



L'état du Saint-Laurent

— Rapport technique —

*Les fluctuations des niveaux d'eau
du Saint-Laurent*



RAPPORT SUR L'ÉTAT DU SAINT-LAURENT

***Les fluctuations des niveaux d'eau
du Saint-Laurent***

Rapport technique

Alain Robichaud et René Drolet
Équipe conjointe bilan

Environnement Canada
Pêches et Océans Canada
Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec

Juin 1998

Photographie de la page couverture : Michel Boulianne



Ce papier contient au moins 20 p. 100 de fibres recyclées après consommation.

On devra citer la publication comme suit :

Robichaud, A. et R. Drolet. 1998. *Rapport sur l'état du Saint-Laurent – Les fluctuations des niveaux d'eau du Saint-Laurent*. Équipe conjointe bilan, composée de représentants d'Environnement Canada, de Pêches et Océans Canada et du ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, Sainte-Foy. Rapport technique.

Publié avec l'autorisation du ministère de l'Environnement
© Ministre des Travaux publics et Services gouvernementaux Canada 1998
N° de catalogue : En153-97/1998-2F
ISBN : 0-662-82756-2



Réalisation

Conception et orientation

Hélène Bouchard et Louis Roy,
Équipe conjointe bilan

Recherche et rédaction

Alain Robichaud et René Drolet,
Équipe conjointe bilan

Production

Coordination

Louise Quilliam,
Équipe conjointe bilan

Cartographie

François Boudreault,
Environnement Canada

Révision linguistique

Monique Simond,
Environnement Canada

Saisie de données
et mise en page

Élite Services Informatiques

Remerciements

De nombreux collaborateurs des ministères partenaires de l'entente *Saint-Laurent Vision 2000* ont participé à la préparation de ce rapport technique. Nous tenons à remercier les personnes suivantes pour leurs suggestions lors de la préparation de ce rapport et leurs commentaires sur les différentes versions préliminaires du document :

Environnement Canada

Alain Armellin, Jean Burton, Jean-François Cantin, Christiane Hudon, Anne Jourdain, Serge Lepage, Gérald Vigeant et Yvan Vigneault

Pêches et Océans Canada

Michel Gilbert, Bernard Labrecque, Denis Lefavre, Michèle Moisan et Pierre Rouleau

Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec

Gilles Barabé, André Carpentier, Serge Hébert, Yves Mailhot et Marc Mingelbier

Expert-conseil

Michel Slivitzky

Équipe conjointe bilan

Hélène Bouchard et Louis Roy

Nous remercions également les personnes suivantes qui ont été consultées pour des aspects particuliers du document :

Environnement Canada

Martin Jean et Peter Yee

Hydro-Québec

Sylvain Robert

INRS-Eau

Jean Morin

Institut maritime du Québec

Jacques Paquin

Communauté urbaine de Montréal

Guy Deschamps

Équipe conjointe bilan

Lise Bernier et Serge Villeneuve

Avant-propos

L'entente Saint-Laurent Vision 2000 poursuit les efforts amorcés en 1988 par les gouvernements fédéral et provincial pour conserver et protéger le Saint-Laurent afin d'en redonner l'usage à la population. L'un des objectifs du volet « Aide à la prise de décision » consiste à enrichir les connaissances sur le Saint-Laurent et à transmettre cette information aux décideurs et au grand public.

C'est dans ce contexte que s'inscrit le *Rapport sur l'état du Saint-Laurent* dont les principaux objectifs consistent à : a) faire un suivi de l'état des caractéristiques du Saint-Laurent à partir des indicateurs environnementaux utilisés lors du premier exercice de synthèse¹; et b) décrire et analyser une série d'enjeux environnementaux liés au Saint-Laurent dans une perspective d'aide à la prise de décision.

Le *Rapport sur l'état du Saint-Laurent* comprend six rapports techniques qui s'adressent à une clientèle avertie. L'un fait la mise à jour des indicateurs environnementaux, alors que les cinq autres traitent des enjeux suivants :

- les fluctuations des niveaux d'eau du Saint-Laurent;
- le dérangement des espèces fauniques du Saint-Laurent;
- la contribution des activités urbaines à la détérioration du Saint-Laurent;
- la contribution des activités agricoles à la détérioration du Saint-Laurent;
- la contribution des établissements industriels à la détérioration du Saint-Laurent.

Les rapports techniques sur les enjeux présentent les résultats de leur analyse en fonction d'une approche « Pression-État-Réponse ». Cette approche vise à établir des liens de causalité entre les pressions exercées par les catastrophes naturelles et les activités humaines sur le Saint-Laurent, l'état des milieux et des ressources et les réponses existantes, c'est-à-dire les décisions et les mesures adoptées pour y remédier. Une fiche destinée aux décideurs impliqués dans la sauvegarde du Saint-Laurent résume la problématique de l'enjeu soulevé dans chaque rapport.

Le *Rapport sur l'état du Saint-Laurent* couvre la portion québécoise du Saint-Laurent comprise entre Cornwall et Blanc-Sablon sur la rive nord, Gaspé sur la rive sud et les îles de la Madeleine.

