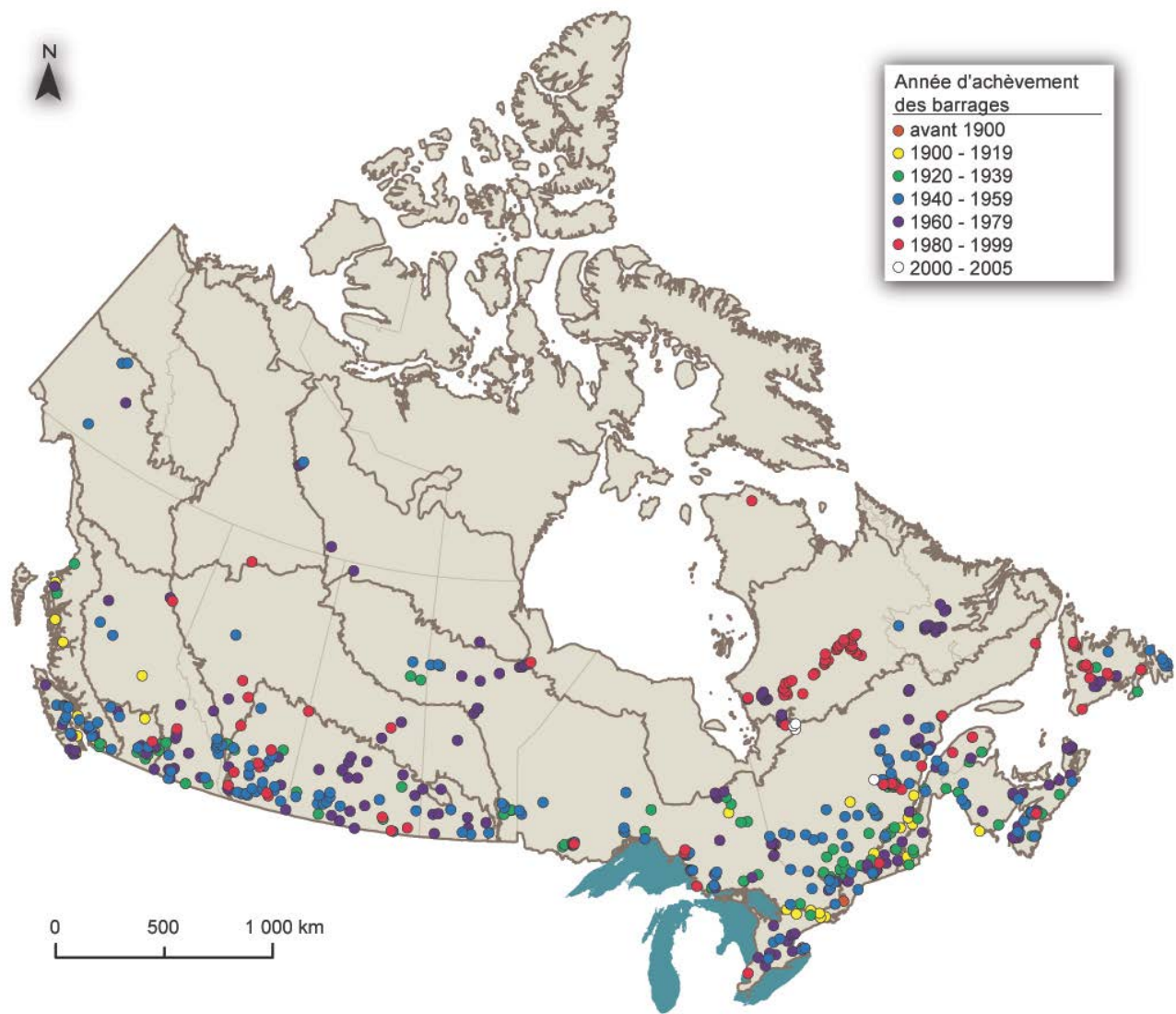


Figure 28. Distribution spatiale des barrages (hauteur supérieure à 10 m) selon l'année de construction, de 1830 à 2005

Source : Données provenant de l'Association canadienne des barrages (2003); mise à jour effectuée pour inclure les données jusqu'à 2005

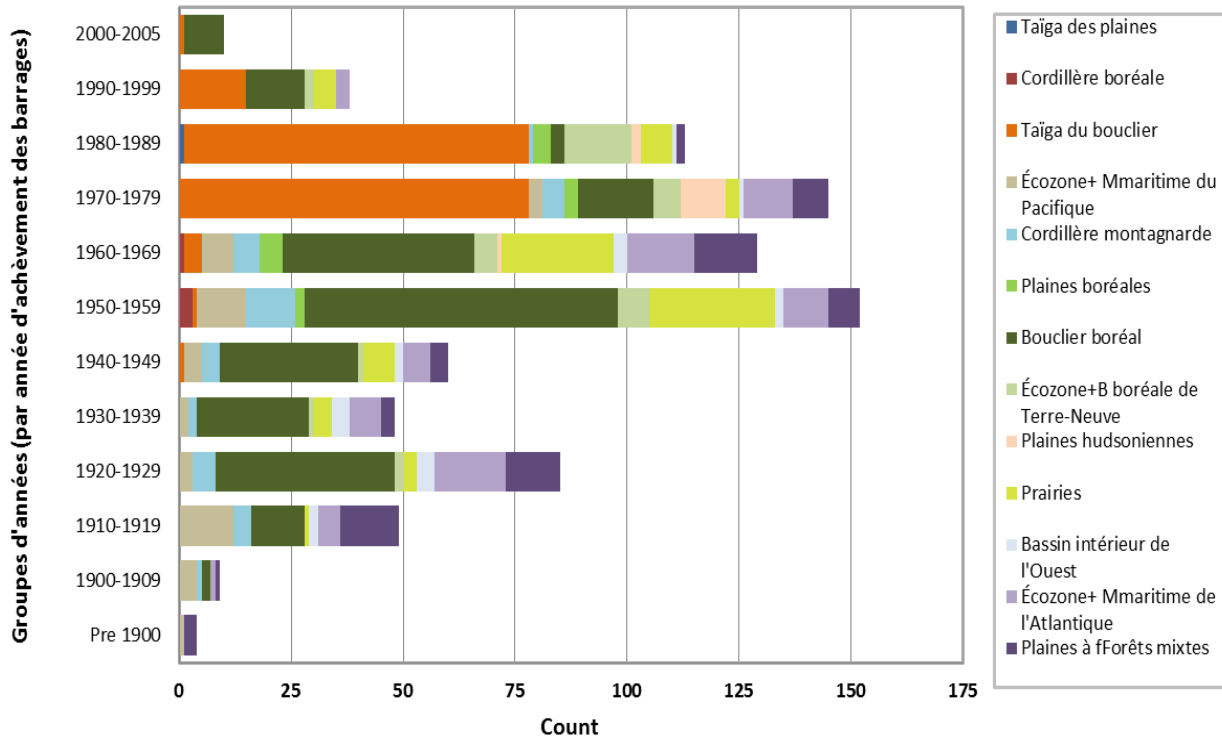


Figure 29. Distribution temporelle des barrages (hauteur supérieure à 10 m) selon l'écozone* pour chaque décennie, pour la période antérieure à 1900 jusqu'à 2005
 Source : Données provenant de l'Association canadienne des barrages (2003); mise à jour effectuée pour inclure les données jusqu'à 2005

Les barrages entravent les routes migratoires du poisson, détruisent l'habitat riverain, accroissent la sédimentation, réduisent la disponibilité des habitats et provoquent des changements dans la composition chimique et la disponibilité de l'eau (McAllister *et al.*, 2000). La fragmentation des réseaux hydrographiques peut également entraîner la perte de la diversité génétique et accroître la différenciation entre les populations isolées (par exemple Neraas et Spruell, 2001; Meldgaard *et al.*, 2003). Toutefois, ces effets dépendent de la nature des barrages et des caractéristiques écologiques de chaque espèce. Par exemple, Reid *et al.* (2008b) n'ont trouvé aucune preuve des effets sur la structure de la population liés à la construction de barrages dans le cas du chevalier noir (*Moxostoma duquesnei*), une espèce de poisson qui se trouve seulement dans les rivières Grand et Thames en Ontario et qui a été désignée par le COSEPAC comme étant une espèce menacée en 1998 (COSEPAC, 2005). Cette situation laisse entendre que les barrages le long de ces rivières ne présentent pas de barrières importantes à la dispersion de cette espèce et que d'autres facteurs, tels que les concentrations élevées d'éléments nutritifs, les régimes de débit modifiés et la dégradation de l'habitat physique, contribuent de façon plus importante à la menace d'extinction de l'espèce.

Exemples de changements d'affectation des terres

Le fait de modifier l'affectation des terres dans les bassins hydrologiques touche directement les écosystèmes des lacs et des rivières. À titre d'exemple, en changeant la proportion de terres urbaines ou agricoles, la quantité et la qualité de l'eau sont touchées en raison de la modification de

l'infiltration, de la transpiration et de l'écoulement. Boyle *et al.* (1997) ont examiné les données publiées, les photos aériennes et d'autres données antérieures afin d'étudier les changements d'affectation des terres dans le bassin du cours inférieur du Fraser du sud-ouest de la Colombie-Britannique. L'analyse avait permis d'effectuer une estimation quantitative de la couverture terrestre pour les années antérieures à 1827 (début de la colonisation par les Européens), ainsi que pour 1930 et 1990 (Boyle *et al.*, 1997). La superficie totale associée aux terres humides (fen, marécage, tourbière, marais) a diminué, passant de 831 km² avant 1827 à 163 km² en 1930, puis à 121 km² en 1990. Ces baisses coïncident avec une augmentation considérable de la superficie des zones urbaines et agricoles – étant nulle avant 1827, elle s'établissait à 2 184 km² en 1990 (Boyle *et al.*, 1997). Ces changements ont entraîné une baisse marquée de la population de sauvagine. En effet, selon les estimations, la population se chiffrait en milliards en 1920, alors qu'elle ne s'établissait qu'à 506 600 en 1995 (Boyle *et al.*, 1997).

Timoney et Argus (2006) ont examiné les tendances de la couverture végétale riveraine en réponse à la variabilité des niveaux d'eau dans le delta des rivières de la Paix et Athabasca en se fondant sur cinq espèces de saule courantes. De 1993 à 2001, la couverture globale de saules a diminué, mais une grande variabilité entre les espèces a été notée. *Salix bebbiana* et *Salix discolor*, par exemple, semblaient être les plus vulnérables aux inondations. Une forte corrélation a été constatée entre le dépérissement terminal des saules et la profondeur de l'eau, la durée des inondations et le temps qui s'était écoulé depuis la dernière inondation. En outre, l'établissement plus rapide des saules coïncidait avec une période de sécheresse dans le delta, une augmentation des feux de forêt à l'échelle régionale, une baisse du débit des rivières et une baisse du niveau d'eau du lac Athabasca au début des années 1980. La couverture de saules s'est ensuite accrue pour atteindre un sommet autour de 1993. Ensuite, des inondations survenues du milieu à la fin des années 1990 ont provoqué une baisse de la couverture de saules (Timoney et Argus, 2006).

TENDANCES RELATIVES AUX POLLUANTS DANS LES LACS ET LES RIVIÈRES

Contaminants

Les contaminants qui s'introduisent dans l'environnement le font dans des milieux différents (comme l'eau et le biote) selon leurs propriétés chimiques et physiques. Puisque l'environnement en soi est dans un état constant d'échange physicochimique, il n'est pas toujours facile de prédire la voie par laquelle s'accumuleront les substances ou dans quels milieux elles le feront. Par conséquent, l'interprétation spatiale et temporelle des données de surveillance des contaminants est souvent restreinte par un manque d'observations et d'autres facteurs confusionnels, comme la discordance entre les méthodes d'analyse (Braune *et al.*, 1999). En outre, les observations dans un système peuvent ne pas s'appliquer à d'autres systèmes; par exemple, là où la structure du réseau trophique varie d'un lac à un autre, la bioaccumulation des contaminants dans la chaîne alimentaire par les prédateurs de niveau trophique supérieur varie en fonction de la longueur de la chaîne alimentaire et du niveau trophique, même lorsque les taux de contaminants à la base du réseau trophique sont similaires (Baird *et al.*, 2001). Pour cette raison, et compte tenu du manque général de données de séries chronologiques sur les contaminants au Canada, qu'il soit question de concentrations dans l'eau ou dans les tissus ou le biote (voir explications ci-dessous), il a été

impossible de réaliser une analyse crédible sur le plan scientifique des tendances relatives aux contaminants dans les différentes écozones*.

Étant donné les préoccupations du public concernant la pollution de l'environnement associée à l'émission de contaminants causée par l'activité humaine, il est curieux de constater que les données pertinentes permettant d'évaluer les tendances pour ce qui est des substances préoccupantes dans les écosystèmes des rivières et des lacs sont presque inexistantes au-delà de la région des Grands Lacs (laquelle est elle-même comprise dans un rapport technique distinct fondé sur l'écozone*). Cette situation s'applique particulièrement à l'Arctique canadien, une région où les contaminants sont considérés comme une menace constante importante pour les écosystèmes d'eau douce. Dans un examen approfondi des données existantes sur les contaminants dans cette région, Braune *et al.* (1999) font la déclaration suivante :

[Traduction] « L'examen des données allant jusqu'à 1991 sur les contaminants chez les poissons d'eau douce de l'Arctique et de la région subarctique (Muir *et al.*, 1990; Lockhart *et al.*, 1992) révèle que l'information sur les taux et la variation géographique des composés organochlorés, d'hydrocarbures aromatiques polycycliques et de métaux lourds est limitée, et que les données sur les tendances temporelles sont inexistantes. »

Les rares études sur les contaminants dans l'Arctique canadien portent principalement sur les écosystèmes marins (par exemple Muir et Norstrom, 2000). Les données fournies relatives aux tendances dans les écosystèmes d'eau douce s'appliquent surtout à l'échelle locale, comprennent relativement peu d'observations séquentielles et se rapportent à un passé très récent (par exemple Michelutti *et al.*, 2009). À titre d'exemple, dans le sommaire d'une recherche fourni par le Programme de lutte contre les contaminants dans le Nord (2008), des tendances sont relevées dans certains groupes de polluants organiques persistants (POP) : les taux d'hexachlorocyclohexane (HCH), de biphényles polychlorés (BPC), de toxaphène et de dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT) dans les tissus des poissons étaient généralement à la baisse dans l'ensemble des sites étudiés, tandis que les tendances relatives au mercure dans les tissus des poissons étaient plus complexes, des augmentations significatives étant observées pour certaines espèces et certains endroits (p. ex. le touladi [*Salvelinus namaycush*] dans le Grand lac des Esclaves), et aucun changement n'étant signalé pour des espèces dans d'autres endroits (p. ex. l'omble chevalier dans des lacs de Qausuittuq et Quttinirpaaq). Ces mesures ponctuelles, la distribution éparse et le recours à un échantillonnage opportuniste dans le cadre d'initiatives locales ou régionales à court terme sont à l'origine de la situation actuelle, qui fait que dans la majeure partie du Canada, les données de séries chronologiques sur les contaminants dans les écosystèmes d'eau douce sont inexistantes. Malgré le manque de données sur la tendance temporelle, la présence et la persistance de polluants organiques persistants et bioaccumulables dans des régions éloignées comme l'Arctique, qui étaient émis à l'origine dans les régions plus développées du sud du continent nord-américain, sont une toute nouvelle tendance. Ce phénomène est le résultat direct du fractionnement global, un processus qui n'était pas pleinement reconnu jusqu'à récemment (Wania et Mackay, 1993) et dont les répercussions sur le transport d'une quantité de substances depuis des régions industrialisées vers des régions éloignées ne sont pas encore bien comprises.

Nutriments

Les résultats provenant du rapport de 2008 sur les Indicateurs canadiens de durabilité de l'environnement ont révélé que les concentrations de phosphore dépassaient les limites établies conformément aux recommandations sur la qualité de l'eau dans le cas de 125 des 369 (34 %) sites de surveillance (Environnement Canada, 2009a). Dans le même ordre d'idées, les pourcentages de sites excédant les limites en 2002-2004 et en 2003-2005 étaient de 38 % et de 37 %, respectivement (Environnement Canada, 2006a; Environnement Canada, 2007). En partie pour évaluer ces excédents fréquents, Environnement Canada (2011) a récemment produit un rapport national portant sur les tendances de 1990 à 2006 relatives aux concentrations de phosphore et d'azote dans les réseaux fluviaux et lacustres au Canada. Les analyses sur les tendances fondées sur les données obtenues de 1990 à 2006 ont démontré que 39 des 77 sites de surveillance n'ont affiché aucun changement des concentrations de phosphore, 22 ont indiqué des tendances à la baisse significatives et 16 ont révélé des tendances à la hausse (Figure 30) (Environnement Canada, 2011).

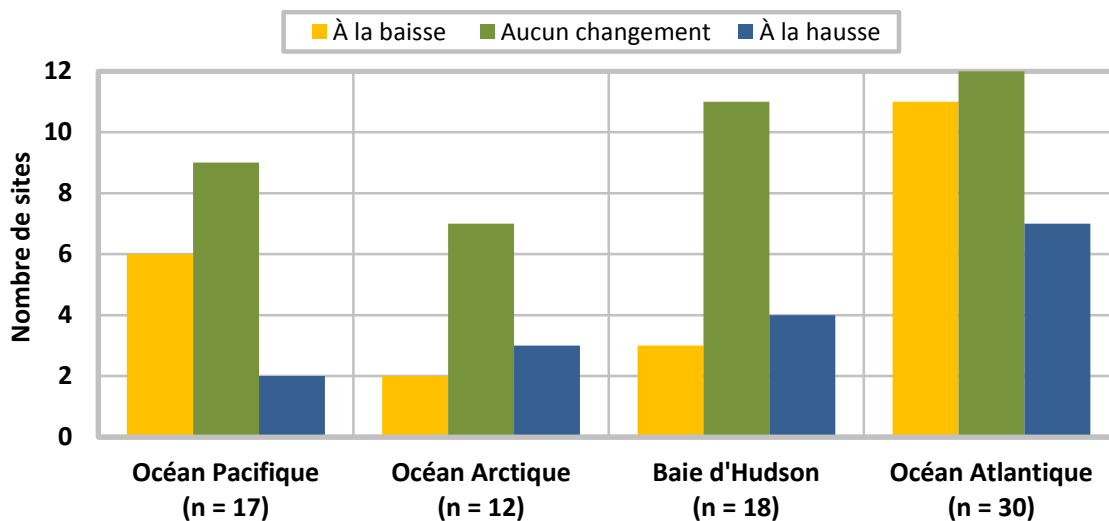


Figure 30. Nombre de sites de surveillance de la qualité de l'eau dans chaque bassin versant océanique important présentant une hausse ou une baisse des taux de phosphore, ou ne présentant aucun changement, de 1990 à 2006

Seuls les sites ayant des résultats statistiquement significatifs sont présentés ($p < 0,05$).

Source : Environnement Canada (2011)

Glozier *et al.* (2004) ont quantifié les tendances à long terme en ce qui concerne la qualité de l'eau dans les parcs nationaux Banff et Jasper afin d'évaluer l'efficacité des usines de traitement des eaux usées. Dans leur rapport, ils ont appliqué l'analyse non paramétrique saisonnière Mann-Kendall pour relever les tendances dans les concentrations de phosphore dans cinq sites de surveillance sur les rivières Bow, Saskatchewan Nord et Athabasca. Les résultats du premier rapport (Glozier *et al.*, 2004) indiquent des améliorations pour ce qui est des concentrations de nutriments et des paramètres bactériologiques dans des sites en aval, notamment dans le cours inférieur de la rivière Bow, après 1989. Ces améliorations découlent principalement de la modernisation de la station de traitement des eaux usées à Banff. Glozier (Glozier, 2009, comm. pers.) a fourni les résultats d'une

analyse de suivi visant à analyser l'efficacité d'une modernisation du traitement tertiaire (avec élimination du phosphore) dans les trois municipalités. Les analyses des tendances révèlent que la nouvelle station a permis de réduire considérablement les concentrations de phosphore dans les rivières Bow et Athabasca, les concentrations médianes étant revenues à des niveaux comparables aux concentrations naturelles observées en amont (Figure 31). Les pratiques de gestion ont ainsi permis d'améliorer considérablement la composition chimique de l'eau dans ces rivières. En poursuivant la surveillance, il sera possible d'observer les effets de l'amélioration de la qualité de l'eau sur les communautés aquatiques.

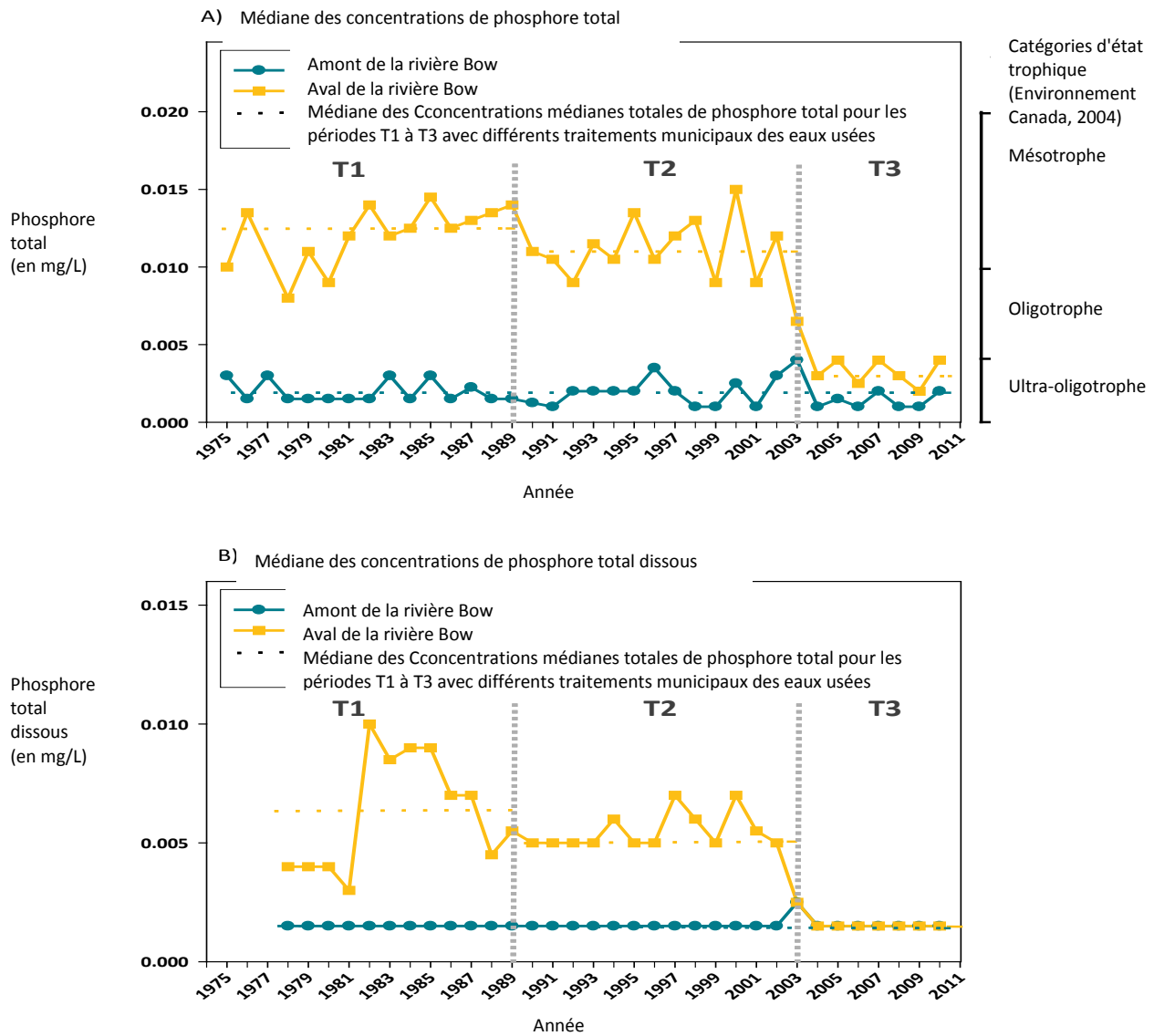


Figure 31. Médiane des concentrations de phosphore total (A) et de phosphore total dissous (B) dans la rivière Bow, de 1975 à 2010

Trois régimes de traitements municipaux différents au cours de la période d'enregistrement : T1 – traitement secondaire, aération et décantation; T2 – usine de traitement des boues à forte charge avec désinfection UV; T3 – traitement tertiaire comprenant l'élimination du phosphore.

Source : Glozier et al. (Glozier et al., 2004); mise à jour de Glozier à l'aide de données non publiées

Acidification

Les préoccupations concernant l'acidification des eaux de surface soulevées par les rejets atmosphériques de dioxyde de soufre (SO₂) et d'oxyde d'azote (NO_x) sont prédominantes depuis les années 1970, lorsque les scientifiques ont constaté pour la première fois le déclin des niveaux de pH, particulièrement dans le sud-est du Canada (Jeffries *et al.*, 2003a). De 1980 à 2006, les émissions de SO₂ au Canada et aux États-Unis ont diminué d'environ 45 % et les émissions de NO_x, d'environ 19 % (Gouvernements du Canada et des États-Unis d'Amérique, 2008). Bien que des diminutions marquées de la présence de sulfates dans les lacs aient été relevées peu après les réductions d'émissions (Jeffries *et al.*, 2003b; Weeber *et al.*, 2005; Gouvernements du Canada et des États-Unis d'Amérique, 2008), la réaction de l'acidité des lacs (mesurée par le pH) s'est manifestée lentement et de façon moins généralisée (Figure 32), en partie en raison des diminutions de calcium imputables aux dépôts acides (Gouvernements du Canada et des États-Unis d'Amérique, 2008). Les diminutions de calcium menacent aussi les espèces clés de zooplancton (Jeziorski *et al.*, 2008). Des améliorations biologiques encourageantes ont été remarquées dans certains emplacements (Snucins, 2003; Snucins et Gunn, 2003; Weeber *et al.*, 2005; Environnement Canada, 2005; Équipe de rétablissement de l'omble de fontaine auror, 2006; Yan *et al.*, 2008b). Toutefois, même en présence d'un rétablissement chimique, les communautés biologiques risquent de ne pas retrouver leur condition précédant l'acidification, car de nombreux facteurs indépendants à l'acidité influent sur le rétablissement biologique (Yan *et al.*, 2008a; Yan *et al.*, 2008b). La dévastation généralisée causée par le dépôt des polluants transportés dans l'atmosphère (voir également l'exemple des contaminants) présente des défis de taille qui nécessitent plus que de simples objectifs de réduction des émissions et qui mettent à l'épreuve notre connaissance de la reconstitution de l'écosystème et le rétablissement des services écosystémiques.

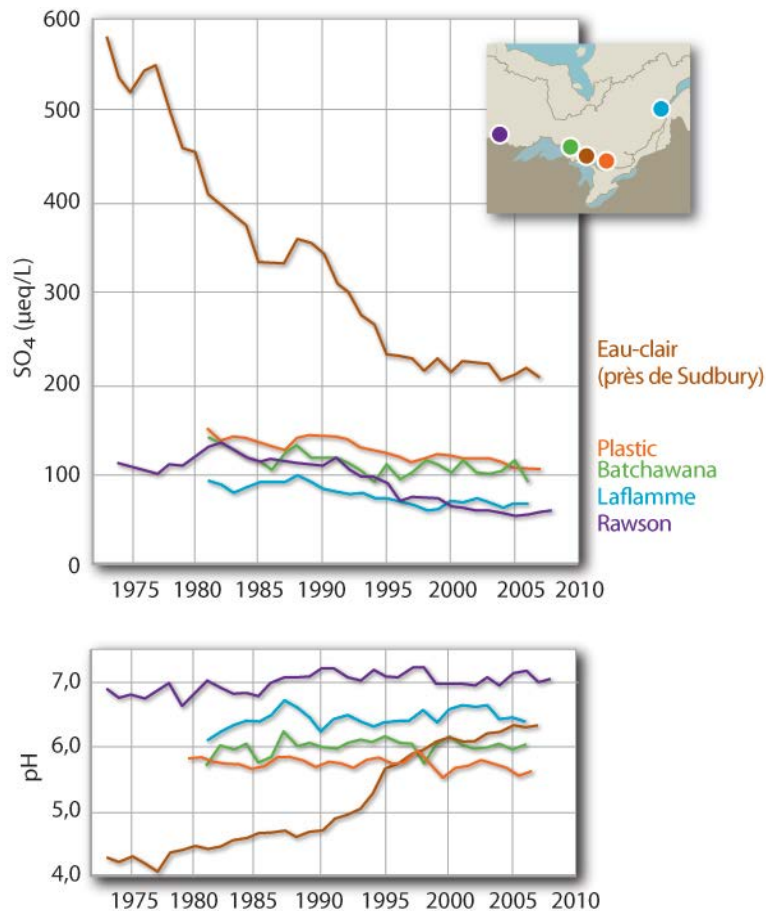


Figure 32. Tendances relatives aux niveaux de sulfate et à l'acidité (pH) dans les lacs de cinq sites de surveillance intensive dans le sud-est du Canada, de 1972 à 2008

À noter que la forte réaction dans le cas du lac Clearwater (par rapport aux autres) est due à son emplacement à proximité de l'importante source d'émissions de SO_2 (fonderie de nickel) à Sudbury.

Source : Mise à jour de Jeffries et al. (2003b) effectuée par l'auteur

Les écosystèmes possèdent différents niveaux de sensibilité à l'acide selon leur géologie et les sols. Ainsi, le niveau maximal des dépôts acides qu'un terrain peut tolérer sans porter atteinte à son intégrité écologique (« charge critique ») diffère d'un écosystème à l'autre (Figure 33) (Jeffries et Ouimet, 2005). Les terrains sensibles à l'acide reposent généralement sur un substrat rocheux légèrement soluble, recouvert d'une mince couche de sol dérivé de glaciers (L'Atlas national du Canada, 1991), et ils possèdent une moins grande capacité de tampon.

Les charges critiques peuvent être dépassées soit lorsque des terrains extrêmement sensibles reçoivent de faibles niveaux de dépôts acides, soit lorsque des terrains moins sensibles reçoivent des niveaux élevés de dépôts acides. La Figure 34 illustre où les charges critiques ont été dépassées dans l'écozone⁺ du bouclier boréal.

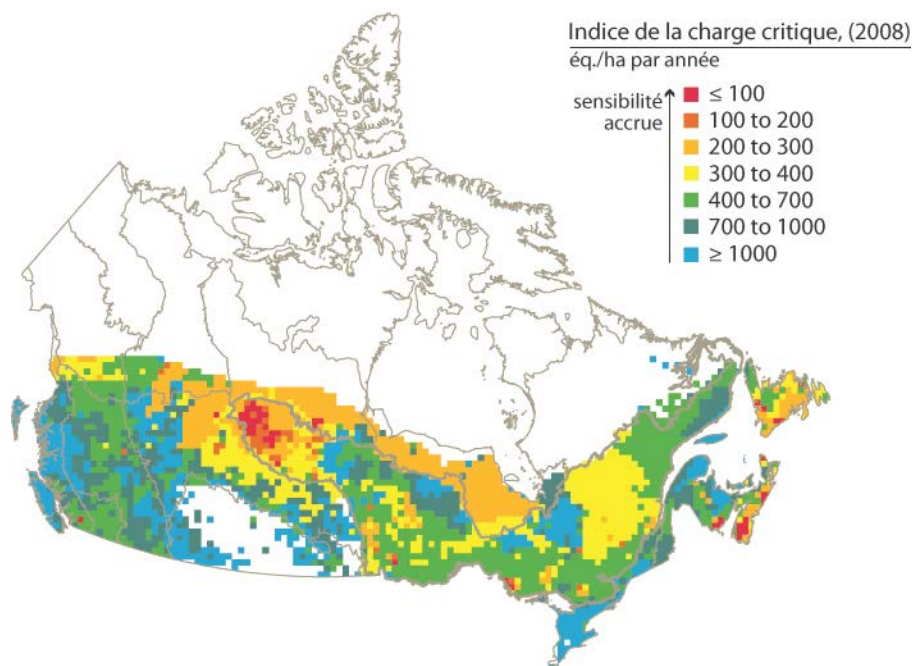


Figure 33. Indice combiné de la charge critique des dépôts atmosphériques terrestres et aquatiques pour le Canada, en 2008

Source : Jeffries et al. (2010a)

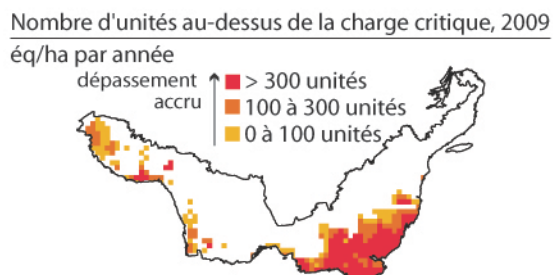


Figure 34. Secteurs où la charge critique a été dépassée dans l'écozone⁺ du bouclier boréal, en 2009

Source : Jeffries et al. (2010b)

Malgré les plus faibles taux de pluies acides enregistrés dans l'est de l'Amérique du Nord, l'écozone⁺ maritime de l'Atlantique détient les eaux parmi les plus acides en raison du faible pouvoir tampon du terrain (Clair *et al.*, 2004; Clair *et al.*, 2007). Depuis les années 1980, aucun rétablissement mesurable du pH n'a été constaté malgré le déclin des émissions de dioxyde de soufre. Cet habitat du poisson est donc devenu le plus lourdement touché en Amérique du Nord (Figure 35) (Clair *et al.*, 2007). Le saumon atlantique est extrêmement sensible à l'acidité et, en 1996, 14 migrations de saumon atlantique sur le littoral de la Nouvelle-Écosse ont disparu à cause de l'acidité de l'eau, 20 autres ont subi des répercussions sévères, alors que 15 autres ont été légèrement touchées (Watt *et al.*, 2000). Le rétablissement des propriétés chimiques de l'eau et de

l'écologie devrait prendre plusieurs décennies en Nouvelle-Écosse comparativement à d'autres régions du Canada (Watt *et al.*, 2000; Clair *et al.*, 2004; Clair *et al.*, 2007).

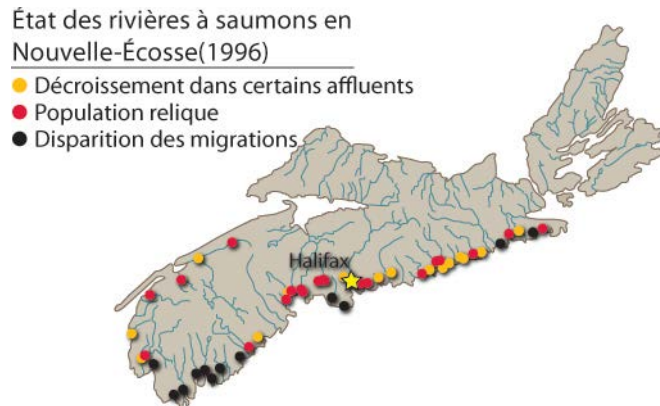


Figure 35. Effets de l'acidification sur le saumon atlantique (1996)
Source : Adapté de Watt *et al.* (2000)

Bien que l'acidification des lacs ait largement été considérée comme un problème au sein de l'écozone⁺ du bouclier boréal et de l'écozone⁺ maritime de l'Atlantique, des préoccupations sont soulevées quant à la vulnérabilité éventuelle des régions de l'ouest du Canada. En particulier, le potentiel de dépassement des charges critiques dans le nord-ouest de la Saskatchewan est un sujet d'inquiétude en raison du haut niveau de sensibilité à l'acide de nombreux lacs dans cette région (68 % des 259 lacs évalués en 2007-2008) et de leur situation en aval d'émissions acidifiantes provenant des projets d'exploitation de pétrole et de gaz (Scott *et al.*, 2010). De façon similaire, les émissions de soufre liées au transport dans le sud-ouest de la Colombie-Britannique représentent un enjeu qui prend de l'ampleur en raison du dépassement des charges critiques terrestres de 32 % dans le bassin de Georgia en 2005-2006 (Nasr *et al.*, 2010).

IMPACTS FUTURS DU CLIMAT SUR LES LACS ET LES RIVIÈRES

Les ressources en eau en Amérique du Nord sont déjà soumises à des prélèvements excessifs dans de nombreuses régions et, par conséquent, sont très vulnérables aux changements futurs. Bates *et al.* (2008) ont analysé les répercussions des changements sur le moment, le volume, la qualité et la répartition géographique des ressources en eau douce en Amérique du Nord qui sont prévus à mesure que les taux de réchauffement augmentent. Au Canada, on prévoit une augmentation des précipitations de l'ordre de 20 % pour ce qui est de la moyenne annuelle et de 30 % en hiver dans les scénarios où les émissions sont les plus élevées, de même qu'une hausse généralisée des événements extrêmes de précipitations (Bates *et al.*, 2008). À titre d'exemple, une hausse des précipitations, une intensification des inondations printanières et leur occurrence précoce, et un prolongement des sécheresses en été en Colombie-Britannique sont prévus, ce qui aura un impact sur l'écoulement des cours d'eau, et du coup, sur la survie du poisson. Le Groupe d'experts

intergouvernemental sur l'évolution du climat (2007) a synthétisé des études scientifiques à l'aide des données de 1970 à 2004 afin d'examiner les changements survenus dans les systèmes physiques (p. ex. neige, glace, sol gelé, hydrologie et processus côtiers) et biologiques (terrestres, marins et d'eau douce) par rapport aux températures de surface changeantes dans tous les continents, y compris en Amérique du Nord (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007). Parmi les études nord-américaines examinées, 334 des 355 (94 %) séries de données traitant des systèmes physiques et 419 des 455 (92 %) séries de données portant sur les systèmes biologiques pouvaient être attribuables au réchauffement (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007). Dans le futur, les changements climatiques risquent très fortement d'exercer des effets directs et indirects sur la structure et la fonction des communautés aquatiques dans les écosystèmes des lacs et des rivières du Canada.

Les changements climatiques auront un impact sur le volume des précipitations et de l'évaporation et sur le moment où surviennent ces phénomènes, et donneront lieu à une augmentation de la variabilité du type de précipitations. Ces changements influenceront sur le régime hydrologique des rivières et le niveau d'eau des lacs (Bates *et al.*, 2008). Des variations régionales avec des changements relatifs à grande échelle sont prévues dans l'écoulement annuel pour la période de 2090 à 2099 par rapport à la période de 1980 à 1999. Dans la plupart des régions des hautes latitudes du Canada, une augmentation de 20 % à 40 % de l'écoulement est prévue par rapport au reste du Canada, à l'exception des Prairies, où l'augmentation devrait être de 5 % à 20 % (Milly *et al.*, 2005). Des effets biologiques liés au réchauffement climatique se manifestent déjà, comme des changements dans la composition, l'abondance et la productivité des espèces et des changements phénologiques (p. ex. migration du poisson). L'augmentation de la température de l'eau et des précipitations, de même que le prolongement des étages auront un effet marqué sur les lacs et les rivières, notamment en raison de l'augmentation des taux de sédiments, de l'écoulement et de la pollution thermique. Les communautés aquatiques seront touchées par les changements du niveau et de la température de l'eau; par exemple, les espèces de salmonidés d'eaux froides devraient subir des effets néfastes, tandis que les espèces d'eaux chaudes devraient bénéficier de ces changements (par exemple Eaton et Scheller, 1996; Wrona *et al.*, 2006).

Selon les scénarios de réchauffement climatique, la couverture de neige et de glace continuera de diminuer, surtout au printemps et en été (Bates *et al.*, 2008). S'appuyant sur des images satellitaires de la période de 1966 à 2005, Bates *et al.* (2008) ont constaté que la couverture de neige dans l'hémisphère Nord baisse tous les mois, sauf en novembre et en décembre. Pour l'avenir, des réductions généralisées de la couverture de neige sont prévues, de même qu'une augmentation de la profondeur de la fonte dans la majeure partie des régions de pergélisol, ce qui serait imputable à l'augmentation de la température de l'air (Bates *et al.*, 2008). Toutefois, malgré les réductions de la couverture de glace sur les lacs et les rivières, l'effet pourrait être moins important dans les grandes rivières s'écoulant vers le nord étant donné les différences moins importantes à l'échelle régionale en ce qui concerne les gradients thermiques et hydrologiques du sud vers le nord (Bates *et al.*, 2008). Les régimes des glaces des lacs et des rivières continueront de changer en fonction du climat; par exemple, la longueur de la couverture de glace continuera de diminuer. Tout changement futur dans le climat pourrait avoir un impact direct et indirect sur la morphologie du milieu aquatique, et du coup, sur le régime des glaces. À titre d'exemple, les changements à long terme du niveau d'eau des lacs pourraient influencer sur le régime des glaces des rivières affluents (Beltaos et Burrell, 2003).

SYNTHÈSE DES DONNÉES

La biodiversité est un concept notoirement complexe et souvent mal défini. Si les profils de biodiversité sont définis simplement en utilisant les données existantes sur la présence des espèces et des habitats dans l'ensemble du Canada, des problèmes de comparabilité des données surgiront rapidement. À titre d'exemple, en combinant des relevés d'espèces individuelles (comme ceux qui sont effectués dans le cadre d'une évaluation des stocks halieutiques ou d'un plan de conservation d'une espèce en voie de disparition) sur une carte de répartition, il peut sembler que l'information obtenue soit pertinente, mais la méthode, le moment et l'endroit pour effectuer les observations risquent de varier considérablement selon l'étude. Lorsque les données sont réunies de cette façon, l'absence apparente d'espèces peut souvent être interprétée de plusieurs façons. Ces problèmes sont aggravés lorsque les données sur les espèces recueillies sur le terrain sont combinées pour examiner les profils relatifs à la richesse faunique à plus grande échelle. Ainsi, pour faire une interprétation solide sur le plan scientifique des profils liés à biodiversité, il est préférable de recueillir les données selon la même méthode. Bien entendu, la combinaison des données historiques rend souvent la tâche impossible et les nouvelles initiatives faisant intervenir plusieurs parties compliquent la donne, la normalisation des méthodes étant une question sujette à controverse qui entraîne des coûts de transaction élevés. Ce problème pourrait être contré en élaborant des stratégies axées sur les métadonnées, stratégies qui permettraient de partager les données à l'intérieur d'un réseau, même si ces données étaient recueillies selon des méthodes différentes. Les métadonnées peuvent former la base d'un outil d'évaluation préalable pour extraire les données qui présentent des propriétés communes à des fins précises d'établissement de rapports, tout en permettant le partage de données entre diverses parties.

Les Tableau 10, Tableau 11 et Tableau 12 résument les importantes tendances relatives aux lacs et aux rivières au Canada obtenues à partir d'analyses de données, d'analyses de la documentation et d'études scientifiques publiées, et ce, à l'échelle nationale et pour chaque écozone*. L'une des conclusions principales à tirer de cette analyse indique qu'il y a un manque général d'ensembles de données à long terme prélevées de façon uniforme. En dépit des stratégies de biosurveillance nationale élaborées récemment (voir la section sur le Réseau canadien de biosurveillance aquatique dans Environnement Canada, 2009b), les relevés de surveillance des communautés biologiques sont limités. Notre connaissance de la biodiversité dans les écosystèmes d'eau douce du Canada est hautement fragmentaire et une grande quantité d'information utile est actuellement inaccessible pour la surveillance et l'établissement de rapports. Bien que certains éléments de la biodiversité, en particulier la diversité des habitats, soient pris en considération dans les initiatives en cours, comme les études cartographiques des habitats d'eau douce de Conservation de la nature Canada (Ciruna *et al.*, 2007), d'autres demeurent perdus dans les brumes institutionnelles entourant des îlots de données négligées et fragmentées. Afin d'accroître notre capacité de travailler avec cette ressource non exploitée de données, qui est pour l'instant inaccessible, il faudra des efforts améliorés et stratégiques dans le domaine de l'écoinformatique. Le fait d'associer les sources de données en ligne à l'aide d'outils améliorés de découverte de données et de rendre accessibles les données hors ligne constitue une première étape importante pour la compréhension des profils de la biodiversité aquatique à l'échelle nationale et de la façon dont ces profils changent depuis les dernières années.

Tableau 10. Sommaire des tendances à l'échelle nationale relevées grâce à la présente analyse de données, à l'analyse de la documentation et à l'étude de recherches scientifiques publiées

Variable	Description des tendances
Ampleur des conditions mensuelles	Peu de tendances apparentes. Forte ↑ pour ce qui est de l'écoulement en avril et ↓ pour ce qui est de l'écoulement de mai jusqu'en août
Ampleur de l'écoulement – minimum	Plupart des sites : ↔ (surtout pour les longues durées); le quart des sites environ présentent une ↓
Ampleur de l'écoulement – maximum	Plupart des sites : ↔; un grand nombre de sites présentent toutefois une ↘ (surtout pour les longues durées)
Moment du minimum annuel	Peu de sites présentent des tendances significatives; près de la moitié des sites présentent une ↗ pour ce qui est du minimum annuel (minimum annuel survenant plus tard)
Moment du maximum annuel	Peu de sites présentent des tendances significatives; la plupart des sites présentent une ↘ pour ce qui est du maximum annuel (maximum annuel survenant plus tôt)
Fréquence des étiages extrêmes	Plupart des sites : ↔
Fréquence des crues extrêmes	Plupart des sites : ↔
Durée des événements extrêmes	Plupart des sites : ↔; légère tendance à la ↓ pour ce qui est de la durée des épisodes d'étiage
Caractère soudain des événements	Peu de sites présentent des tendances significatives pour ce qui est de la vitesse d'augmentation et de diminution. ↗ pour ce qui est de la vitesse de diminution et ↘ pour ce qui est de la vitesse d'augmentation pour près de la moitié des sites. ↑ du nombre d'inversions dans le tiers des sites
Englacement	Le rapport de Veille au gel (2008c) fournit peu de preuves de changements dans l'englacement; ce résultat concorde avec l'analyse du présent rapport
Débâcle	Le rapport de Veille au gel (2008d) montre que 40 sites sur 285 présentaient une tendance significative ($p < 0,05$) indiquant une fonte printanière hâtive, 168 autres sites montrant une tendance non significative ($p > 0,05$) indiquant la même chose; l'analyse pour le présent rapport montre que 8 sites sur 69 présentaient une tendance significative ($p < 0,05$) indiquant une fonte printanière hâtive, 46 autres sites montrant une tendance non significative ($p > 0,05$) indiquant la même chose
Connectivité des habitats	1971 est l'année où le plus de barrages de plus de 10 m de hauteur ont été construits (57) Année de construction du premier gros barrage : 1830 La plupart des barrages ont été construits entre 1950 et 1990 et une baisse s'est produite au cours des dernières années Les transferts et dérivations entre bassins (qui servent principalement à la production d'hydroélectricité) ont modifié les régimes hydrologiques, surtout en Saskatchewan, au Québec, en Ontario et à Terre-Neuve-et-Labrador Les changements dans l'affectation des terres ont entraîné des modifications des régimes hydrologiques, comme c'est le cas dans le bassin du cours inférieur du Fraser
Contaminants	Peu d'information sur les tendances à long terme ailleurs que dans la région des Grands Lacs; les études dans l'Arctique révèlent des préoccupations soutenues entourant l'augmentation des taux de POP associée au transport de polluants depuis les régions industrialisées du sud

Tendances dégagées à partir des données de 1970 à 2005

Nutriments	Glozier <i>et al.</i> (2009 – projet de rapport) fournissent un sommaire national des tendances à long terme (1990-2006) pour ce qui est des taux d’azote et de phosphore dans les milieux aquatiques
Acidification	Les retombées acides dans l’est du Canada ont diminué depuis les années 1970 et le pH dans les lacs touchés de cette région se rétablit; toutefois, il existe peu de signes de rétablissement biologique pour bon nombre de lacs touchés

↑ : hausse significative (p < 0,1); ↗ : tendance à la hausse (p > 0,1); ↓ : baisse significative (p < 0,1); ↘ = tendance à la baisse (p > 0,1); MD : manque de données

Tableau 11. Sommaire des tendances hydrologiques selon l'écozone⁺, de 1970 à 2005

Écozone ⁺	Ampleur des conditions mensuelles	Ampleur de l'écoulement – minimum	Ampleur de l'écoulement – maximum	Moment du minimum annuel	Moment du maximum annuel	Fréquence des étiages extrêmes	Fréquence des crues extrêmes	Durée des événements extrêmes	Caractère soudain des événements
Arctique	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD
Écozone ⁺ maritime de l'Atlantique	Forte ↓ pour ce qui est de l'écoulement à la fin du printemps et en été	↓	↘	↗ (plus tard)	↘ (plus tôt)	↔	↘	↔	↘ pour la vitesse d'augmentation; ↗ pour la vitesse de diminution; ↔ pour les inversions
Cordillère boréale	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD
Plaines boréales	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD
Bouclier boréal	Peu de sites présentent des tendances	↓ et ↘ (sauf pour les longues durées – ↔)	↓ et ↘	↗ dans les régions du sud; ↘ dans l'ensemble de la région et dans l'ouest	↘ dans l'ensemble de la région; ↗ dans le centre et l'ouest de la région	↔	↘	↗ pour ce qui est des étiages et des crues extrêmes	↘ pour la vitesse d'augmentation; ↗ pour la vitesse de diminution; ↔ pour les inversions
Plaines hudsoniennes	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD
Plaines à forêts mixtes	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD
Cordillère montagnarde	Peu de tendances claires, mais forte ↑ pour ce qui est de l'écoulement en avril	↔	↘	↔	↘ (plus tôt)	↔	↗	↔	↗ pour la vitesse d'augmentation; ↔ pour la vitesse de diminution; ↑ pour les inversions
Écozone ⁺ de la forêt boréale de Terre-Neuve	Aucune tendance claire; légère ↓ pour le mois d'août	↓ et ↘	↔	↗ (plus tard)	↗ (plus tard)	↔	↔	↔	↔
Écozone ⁺ maritime du Pacifique	↓ pour ce qui est de l'écoulement à la fin du printemps et en été	↓ et ↘	↑ et ↗	↗ (plus tard)	↘ (plus tôt)	↗	↗	↔	↔
Prairies	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD

Taïga de la cordillère	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD
Taïga des plaines	↑ pour ce qui est de l'écoulement en hiver et au début du printemps	↑	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔ pour la vitesse d'augmentation et la vitesse de diminution; ↑ pour les inversions
Taïga du bouclier	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD
Bassin intérieur de l'Ouest	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD	MD

↑ : hausse significative ($p < 0,1$); ↗ : tendance à la hausse ($p > 0,1$); ↓ : baisse significative ($p < 0,1$); ↘ : tendance à la baisse ($p > 0,1$); ↔ : partage entre les tendances à la hausse et les tendances à la baisse; MD : manque de données

Tableau 12. Sommaire des tendances relevées grâce à la présente analyse de données, à l'analyse de la documentation et à l'étude de recherches scientifiques publiées, selon l'écozone⁺

Écozone ⁺	Englacement (selon les données du Tableau 7)	Débâcle (selon les données du Tableau 8)	Connectivité des habitats (selon les données de l'Association canadienne des barrages)	Contaminants	Nutriments	Acidification
Arctique	MD	Tendance indiquant une débâcle hâtive (c)	Aucun barrage signalé	Peu d'information sur les tendances à long terme ailleurs que dans la région des Grands Lacs; les études dans l'Arctique révèlent des préoccupations soutenues entourant l'augmentation des taux de POP associée au transport de polluants depuis les régions industrialisées du sud	Glozier <i>et al.</i> (2009 – projet de rapport) fournissent un sommaire national des tendances à long terme (1990-2006) pour ce qui est des taux d'azote et de phosphore dans les milieux aquatiques	Les dépôts acides dans l'est du Canada ont diminué depuis les années 1970 et les niveaux de pH des lacs concernés présents dans cette région se rétablissent. Toutefois, il y a peu de preuves indiquant une récupération biologique dans de nombreux lacs concernés.
Écozone⁺ maritime de l'Atlantique	Tendance indiquant un englacement hâtif (a)	Tendance indiquant une débâcle tardive (b); aucune tendance claire (a)	74 barrages construits au cours du XX ^e siècle			
Cordillère boréale	Tendance indiquant un englacement hâtif (a)	Tendance indiquant une débâcle hâtive (a, b et c)	4 barrages construits entre 1950 et 1970			
Plaines boréales	Tendance mixte (c)	Tendance indiquant une débâcle hâtive (c)	14 barrages construits entre 1950 et 1990			
Bouclier boréal	MD	MD	265 barrages construits au cours du XX ^e siècle, 42 % ayant été construits entre 1950 et 1980			
Plaines hudsoniennes	MD	MD	13 barrages construits entre 1960 et 1990, 10 ayant été construits entre 1970 et 1980			
Plaines à forêts mixtes	Tendance mixte (c)	Tendance indiquant une débâcle tardive (b); tendance mixte (c)	67 barrages construits au cours du XX ^e siècle			
Cordillère montagnarde	Tendance mixte (c)	Tendance indiquant une débâcle hâtive (c)	39 barrages construits au cours du XX ^e siècle			

Écozone⁺ de la forêt boréale de Terre-Neuve	Tendance indiquant un englacement hâtif (c)	Tendance indiquant une débâcle hâtive (c)	39 barrages construits au cours du XX ^e siècle, 38 % ayant été construits entre 1980 et 1990
Écozone⁺ maritime du Pacifique	MD	MD	47 barrages construits au cours du XX ^e siècle
Prairies	Tendance mixte (c)	Tendance indiquant une débâcle hâtive (a et b); tendance mixte (c)	83 barrages construits pour la plupart (64 %) entre 1950 et 1970
Taïga de la cordillère	MD	MD	Aucun barrage signalé
Taïga des plaines	MD	MD	1 barrage construit en 1989
Taïga du bouclier	Tendance indiquant un englacement tardif (c)	Tendance indiquant une débâcle hâtive (c)	177 barrages construits pour la plupart (88 %) entre 1970 et 1990
Bassin intérieur de l'Ouest	MD	MD	19 barrages construits au cours du XX ^e siècle

Sources : (a) 1957-1996 : Zhang et al. (2001); (b) 1960-1997 : Burn et Hag Elnur (2002); (c) 1961-1990 : Duguay et al. (2006)

Références

- Abell, R., Olson, D., Dinerstein, E., Hurley, P., Diggs, J.T., Eichbaum, W., Walters, S., Wettengel, W., Allnutt, T., Loucks, C.J. et Hedao, P. 2000. Freshwater ecoregions of North America. A conservation assessment. Island Press. Washington, D.C. 368 p.
- Abell, R., Thieme, M.L., Revenga, C., Bryer, M., Kottelat, M., Bogutskaya, N., Coad, B., Mandrak, N., Balderas, S.C., Bussing, W., Stiassny, M.L.J., Skelton, P., Allen, G.R., Unmack, P., Naseka, A., Ng, R., Sindorf, N., Robertson, J., Armijo, E., Higgins, J.V., Heibel, T.J., Wikramanayake, E., Olson, D., López, H.L., Reis, R.E., Lundberg, J.G., Pérez, M.H.S. et Petry, P. 2008. Freshwater ecoregions of the world: a new map of biogeographic units for freshwater biodiversity conservation. *Bioscience* 58:403-414.
- Adamowski, K. et Bocci, C. 2001. Geostatistical regional trend detection in river flow data. *Hydrological Processes* 15:3331-3341.
- Association canadienne des barrages. 2003. Les barrages au Canada. Montréal, QC. Commission Internationale des Grands Barrages. CD-ROM..
- Attention glace. 2008a. Les changements dans la glace des lacs annoncent des changements climatiques. Environnement Canada. Ottawa, ON. 8 p.
- Attention glace. 2008b. Les changements dans la glace des lacs annoncent des changements climatiques. Environnement Canada. Ottawa, ON. 8 p.
- Attention glace. 2008c. Les changements dans la glace des lacs annoncent des changements climatiques. Environnement Canada. Ottawa, ON. 8 p.
- Attention glace. 2008d. Les changements dans la glace des lacs annoncent des changements climatiques. Environnement Canada. Ottawa, ON. 8 p.
- Aziz, O.I.A. et Burn, D.H. 2006. Trends and variability in the hydrological regime of the Mackenzie River Basin. *Journal of Hydrology* 319:282-294.
- Bailey, R.C. 2005. Yukon River Basin. *Dans Rivers of North America*. Benke, A.C. et Cushing, C.E. (éd.). Elsevier Academic Press. London, UK. Chapitre 17. pp. 775-802.
- Baird, D.J., Brock, T.C.M., de Ruiter, P.C., Boxall, A.B.A., Culp, J.M., Eldridge, P., Hommen, U., Jak, R.G., Kidd, K.A. et Dewitt, T. 2001. The food web approach in the environmental management of toxic substances. *Dans Ecological variability: separating anthropogenic from natural causes of ecosystem impairment*. Baird, D.J. et Burton, G.A. (éd.). SETAC Press. Pensacola, FL. pp. 83-122.
- Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S. et Palutikof, J. 2008. Climate change and water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Secretariat. Geneva, Switzerland. 210 p.
- Beltaos, S. et Burrell, B.C. 2003. Climatic change and river ice breakup. *Canadian Journal of Civil Engineering* 30:145-155.

- Beltaos, S., Prowse, T.D., Bonsal, B.R., Mackay, R., Romolo, L., Pietroniro, A. et Toth, B. 2006. Climatic effects on ice-jam flooding of the Peace-Athabasca delta. *Hydrological Processes* 20:4031-4050.
- Benke, A.C. et Cushing, C.E. 2005. Background and approach. *Dans Rivers of North America*. Benke, A.C. et Cushing, C.E. (éd.). Elsevier Academic Press. London, UK. Chapitre 1. pp. 1-16.
- Bennett, K.E. et Prowse, T.D. 2010. Northern Hemisphere geography of ice-covered rivers. *Hydrological Processes* 24:235-240.
- Bonsal, B. et Shabbar, A. 2011. Oscillations climatiques à grande échelle ayant une incidence sur le Canada, de 1900 à 2008. Biodiversité canadienne : état et tendances des écosystèmes en 2010, Rapport technique thématique n° 4. Conseils canadiens des ministres des ressources. Ottawa, ON. iii + 15 p.
<http://www.biodivcanada.ca/default.asp?lang=Fr&n=137E1147-1>.
- Bonsal, B.R. et Prowse, T.D. 2003. Trends and variability in spring and autumn 0 °C-isotherm dates over Canada. *Climatic Change* 57:341-358.
- Bonsal, B.R., Prowse, T.D., Duguay, C.R. et Lacroix, M.P. 2006. Impacts of large-scale teleconnections on freshwater-ice break/freeze-up dates over Canada. *Journal of Hydrology* 330:340-353.
- Bordeleau, G., Martel, R., Schafer, D., Ampleman, G. et Thiboutot, S. 2008. Groundwater flow and contaminant transport modelling at an air weapons range. *Environmental Geology* 55:385-396.
- Borgström, R. 2001. Relationship between spring snow depth and growth of brown trout, *Salmo trutta*, in an alpine lake: predicting consequences of climate change. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 33:476-480.
- Boyer, M.C., Muhlfeld, C.C. et Allendorf, F.W. 2008. Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) invasion and the spread of hybridization with native westslope cutthroat trout (*Oncorhynchus clarkii lewisi*). *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques* 65:658-669.
- Boyle, C.A., Lavkulich, L.M., Schreier, H. et Kiss, E. 1997. Changes in land cover and subsequent effects on Lower Fraser Basin ecosystems from 1827 to 1990. *Environmental Management* 21:185-196.
- Braune, B., Muir, D., DeMarch, B., Gamberg, M., Poole, K., Currie, R., Dodd, M., Duschenko, W., Eamer, J., Elkin, B., Evans, M., Grundy, S., Hebert, C., Johnstone, R., Kidd, K., Koenig, B., Lockhart, L., Marshall, H., Reimer, K., Sanderson, J. et Shutt, L. 1999. Spatial and temporal trends of contaminants in Canadian Arctic freshwater and terrestrial ecosystems: a review. *Science of the Total Environment* 230:145-207.
- Bräutigam, A. 1999. The freshwater crisis. *World Conservation* 30:4-5.
- Brimley, B., Cantin, J.F., Harvey, D., Kowalchuk, M., Marsh, P., Ouarda, T., Phinney, B., Pilon, P., Renouf, M., Tassone, B., Wedel, R. et Yuzyk, T. 1999. Establishment of the Reference Hydrometric Basin Network (RHBN) for Canada. Environnement Canada. 44 p.
- Brimley, W.A. et Freeman, C.N. 1997. Trends in river ice cover in Atlantic Canada. *Dans The 9th Workshop on River Ice*. The 9th Workshop on River Ice. Fredericton, NB. pp. 335-349.

- Brown, R. et O'Neill, D. 2002. National plan for cryospheric monitoring -- a Canadian contribution to the global climate observing system. *Observations de la terre et des processus climatologiques*, Service météorologique du Canada. Downsview, ON. 81 p.
- Burn, D.H. 2008. Climatic influences on streamflow timing in the headwaters of the Mackenzie River Basin. *Journal of Hydrology* 352:225-238.
- Burn, D.H. et Cunderlik, J.M. 2004. Hydrological trends and variability in the Liard River Basin. *Hydrological Sciences Journal* 49:53-67.
- Burn, D.H., Fan, L. et Bell, G. 2008. Identification and quantification of streamflow trends on the Canadian prairies. *Hydrological Sciences Journal* 53:538-549.
- Burn, D.H. et Hag Elnur, M.A. 2002. Detection of hydrologic trends and variability. *Journal of Hydrology* 225:107-122.
- Burridge, M. et Mandrak, N. 2009a. Ecoregion description: 103: Alaska and Canada Pacific Coastal [en ligne]. *In* Freshwater ecoregions of the world. The Nature Conservancy and the World Wildlife Fund. http://www.feow.org/ecoregion_details.php?eco=103 (consulté le 20 Feb. 2009).
- Burridge, M. et Mandrak, N. 2009b. Ecoregion description: 115: Canadian Atlantic Islands [en ligne]. *In* Freshwater ecoregions of the world. The Nature Conservancy and the World Wildlife Fund. http://www.feow.org/ecoregion_details.php?eco=115 (consulté le 21 Feb. 2009).
- Burridge, M. et Mandrak, N. 2009c. Ecoregion description: 118: Northeast US and Southeast Canada Atlantic drainages [en ligne]. *In* Freshwater ecoregions of the world. The Nature Conservancy and the World Wildlife Fund. http://www.feow.org/ecoregion_details.php?eco=118 (consulté le 21 Feb. 2009).
- Burridge, M. et Mandrak, N. 2009d. Ecoregion description: 119: Scotia -- Fundy [en ligne]. *In* Freshwater ecoregions of the world. The Nature Conservancy and the World Wildlife Fund. http://www.feow.org/ecoregion_details.php?eco=119 (consulté le 21 Feb. 2009).
- Cameron, J.L. et Lambert, J.D.H. 1971. The vegetation and its distribution on a Rideau River island, Ottawa. *Le Naturaliste Canadien* 98:675-689.
- Charron, I., Lalonde, O., Roy, A.G., Boyer, C. et Turgeon, S. 2008. Changes in riparian habitat along five major tributaries of the Saint Lawrence River, Quebec, Canada: 1964-1997. *River Research and Applications* 24:617-631.
- Chu, C., Minns, C.K. et Mandrak, N.E. 2003. Comparative regional assessment of factors impacting freshwater fish biodiversity in Canada. *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques* 60:624-634.
- Ciruna, K.A., Butterfield, B. et McPhail, J.D. 2007. EAU BC: Ecological Aquatic Units of British Columbia. *Conservation de la nature Canada*. Toronto, ON. 200 p.
- Clague, J.J. et Evans, S.G. 1997. The 1994 Jokulhlaup at Farrow Creek, British Columbia, Canada. *Geomorphology* 19:77-87.

- Clair, T.A., Dennis, I.F., Amiro, P.G. et Cosby, B.J. 2004. Past and future chemistry changes in acidified Nova Scotian Atlantic salmon (*Salmo salar*) rivers: a dynamic modeling approach. *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques* 61:1965-1975.
- Clair, T.A., Dennis, I.F., Scruton, D.A. et Gilliss, M. 2007. Freshwater acidification research in Atlantic Canada: a review of results and predictions for the future. *Dossiers environnement* 15:153-167.
- COSEPAC. 2002. Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur le saumon coho (*Oncorhynchus kisutch*) (population du Fraser intérieur) au Canada. Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. Ottawa, ON. 39 p.
- COSEPAC. 2003a. Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur l'esturgeon blanc (*Acipenser transmontanus*) au Canada - Mise à jour. Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. Ottawa, ON. 57 p.
- COSEPAC. 2003b. Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur le fondule barré (*Fundulus diaphanus*) (population de Terre-Neuve) au Canada - Mise à jour. Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. Ottawa, ON. 26 p.
- COSEPAC. 2005. Mise à jour Evaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur le chevalier noir *Moxostoma duquesnei* au Canada. Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. Ottawa, ON. vi + 23 p.
- COSEPAC. 2006a. Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur le Chevalier de rivière (*Moxostoma carinatum*) au Canada - Mise à jour. Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. Ottawa, ON. 36 p.
- COSEPAC. 2006b. Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur le saumon de l'Atlantique (*Salmo salar*) (population de l'intérieur de la baie de Fundy) au Canada - Mise à jour. Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. Ottawa, ON. 51 p.
- COSEPAC. 2006c. Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur le saumon de l'Atlantique (*Salmo salar*) (population du lac Ontario) au Canada. Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. Ottawa, ON. 29 p.
- COSEPAC. 2010a. COSEPAC Comité sur la situation des espèces en péril au Canada [en ligne]. Gouvernement du Canada. <http://www.cosepac.gc.ca/> (consulté le 7 July 2010).
- COSEPAC. 2010b. Évaluation des espèces sauvages [en ligne]. Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. http://www.cosewic.gc.ca/fra/sct0/index_f.cfm (consulté le 7 Sept. 2010).
- COSEPAC. 2010c. Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur le saumon atlantique (*Salmo salar*) au Canada. Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. Ottawa, ON. xvii + 136 p.
- Cott, P.A., Sibley, P.K. et Somers, W.M. 2008. A review of water level fluctuations on aquatic biota with an emphasis on fishes in ice-covered lakes. *Journal of the American Water Resources Association* 44:343-359.
- Culp, J.M., Prowse, T.D. et Luiker, E.A. 2005. Mackenzie River Basin. *Dans Rivers of North America*. Benke, A.C. et Cushing, C.E. (éd.). Elsevier Academic Press. London, UK. Chapitre 18. pp. 805-849.

- Cunderlik, J.M. et Burn, D.H. 2004. Linkages between regional trends in monthly maximum flows and selected climatic variables. *Journal of Hydrologic Engineering* 202:263-279.
- Cunjak, R.A. et Newbury, R.W. 2005. Atlantic coast rivers of Canada. *Dans Rivers of North America*. Benke, A.C. et Cushing, C.E. (éd.). Elsevier Academic Press. London, UK. Chapitre 21. pp. 939-980.
- Cunjak, R.A., Prowse, T.D. et Parrish, D.L. 1998. Atlantic salmon (*Salmo salar*) in winter: "The season of parr discontent"? *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques* 55:161-180.
- de Rham, L.P., Prowse, T.D. et Bonsal, B.R. 2008. Temporal variations in river-ice break-up over the Mackenzie River Basin, Canada. *Journal of Hydrology* 349:441-454.
- Decker, A.S. et Irvine, J.R. 2013. Pre-COSEWIC Assessment of Interior Fraser Coho Salmon (*Oncorhynchus kisutch*). MPO Secrétariat canadien de consultation scientifique. Document de recherche n° 2013/121. Pêches et Océans Canada. Ottawa, ON. x + 57 p.
- Déry, S.J., Stieglitz, M., McKenna, E.C. et Wood, E.F. 2005. Characteristics and trends of river discharge into Hudson, James, and Ungava bays, 1964-2000. *Journal of Climate* 18:2540-2557.
- Déry, S.J. et Wood, E.F. 2005. Decreasing river discharge in Northern Canada. *Geophysical Research Letters* 32, L10401, 4 p.
- Dextrase, A.J. et Mandrak, N.E. 2006. Impacts of alien invasive species on freshwater fauna at risk in Canada. *Biological Invasions* 8:13-24.
- Duguay, C.R., Prowse, T.D., Bonsal, B.R., Brown, R.D., Lacroix, M.P. et Ménard, P. 2006. Recent trends in Canadian lake ice cover. *Hydrological Processes* 20:781-801.
- Eaton, J.G. et Scheller, R.M. 1996. Effects of climate warming on fish thermal habitat in streams of the United States. *Limnology and Oceanography* 41:1109-1115.
- Eaton, S. 2013. Atlantic Maritime Ecozone+ status and trends assessment. *Canadian Biodiversity: Ecosystem Status and Trends 2010, Technical Ecozone+ Report*. Conseils canadiens des ministres des ressources. Ottawa, ON. Draft report.
- Elwood, J.W. et Waters, T.F. 1969. Effects of floods on food consumption and production rates of a stream brook trout population. *Transactions of the American Fisheries Society* 98:253-262.
- Environnement Canada. 1973. Inventory of Canadian freshwater lakes. Inland Waters Directorate, Water Resources Branch. Ottawa, ON.
- Environnement Canada. 2001. Menaces pour les sources d'eau potable et les écosystèmes aquatiques au Canada. Série de rapports d'évaluation scientifique de l'INRE n° 1. Institut national de recherche sur les eaux. Burlington, ON. 87 p.
- Environnement Canada. 2004. Menaces pour la disponibilité de l'eau au Canada. Rapport no 3, Série de rapports d'évaluation scientifique de l'INRE et Série de documents d'évaluation de la science de la DGSAC, numéro 1. Institut national de recherche sur les eaux. Burlington, ON. 148 p.

- Environnement Canada. 2005. Évaluation scientifique 2004 des dépôts acides au Canada. Service météorologique du Canada, Gouvernement du Canada. Ottawa, ON. 478 p.
- Environnement Canada. 2006a. Canadian environmental sustainability indicators: water quality [en ligne]. Environnement Canada. <http://www.ec.gc.ca/rhc-wsc/Default.asp?lang=Fr&n=4EED50F1-1> (consulté le 2010).
- Environnement Canada. 2006b. HYDAT: données sur les eaux de surface et sur les sédiments [en ligne]. Relevés hydrologiques du Canada, Environnement Canada. <http://ec.gc.ca/rhc-wsc/default.asp?lang=Fr&n=9018B5EC-1> (consulté le 2006).
- Environnement Canada. 2006c. Les principaux domaines et drainage souterrain. Relevés hydrologiques du Canada. Données pour produire la carte otained de Geogratix [en ligne]. Environnement Canada. <http://www.ec.gc.ca/rhc-wsc/Default.asp?lang=Fr&n=4EED50F1-1> (consulté le 23 Oct. 2009).
- Environnement Canada. 2007. Canadian environmental sustainability indicators: water quality [en ligne]. <http://www.ec.gc.ca/rhc-wsc/Default.asp?lang=Fr&n=4EED50F1-1> (consulté le 2010).
- Environnement Canada. 2009a. Indicateurs canadiens de durabilité de l'environnement 2008- Qualité de l'eau: phosphore [en ligne]. <http://www.ec.gc.ca/indicateurs-indicators/default.asp?lang=Fr&n=68DE8F72-1> (consulté le 12 Mar. 2009).
- Environnement Canada. 2009b. Réseau Canadien de Biosurveillance Aquatique [en ligne]. <http://www.ec.gc.ca/rcba-cabin/Default.asp?lang=Fr> (consulté le 1 Feb. 2009).
- Environnement Canada. 2010a. Hydrologie du Canada [en ligne]. <http://www.ec.gc.ca/rhc-wsc/default.asp?lang=Fr&n=E94719C8-1> (consulté le 1 Mar. 2009).
- Environnement Canada. 2010b. Relevés hydrologiques du Canada [en ligne]. <http://www.ec.gc.ca/rhc-wsc/Default.asp?lang=Fr&n=4EED50F1-1> (consulté le Sept. 2008).
- Environnement Canada. 2011. État et tendances de la qualité de l'eau pour les nutriments dans les bassins versants importants du Canada [ressource: sommaire technique]. Environnement Canada, Direction des sciences et de la technologie de l'eau. Ottawa, ON. vii + 51 p.
- Environnement Canada et U.S. Environmental Protection Agency. 2009. État des Grands Lacs 2009. 469 p.
- Environnement Canada et Attention glace. 2008. Les changements dans la glace des lacs annoncent des changements climatiques. Attention Glace et Environnement Canada. Ottawa, ON. 8 p.
- Équipe de rétablissement de l'omble de fontaine auror. 2006. Programme de rétablissement de l'omble de fontaine aurora (*Salvelinus fontinalis timagamiensis*) au Canada. Série de Programmes de rétablissement de la Loi sur les espèces en péril. Pêches et Océans Canada. Ottawa, ON. 44 p.
- Finstad, A.G., Forseth, T. et Faenstad, T.F. 2004. The importance of ice cover for energy turnover in juvenile Atlantic salmon. *Journal of Animal Ecology* 73:959-966.
- Fitzhugh, T.W. et Richter, B.D. 2004. Quenching urban thirst: growing cities and their impacts on freshwater ecosystems. *Bioscience* 54:741-754.

- Futter, M.N. 2003. Patterns and trends in southern Ontario lake ice phenology. *Environmental Monitoring and Assessment* 88:431-444.
- Glozier, N.E. 2009. Update to Glozier *et al.* (2004) on dissolved phosphorus in the Bow River. Water Science and Technology Directorate, Environment Canada, National Hydrology Research Centre. Saskatoon, SK. Communication personnelle.
- Glozier, N.E., Crosley, R.W., Mottle, L.A. et Donald, D.B. 2004. Water quality characteristics and trends for Banff and Jasper National Parks: 1973-2002. Environment Canada, Ecological Sciences Division, Prairie and Northern Region. Saskatoon, SK. 86 p.
- Glozier, N.E., Ryan, A., Dove, A., Parent, D., Rondeau, B., de Jong, M., L'Italien, S., Wallace, E. et Phillips, R.J. 2009. Trends in nitrogen and phosphorus from 1990-2006 for select lakes and rivers in Canada. *Dans* Water quality status and trends of nutrients in Canadian surface waters - a national assessment. Environment Canada (éd.). Environment Canada, Water Science and Technology Directorate. Ottawa, ON. Draft report.
- Gouvernements du Canada et des États-Unis d'Amérique. 2008. Accord Canada-États-Unis sur la qualité de l'air : Rapport d'étape 2008. Commission mixte internationale. Ottawa, ON et Washington, DC. 68 p.
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. 2007. Bilan 2007 des changements climatiques : rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Pachauri, R.K. et Reisinger, A. (éd.). GIEC. Genève, Suisse. 103 p.
- Hannaford, J. et Marsh, T. 2006. An assessment of trends in UK runoff and low flows using a network of undisturbed catchments. *International Journal of Climatology* 26:1237-1253.
- Harvey, K.D., Pilon, P.J. et Yuzyk, T.R. 1999. Canada's Reference Hydrometric Basin Network (RHBN). *Dans* Proceedings of the CWRA 51st Annual Conference. Partnerships in Water Resources Management, Nova Scotia, Canada.
- Hutchings, J.A. 2010. Ensemble d'espèces de poissons d'eau douce et diadromes évaluées par le COSEPAC entre avril 1980 et avril 2010.
- Hutchings, J.A. et Festa-Bianchet, M. 2009. Canadian species at risk (2006-2008), with particular emphasis on fishes. *Dossiers environnement* 17:53-63.
- Huusko, A., Greenberg, L., Stickler, M., Linnansaari, T., Nykänen, M., Veganen, T., Koljonen, S., Louhi, P. et Alfredsen, K. 2007. Life in the ice lane: the winter ecology of stream salmonids. *River Research and Applications* 23:469-491.
- Jasek, M.J. 1998. 1998 break-up and flood on the Yukon River at Dawson -- did El Niño and climate play a role? *Dans* Proceedings of the 14th International Ice Symposium. Potsdam, NY. Vol. 2, pp. 761-768.
- Jeffries, D., Wong, I., Dennis, I. et Sloboda, M. 2010a. Carte des charges critiques terrestres et aquatiques. Direction générale de la science et de la technologie, Environnement Canada. Non publiées.

- Jeffries, D., Wong, I. et Sloboda, M. 2010b. Carte des dépassements constants dans le bouclier boréal pour les sols forestiers ou les lacs. Préparée pour le rapport sur l'état et les tendances de l'écozone du bouclier boréal. Direction générale de la science et de la technologie, Environnement Canada. Carte non publiée.
- Jeffries, D.S., Brydges, T.G., Dillon, P.J. et Keller, W. 2003a. Monitoring the results of Canada/U.S.A. acid rain control programs: some lake responses. *Environmental Monitoring and Assessment* 88:3-19.
- Jeffries, D.S., Clair, T.A., Couture, S., Dillon, P.J., Dupont, J., Keller, W., McNicol, D.K., Turner, M.A., Vet, R. et Weeber, R. 2003b. Assessing the recovery of lakes in southeastern Canada from the effects of acidic deposition. *Ambio* 32:176-182.
- Jeffries, D.S. et Ouimet, R. 2005. Les charges critiques sont-elles dépassées? *Dans* Évaluation scientifique 2004 des dépôts acides au Canada. Environnement Canada, gouvernement du Canada. Ottawa, ON. Chapitre 8. pp. 341-369.
- Jelks, H.L., Walsh, J., Burkhead, N.M., Contreras-Balderas, S., Diaz-Pardo, E., Hendrickson, D.A., Lyons, J., Mandrak, N.E., McCormick, F., Nelson, J.S., Platania, S.P., Porter, B.A., Renaud, C.B., Schmitter-Soto, J.J., Taylor, E.B. et Warren Jr, M.L. 2008. Conservation status of imperiled North American freshwater and diadromous fishes. *Fisheries* 33:372-407.
- Jeziorski, A., Yan, N.D., Paterson, A.M., DeSellas, A.M., Turner, M.A., Jeffries, D.S., Keller, B., Weeber, R.C., McNicol, D.K., Palmer, M.E., McIver, K., Arseneau, K., Ginn, B.K., Cumming, B.F. et Smol, J.P. 2008. The widespread threat of calcium decline in fresh waters. *Science* 322:1374-1377.
- Johnson, P.T.J., Olden, J.D. et Vender Zanden, M.J. 2008. Dam invaders: impoundments facilitate biological invasions into freshwaters. *Frontiers in Ecology and Environment* 6:357-363.
- Jones, S.N. et Bergey, E.A. 2007. Habitat segregation in stream crayfishes: implications for conservation. *Journal of the North American Benthological Society* 26:134-144.
- Jowett, I.G. et Duncan, M.J. 1990. Flow variability in New Zealand rivers and its relationship to instream habitat and biota. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 24:305-317.
- Kendall, M.G. 1975. Rank correlation measures. Charles Griffin. London, UK.
- Khaliq, M.N., Ouarda, T.B.M.J., Gachon, P. et Sushama, L. 2008. Temporal evolution of low flow regimes in Canadian rivers. *Water Resources Research* 44.
- Kundzewicz, Z.W. et Robson, A.J. 2004. Change detection in hydrological records -- a review of the methodology. *Hydrological Sciences Journal* 49:7-19.
- L'Atlas du Canada. 2004a. Pergélisol [en ligne]. <http://geogratis.gc.ca/api/fr/nrcan-rncan/ess-sst/dc7107c0-8893-11e0-aa10-6cf049291510.html> (consulté le 31 Oct. 2008).
- L'Atlas du Canada. 2004b. Superficie terres et eaux douces [en ligne]. Ressources naturelles Canada. <http://atlas.nrcan.gc.ca/site/english/learningresources/facts/surfareas.html> (consulté le 23 Oct. 2009).

- L'Atlas du Canada. 2007a. Composantes physiques associées aux bassins versants [en ligne]. Ressources naturelles Canada. <http://atlas.nrcan.gc.ca/sites/francais/maps/environment/hydrology/watershed1/1> (consulté le 27 Nov. 2009).
- L'Atlas du Canada. 2007b. Moyenne des précipitations totales [en ligne]. Ressources naturelles Canada. http://atlas.nrcan.gc.ca/site/francais/maps/environment/climate/precipitation/precip/1/maptext_view (consulté le 31 Oct. 2008).
- L'Atlas du Canada. 2008a. Cours d'eau [en ligne]. Ressources naturelles Canada. <http://atlas.nrcan.gc.ca/site/francais/learningresources/facts/surfareas.html> (consulté le 1 Mar. 2009).
- L'Atlas du Canada. 2008b. Lacs [en ligne]. Ressources naturelles Canada. <http://atlas.nrcan.gc.ca/site/francais/learningresources/facts/lakes.html> (consulté le 1 Mar. 2009).
- L'Atlas national du Canada. 1991. La capacité des sols [de réduire les précipitations acides]. 5e édition, 1978 à 1995. Ressources naturelles Canada. Ottawa, ON.
- Lacroix, M.P., Prowse, T.D., Bonsal, B.R., Duguay, C.R. et Ménard, P. 2005. River ice trends in Canada. *Dans* Proceedings of the 13th Workshop on the Hydraulics of Ice Covered Rivers. Committee on River Ice Processes and the Environment (éd.). Canadian Geophysical Union. Ottawa, ON. pp. 41-54.
- Lenormand, F., Duguay, C.R. et Gauthier, R. 2002. Development of a historical ice database for the study of climate change in Canada. *Hydrological Processes* 16:3707-3722.
- Levesque, L.M. 2005. Investigating landscape change and ecological restoration: an integrated approach using historical ecology and GIS in Waterton Lakes National Park, Alberta. Thèse (M.Sc.). University of Victoria, Interdisciplinary Studies, School of Environmental Studies, Department of Geography. Victoria, BC. 133 p.
- Li, X.H., Litvak, M.K. et Clarke, J.E.H. 2007. Overwintering habitat use of shortnose sturgeon (*Acipenser brevirostrum*): Defining critical habitat using a novel underwater video survey and modeling approach. *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques* 64:1248-1257.
- Magnuson, J.J., Robertson, D.M., Benson, B.J., Wynne, R.H., Livingstone, D.M., Arai, T., Assel, R.A., Barry, R.G., Card, V., Kuusisto, E., Granin, N.G., Prowse, T.D., Stewart, K.M. et Vuglinski, V.S. 2000. Historical trends in lake and river ice cover in the Northern Hemisphere. *Science* 289:1743-1746.
- Mann, H.B. 1945. Non-parametric tests against trend. *Econometrica* 13:245-259.
- McAdam, S. 2009. B.C. Ministry of Environment. Current status of B.C. white sturgeon in the Columbia, Kootenay, Nechako, and Fraser rivers. Communication personnelle.
- McAdam, S.O., Walters, C.J. et Nistor, C. 2005. Linkages between white sturgeon recruitment and altered bed substrates in the Nechako River, Canada. *Transactions of the American Fisheries Society* 134:1448-1456.
- McAllister, D., Craig, J., Davidson, N., Murray, D. et Seddon, M. 2000. Biodiversity impacts of large dams. Background Paper n° 1. Prepared for IUCN / UNEP / WCD. 66 p.

- McClelland, J.W., Déry, S.J., Peterson, B.J., Holmes, R.M. et Wood, E.F. 2006. A pan-arctic evaluation of changes in river discharge during the latter half of the 20th century. *Geophysical Research Letters* 33:L06715.
- Meldgaard, T., Nielsen, E.E. et Loeschcke, V. 2003. Fragmentation by weirs in a riverine system: a study of genetic variation in time and space among populations of European grayling (*Thymallus thymallus*) in a Danish river system. *Conservation Genetics* 4:735-747.
- Meteorological Survey of Canada. 2003. Science of climatology [en ligne]. http://www.msc-smc.ec.gc.ca/acsd/publications/ACSD_Report/toc_f.html? (consulté le 31 Oct. 2008).
- Michelutti, N., Keatley, B.E., Brimble, S., Blais, J.M., Liu, H., Douglas, M.S.V., Mallory, M.L., Macdonald, R.W. et Smol, J.P. 2009. Seabird-driven shifts in Arctic pond ecosystems. *Proceedings of the Royal Society Series B* 276:591-596.
- Milly, P.C.D., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R.M., Kundzewicz, Z.W., Lettenmaier, D.P. et Stouffer, R.J. 2008. Climate change -- stationarity is dead: whither water management? *Science* 319:573-574.
- Milly, P.C.D., Dunne, K.A. et Vecchia, A.V. 2005. Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature* 438:347-350.
- Minns, C.K., Moore, J.E., Shuter, B.J. et Mandrak, N.E. 2008. A preliminary national analysis of some key characteristics of Canadian lakes. *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques* 65:1763-1778.
- Monk, W.A., Wood, P.J., Hannah, D.M. et Wilson, D.A. 2008. Macroinvertebrate community response to inter-annual and regional river flow regime dynamics. *River Research and Applications* 24:988-1001.
- Muir, D.C.G. et Norstrom, R.J. 2000. Geographical differences and time trends of persistent organic pollutants in the Arctic. *Toxicology Letters* 112/113:93-101.
- Naiman, R.J., Magnuson, J.J., McKnight, D.M. et Stanford, J.A. 1995. *The freshwater imperative: a research agenda*. Island Press. Washington, D.C.
- Nasr, M., Castonguay, M., Ogilvie, J., Raymond, B.A. et Arp, P.A. 2010. Modelling and mapping critical loads and exceedances for the Georgia Basin, British Columbia, using a zero base-cation depletion criterion. *Journal of Limnology* 69(Suppl. 1):181-192.
- Needham, P.R. et Jones, A.C. 1959. Flow, temperature, solar radiation, and ice in relation to activities of fishes in Sagehen Creek, California. *Ecology* 40:465-474.
- Neraas, L.P. et Spruell, P. 2001. Fragmentation of riverine systems: the genetic effects of dams on bull trout (*Salvelinus confluentus*) in the Clark Fork River system. *Molecular Ecology* 10:1153-1164.
- Nilsson, C., Reidy, C.A., Dynesius, M. et Revenga, C. 2005. Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. *Science* 308:405-408.
- Poff, N.L., Allan, J.D., Bain, M.B., Karr, J.R., Prestegard, K.L., Richter, B.D., Sparks, R.E. et Stromberg, J.C. 1997. The natural flow regime. *Bioscience* 47:769-784.

- Poff, N.L., Olden, J.D., Merritt, D.M. et Pepin, D.M. 2007. Homogenization of regional river dynamics by dams and global biodiversity implications. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104:5732-5737.
- Power, G., Cunjak, R.A., Flannagan, J. et Katopodis, C. 1993. Biological effects of river ice. *Dans Environmental aspects of river ice*. Prowse, T.D. et Gridley, N.C. (éd.). Environnement Canada, National Hydrology Research Institute. Saskatoon, SK. Chapitre 4. pp. 97-119.
- Programme de lutte contre les contaminants dans le Nor. 2008. Synopsis of research conducted under the 2007-2008 Northern Contaminants Program. Affaires autochtones et Développement du Nord Canada. Ottawa, ON. 298 p.
- Prowse, T.D. 2001a. River-ice ecology. I: hydrologic, geomorphic, and water-quality aspects. *Journal of Cold Regions Engineering* 15:1-16.
- Prowse, T.D. 2001b. River-ice ecology. II: biological aspects. *Journal of Cold Regions Engineering* 15:17-33.
- Prowse, T.D. 2005. River-ice hydrology. *Dans Encyclopedia of hydrological sciences: volume 4*. Anderson, M.G. (éd.). John Wiley & Sons. Chichester, UK. pp. 2657-2677.
- Prowse, T.D., Bonsal, B.R., Duguay, C.R., Hessen, D.O. et Vuglinsky, V.S. 2007a. River and lake ice. *Dans Global Outlook for Ice and Snow*. United Nations Environment Program (éd.). UNEP/GRID-Arendal. Arendal, Norway. Chapitre 8. pp. 201-214.
- Prowse, T.D., Bonsal, B.R., Duguay, C.R. et Lacroix, M.P. 2007b. River-ice break-up/freeze-up: a review of climatic drivers, historical trends and future predictions. *Annals of Glaciology* 46:443-451.
- Prowse, T.D. et Culp, J.M. 2003. Ice breakup: A neglected factor in river ecology. *Canadian Journal of Civil Engineering* 30:128-144.
- Quinn, F. 2004. Interbasin water diversions in Canada. A report to the International Commission on Irrigation and Drainage (ICID). Environnement Canada. 7 p. + Appendices. Unpublished Report.
- Rand, P.S., Hinch, S.G., Morrison, J., Foreman, M.G.G., MacNutt, M.J., Macdonald, J.S., Healey, M.C., Farrell, A.P. et Higgs, D.A. 2006. Effects of river discharge, temperature, and future climates on energetics and mortality of adult migrating Fraser River sockeye salmon. *Transactions of the American Fisheries Society* 135:655-667.
- Rannie, W.F. 1983. Breakup and freezeup of the Red River at Winnipeg, Manitoba Canada in the 19th century and some climatic implications. *Climatic Change* 5:283-296.
- Reid, S.M., Mandrak, N.E., Carl, L.M. et Wilson, C.C. 2008a. Influence of dams and habitat condition on the distribution of redbhorse (*Moxostoma*) species in the Grand River watershed, Ontario. *Environmental Biology of Fishes* 81:111-125.
- Reid, S.M., Wilson, C.C., Mandrak, N.E. et Carl, L.M. 2008b. Population structure and genetic diversity of black redbhorse (*Moxostoma duquesnei*) in a highly fragmented watershed. *Conservation Genetics* 9:531-546.
- Revenge, C., Brunner, J., Henninger, N., Kassem, K. et Payne, R. 2000. Pilot analysis of global ecosystems - freshwater systems. World Resources Institute. Washington, DC. 64 p.

- Richardson, J.S. et Milner, A.M. 2005. Pacific coast rivers of Canada and Alaska. *Dans Rivers of North America*. Benke, A.C. et Cushing, C.E. (éd.). Elsevier Academic Press. London, UK. Chapitre 16. pp. 735-775.
- Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Powell, J. et Braun, D.P. 1996. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. *Conservation Biology* 10:1163-1174.
- Rimmer, D.M., Paim, U. et Saunders, R.L. 1984. Changes in the selection of microhabitat by juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) at the summer-autumn transition in a small river. *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques* 41:469-475.
- Rosenberg, D.M., Chambers, P.A., Culp, J.M., Franzin, W.G., Nelson, P.A., Salki, A.G., Stainton, M.P., Bodaly, R.A. et Newbury, R.W. 2005. Nelson and Churchill river basins. *Dans Rivers of North America*. Benke, A.C. et Cushing, C.E. (éd.). Elsevier Academic Press. London, UK. pp. 853-901.
- Salmi, T., Määttä, A., Anttila, P., Ruoho-Airola, T. et Amnell, T. 2002. MAKESENS - Mann-Kendall test and Sen's slope estimates for the trend of annual data. Finnish Meteorological Institute. Helsinki, Finland.
- Schindler, D.W. et Donahue, W.F. 2006. An impending water crisis in Canada's western Prairie provinces. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103:7210-7216.
- Scott, K.A., Wissel, B.J., Gibson, J.J. et Birks, S.J. 2010. Chemical characteristics and acid sensitivity of boreal headwater lakes in northwest Saskatchewan. *Journal of Limnology* 69:33-44.
- Scott, W.B. et Crossman, E.J. 1998. *Freshwater fishes of Canada*. Galt House Publications Ltd. Oakville, ON. 966 p.
- Scrimgeour, G.J., Prowse, T.D., Culp, J.M. et Chambers, P.A. 1994. Ecological effects of river ice break-up: a review and perspective. *Freshwater Biology* 32:261-275.
- Secrétariat du RETE. 2011. Sommaire des éléments probants relativement aux constatations clés pour l'écozone⁺ des plaines boréales. Biodiversité canadienne: état et tendances des écosystèmes en 2010, Rapport sommaire des éléments probants relativement aux constatations clés n° 12. Conseils canadiens des ministres des ressources. Ottawa, (Ont). Sous presse.
- Shrubsole, D. 2000. Flood management in Canada at the crossroads. *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards* 2:63-75.
- Smith, I.M., Hall, K.J., Lavkulich, L.M. et Schreier, H. 2007. Trace metal concentrations in an intensive agricultural watershed in British Columbia, Canada. *Journal of the American Water Resources Association* 43:1455-1467.
- Snucins, E. 2003. Recolonization of acid-damaged lakes by the benthic invertebrates *Stenacron interpunctatum*, *Stenonema femoratum* and *Hyaella azteca*. *Ambio* 32:225-229.
- Snucins, E. et Gunn, J.M. 2003. Use of rehabilitation experiments to understand the recovery dynamics of acid-stressed fish populations. *Ambio* 32:240-243.
- St. George, S. 2007. Streamflow in the Winnipeg River Basin, Canada: trends, extremes and climate linkages. *Journal of Hydrology* 332:396-411.

- Stickler, M., Enders, E. et Pennell, C. 2008. Habitat use of Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr in a dynamic winter environment: the influence of anchor-ice dams. *Journal of Fish Biology* 73:926-944.
- Swansburg, E., El-Jabi, N., Caissie, D. et Chaput, G. 2004. Hydrometeorological trends in the Miramichi river, Canada: implications for Atlantic salmon growth. *North American Journal of Fisheries Management* 24:561-576.
- The Nature Conservancy. 2007. Indicators of hydrologic alteration (version 7) user's manual. <http://conserveonline.org/workspaces/iha/documents/download/view.html>.
- Thorp, J.H., Lamberti, G.A. et Casper, A.F. 2005. St. Lawrence River Basin. *Dans Rivers of North America*. Benke, A.C. et Cushing, C.E. (éd.). Elsevier Academic Press. London, UK. Chapitre 22. pp. 983-1028.
- Timoney, K.P. et Argus, G. 2006. Willows, water regime, and recent cover change in the Peace-Athabasca Delta. *Écoscience* 13:308-317.
- UNEP. 2007. Global outlook for ice and snow. United Nations Environment Programme. Nairobi, Kenya. 235 p. Map obtained from <http://maps.grida.no/go/graphic/trends-in-spring-temperatures-and-ice-break-up-dates-in-canada>. Designed by Hugo Ahlenius, UNEP/GRID-Arendal.
- Vallee, S. et Payette, S. 2007. Collapse of permafrost mounds along a subarctic river over the last 100 years (northern Quebec). *Geomorphology* 90:162-170.
- Van der Kamp, G., Keir, D. et Evans, M.S. 2008. Long-term water level changes in closed-basin lakes of the Canadian Prairies. *Revue canadienne des ressources hydriques* 33:23-38.
- Vincent, L.A. et Mekis, E. 2006. Changes in daily and extreme temperature and precipitation indices for Canada over the twentieth century. *Atmosphere-Ocean* 44:177-193.
- Wan, M.T., Kuo, J.N., McPherson, B. et Pasternak, J. 2006. Agricultural pesticide residues in farm ditches of the Lower Fraser Valley, British Columbia, Canada. *Journal of Environmental Science and Health, Part B Pesticides, Food Contaminants and Agricultural Wastes* 41:647-669.
- Wania, F. et Mackay, D. 1993. Global fractionation and cold condensation of low-volatility organochlorine compounds in polar regions. *Ambio* 22:10-18.
- Watt, W.D., Scott, C.D., Zamora, P.J. et White, W.J. 2000. Acid toxicity levels in Nova Scotian rivers have not declined in synchrony with the decline in sulfate levels. *Water, Air, and Soil Pollution* 118:203-229.
- Weeber, R.C., Jeffries, D.S. et McNicol, D. 2005. Le rétablissement des écosystèmes aquatiques. *Dans Évaluation scientifique 2004 des dépôts acides au Canada*. Environnement Canada, gouvernement du Canada. Ottawa, ON. Chapitre 7. pp. 279-340.
- Welch, D.W., Turo, S. et Batten, S.D. 2006. Large-scale marine and freshwater movements of white sturgeon. *Transactions of the American Fisheries Society* 135:386-389.
- Williams, G.P. 1970. A note on the break-up of lakes and rivers as indicators of climate change. *Atmosphere* 8:23-24.

- Williamson, C.E., Saros, J.E. et Schindler, D.W. 2009. Sentinels of change. *Science* 323:887-888.
- Wolfe, B.B., Hall, R.I., Edwards, T.W.D., Jarvis, S.R., Sinnatamby, R.N., Yi, Y. et Johnston, J.W. 2008. Climate-driven shifts in quantity and seasonality of river discharge over the past 1000 years from the hydrographic apex of North America. *Geophysical Research Letters* 35:24402-.
- Woo, M.K. et Thorne, R. 2003. Streamflow in the Mackenzie Basin, Canada. *Arctic* 56:328-340.
- Woo, M.K. et Thorne, R. 2008. Analysis of cold season streamflow response to variability of climate in north-western North America. *Hydrology Research* 39:257-265.
- World Wildlife Fund et The Nature Conservancy. 2008a. FEOW -- Freshwater ecoregions of the world [en ligne]. <http://www.feow.org/> (consulté le 23 Oct. 2009).
- World Wildlife Fund et The Nature Conservancy. 2008b. Surface water abstraction stress to rivers [en ligne]. http://www.feow.org/maps/threat/surface_water_abstraction_stress_to_rivers (consulté le 21 Feb. 2009).
- Wrona, F.J., Prose, T.D., Reist, J.D., Hobbie, J.E., Lévesque, L.M.J. et Vincent, W.F. 2006. Climate impacts on arctic freshwater ecosystems and fisheries: background, rationale and approach of the Arctic Climate Impact Assessment (ACIA). *Ambio* 35:326-329.
- Wrona, F.J., Prowse, T.D. et Reist, J.D. 2005. Freshwater ecosystems and fisheries. *Dans* Arctic climate impact assessment. Symon, C., Arris, L. et Heal, B. (éd.). Cambridge University Press. New York, NY. Chapitre 8. pp. 353-452.
- Yan, N.D., Paterson, A.M., Somers, K.M. et Scheider, W.A. 2008a. An introduction to the Dorset special issue: transforming understanding of factors that regulate aquatic ecosystems on the southern Canadian Shield. *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques* 65:781-785. doi:10.1139/F08-077.
- Yan, N.D., Somers, K.M., Girard, R.E., Paterson, A.M., Keller, W., Ramcharan, C.W., Rusak, J.A., Ingram, R., Morgan, G.E. et Gunn, J.M. 2008b. Long-term trends in zooplankton of Dorset, Ontario lakes: the probable interactive effects of changes in pH, total phosphorus, dissolved organic carbon, and predators. *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques* 65:862-877.
- Zhang, X., Harvey, K.D., Hogg, W.D. et Yuzyk, T.R. 2001. Trends in Canadian streamflow. *Water Resources Research* 37:987-998.

Annexe 1 : Sommaire des tendances relatives aux variables des indicateurs d'altération hydrologique selon l'écozone⁺

Variable d'IAH	Tendance	Écozone ⁺ maritime de l'Atlantique	Bouclier boréal	Plaines boréales	Cordillère boréale	Plaines hudsoniennes	Plaines à forêts mixtes	Cordillère montagnarde	Forêt boréale de Terre-Neuve	Haut-Arctique	Écozone ⁺ maritime du Pacifique	Prairies	Bas-Arctique	Taïga de la cordillère	Taïga des plaines	Taïga du bouclier	Bassin intérieur de l'Ouest
		34	31	6	9	2	5	27	12	2	11	4	3	1	11	6	8
Nombre de sites :		34	31	6	9	2	5	27	12	2	11	4	3	1	11	6	8
	↓ p < 0,1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	2	0
	↑ p < 0,1	4	5	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Octobre	Aucune	30	24	4	9	2	5	25	12	2	11	4	0	1	10	4	8
	↓ p < 0,1	2	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	2	1	4	2	0
	↑ p < 0,1	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Novembre	Aucune	32	27	4	8	1	5	27	12	2	10	4	1	0	6	4	8
	↓ p < 0,1	0	6	1	5	1	0	1	0	0	1	0	2	1	7	1	3
	↑ p < 0,1	2	4	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0
Décembre	Aucune	32	21	3	4	1	5	25	12	2	10	4	1	0	3	4	5
	↓ p < 0,1	0	5	1	4	1	2	1	0	0	3	0	1	1	7	2	4
	↑ p < 0,1	4	6	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Janvier	Aucune	30	20	3	5	1	3	25	12	2	8	4	2	0	3	4	4
	↓ p < 0,1	0	4	1	4	0	0	2	0	0	1	0	2	1	7	2	0
	↑ p < 0,1	4	5	2	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	1	0	0
Février	Aucune	30	22	3	5	2	5	23	12	2	9	4	1	0	3	4	8
	↓ p < 0,1	0	3	0	3	0	0	3	0	0	0	0	2	1	7	1	1
	↑ p < 0,1	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Mars	Aucune	34	25	5	6	2	5	24	12	2	11	4	1	0	3	5	7
	↓ p < 0,1	7	5	0	5	1	0	10	0	0	3	3	2	1	5	1	7
	↑ p < 0,1	0	4	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Avril	Aucune	27	22	6	4	1	3	17	12	2	8	1	1	0	6	5	1

Mai	↓ p < 0,1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	1	0	0	0	0
	↑ p < 0,1	19	7	2	0	0	1	3	0	0	3	2	0	0	0	1	0
	Aucune	15	24	4	9	2	4	23	12	2	6	2	2	1	11	5	8
Juin	↓ p < 0,1	0	3	0	2	0	0	1	0	0	2	0	1	0	0	1	0
	↑ p < 0,1	17	7	1	2	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	2
	Aucune	17	21	5	5	2	5	26	12	2	6	4	2	1	11	5	6
Juillet	↓ p < 0,1	0	4	1	1	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	2	0
	↑ p < 0,1	9	4	1	1	0	0	1	0	0	5	0	0	0	0	0	1
	Aucune	25	23	4	7	2	5	25	12	2	6	4	1	1	11	4	7
Août	↓ p < 0,1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	2	0
	↑ p < 0,1	19	10	1	2	0	0	4	0	0	4	1	0	0	1	0	1
	Aucune	15	20	4	6	2	5	23	12	2	7	3	1	1	9	4	7
Septembre	↓ p < 0,1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	2	1	1	3	0
	↑ p < 0,1	8	9	1	0	0	1	2	0	0	7	0	0	0	1	0	2
	Aucune	26	21	5	8	2	4	25	12	2	3	4	1	0	9	3	6
Minimum 1 jour	↓ p < 0,1	0	4	0	3	0	0	3	0	0	0	0	2	1	6	2	1
	↑ p < 0,1	20	9	1	0	0	0	4	0	0	5	0	0	0	1	0	0
	Aucune	14	18	5	6	2	5	20	12	2	6	4	1	0	4	4	7
Minimum 3 jours	↓ p < 0,1	0	4	0	3	0	0	4	0	0	0	0	2	1	6	2	1
	↑ p < 0,1	21	9	1	0	0	0	3	0	0	5	0	0	0	0	0	0
	Aucune	13	18	5	6	2	5	20	12	2	6	4	1	0	5	4	7
Minimum 7 jours	↓ p < 0,1	0	4	1	3	0	0	4	0	0	0	0	2	1	6	2	1
	↑ p < 0,1	21	9	2	0	0	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	1
	Aucune	13	18	3	6	2	5	21	12	2	8	4	1	0	5	4	6
Minimum 30 jours	↓ p < 0,1	0	4	1	4	0	0	4	0	0	2	0	2	1	6	2	1
	↑ p < 0,1	18	9	1	0	0	1	2	0	0	3	0	0	0	1	0	0
	Aucune	16	18	4	5	2	4	21	12	2	6	4	1	0	4	4	7
Minimum 90 jours	↓ p < 0,1	0	3	1	4	1	0	2	0	0	1	0	2	1	7	2	4
	↑ p < 0,1	21	5	1	0	0	0	1	0	0	6	0	0	0	1	0	0
	Aucune	13	23	4	5	1	5	24	12	2	4	4	1	0	3	4	4
Débit de base	↓ p < 0,1	0	1	0	4	0	1	6	0	0	0	0	2	1	5	0	1
	↑ p < 0,1	10	4	1	1	0	0	1	0	0	5	0	0	0	0	1	0
	Aucune	24	26	5	4	2	4	20	12	2	6	4	1	0	6	5	7

Maximum 1 jour	↓ p < 0,1	2	2	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	3	0
	↑ p < 0,1	4	8	2	2	0	5	4	0	0	0	1	0	0	2	0	2
	Aucune	28	21	4	6	1	0	23	12	2	10	3	2	1	9	3	6
Maximum 3 jours	↓ p < 0,1	0	2	0	1	1	0	0	0	0	2	0	1	0	0	3	0
	↑ p < 0,1	5	9	2	1	0	5	3	0	0	0	1	0	0	1	0	3
	Aucune	29	20	4	7	1	0	24	12	2	9	3	2	1	10	3	5
Maximum 7 jours	↓ p < 0,1	0	2	0	1	1	0	0	0	0	3	0	1	0	0	3	0
	↑ p < 0,1	6	10	2	0	0	5	3	0	0	0	0	0	0	1	0	3
	Aucune	28	19	4	8	1	0	24	12	2	8	4	2	1	10	3	5
Maximum 30 jours	↓ p < 0,1	0	2	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	3	0
	↑ p < 0,1	5	12	2	1	0	5	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	Aucune	29	17	4	7	1	0	26	12	2	10	4	2	1	10	3	8
Maximum 90 jours	↓ p < 0,1	0	2	0	1	0	0	1	0	0	2	0	2	0	0	3	0
	↑ p < 0,1	7	9	2	1	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
	Aucune	27	20	4	7	2	3	26	12	2	9	3	1	1	11	3	7
Date correspondant au minimum sur un jour	↓ p < 0,1	9	5	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	5	2
	↑ p < 0,1	0	2	1	2	0	0	2	0	1	2	0	2	0	2	0	0
	Aucune	25	24	5	6	1	5	24	12	1	9	4	0	0	8	1	6
Date correspondant au maximum sur un jour	↓ p < 0,1	3	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	3	0	0
	↑ p < 0,1	4	3	0	2	0	2	3	0	0	1	0	0	0	0	0	3
	Aucune	27	27	5	7	2	3	24	12	2	9	4	2	1	8	6	5
Nombre d'épisodes d'étiage	↓ p < 0,1	6	2	0	1	0	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	↑ p < 0,1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Aucune	27	29	5	8	2	3	21	12	2	11	4	3	1	11	6	8
Durée des épisodes d'étiage	↓ p < 0,1	7	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0
	↑ p < 0,1	0	4	1	3	1	0	4	0	0	1	0	2	1	7	0	0
	Aucune	27	26	5	6	1	5	22	12	2	10	4	1	0	3	5	8
Nombre d'épisodes de crue	↓ p < 0,1	0	1	1	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	2
	↑ p < 0,1	5	5	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Aucune	29	25	4	9	1	5	25	12	2	10	4	3	1	11	6	6
Durée des épisodes de crue	↓ p < 0,1	1	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0
	↑ p < 0,1	3	0	1	0	0	0	2	0	1	2	0	0	0	1	0	1
	Aucune	30	29	5	9	2	3	25	12	1	9	4	1	1	8	6	7

Vitesse d'augmentation	↓ p < 0,1	0	0	1	4	1	0	1	0	0	3	0	2	0	0	0	2
	↑ p < 0,1	11	8	3	1	1	0	5	0	1	0	0	0	0	5	1	0
	Aucune	23	23	2	4	0	5	21	12	1	8	4	1	1	6	5	6
Vitesse de diminution	↓ p < 0,1	10	5	1	4	1	0	2	0	0	1	0	0	0	1	0	0
	↑ p < 0,1	0	0	0	0	1	2	1	0	1	2	0	0	0	2	0	1
	Aucune	24	26	5	5	0	3	24	12	1	8	4	3	1	8	6	7
Nombre d'inversions	↓ p < 0,1	7	8	1	1	1	2	13	0	1	2	0	1	1	9	2	3
	↑ p < 0,1	4	4	0	4	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2
	Aucune	23	19	5	4	0	3	13	12	1	9	3	2	0	2	4	3