¹ À cet effet, le lecteur peut se référer au *Rapport-synthèse sur l'état du Saint-Laurent*, publié en 1996 par le Centre Saint-Laurent d'Environnement Canada et les Éditions MultiMondes.

Table des matières

Avant-propos	v
Liste des figures	x
Liste des tableaux	xii
Introduction	xiii
1 INFORMATIONS DE BASE	1
1.1 Caractéristiques physiques du Saint-Laurent	1
1.1.1 Physiographie du bassin du Saint-Laurent.....	1
1.1.1.1 Tronçon fluvial	3
1.1.1.2 Estuaire fluvial	5
1.1.1.3 Moyen estuaire et Saguenay	5
1.1.1.4 Estuaire maritime et golfe	7
1.1.2 Débit du fleuve et des tributaires	7
1.1.3 Le climat du bassin Grands Lacs–Saint-Laurent.....	10
1.2 Mesures des niveaux d'eau	14
1.2.1 Réseaux de mesures.....	14
1.2.2 Systèmes et niveaux de référence.....	14
1.3 Inondations et plaines inondables.....	16
1.3.1 Inondations.....	16
1.3.2 La plaine inondable.....	18
1.4 Aspects économiques et environnementaux	19
1.4.1 Le transport maritime et la voie navigable du Saint-Laurent	19
1.4.1.1 Apport économique du port de Montréal-Contrecoeur.....	21
1.4.2 Développement hydroélectrique sur le Saint-Laurent	21
1.4.3 Activités récréatives et touristiques.....	22
1.4.3.1 Activités récréatives avec contact direct	22
1.4.3.2 Activités récréatives sans contact direct	24
1.4.4 Utilisation du Saint-Laurent par la faune (usages fauniques).....	24
1.4.5 Milieux humides.....	27
1.4.6 Végétation riveraine.....	31
1.5 La Commission mixte internationale et la régularisation des eaux.....	31
1.5.1 Conseil international de contrôle du fleuve Saint-Laurent.....	34
1.6 Les changements climatiques	35
1.6.1 Scénarios plausibles de changement climatique pour le Québec	37
1.6.2 La <i>Convention de Rio</i> (1992) et le <i>Protocole de Kyoto</i> (1997)	38
2 PROBLÉMATIQUES ASSOCIÉES À L'ENJEU	39
2.1 Considérations de base	39
2.1.1 Caractéristiques déterminantes de l'enjeu	39
2.1.1.1 Absence de critères d'interprétation des niveaux d'eau en fonction des usages	39

2.1.1.2	Importance du synchronisme.....	39
2.1.1.3	Conflits d'usages	39
2.1.1.4	Effet combiné des facteurs naturels et anthropiques	40
2.1.1.5	Influence de phénomènes à différentes échelles spatiales et temporelles.....	40
2.1.2	Traitement de la problématique	40
2.2	Fluctuations actuelles et passées des niveaux d'eau du Saint-Laurent	41
2.2.1	L'état des niveaux d'eau et des fluctuations historiques	41
2.2.1.1	Variations interannuelles des niveaux d'eau	43
2.2.1.2	Cycle annuel des niveaux d'eau (variations saisonnières).....	44
2.2.1.3	Cyclicité et synchronisme des fluctuations interannuelles des niveaux d'eau	52
2.2.1.4	Synopsis.....	56
2.2.2	Effets des fluctuations des niveaux d'eau du Saint-Laurent.....	56
2.2.2.1	Effets sur les usages	57
2.2.2.2	Effets sur les composantes du milieu naturel.....	68
2.2.2.3	Synopsis.....	77
2.2.3	Facteurs influençant les niveaux d'eau du Saint-Laurent.....	79
2.2.3.1	Description des facteurs naturels.....	80
2.2.3.2	Description des facteurs anthropiques.....	88
2.2.3.3	Influence relative des facteurs naturels et anthropiques	96
2.2.3.4	Synopsis.....	107
2.2.4	Les réponses.....	108
2.2.4.1	Programmes de gestion et de régularisation des niveaux d'eau	109
2.2.4.2	Programmes d'adaptation aux fluctuations des niveaux d'eau.....	118
2.3	Les changements climatiques globaux et le Saint-Laurent	123
2.3.1	Les changements climatiques globaux (COMPOSANTES DE PRESSION)	123
2.3.1.1	Scénarios plausibles de changement climatique sur le bassin Grands Lacs–Saint-Laurent.....	124
2.3.2	Les changements de l'état des niveaux d'eau (COMPOSANTES D'ÉTAT).....	124
2.3.3	Les effets sur les usages et les composantes naturelles du Saint-Laurent	126
2.3.4	Les actions entreprises face aux changements climatiques (COMPOSANTES DE RÉPONSE).....	129
2.3.4.1	Programme d'action national concernant les changements climatiques au Canada	129
2.3.4.2	Projet Bassin Grands Lacs–Saint-Laurent (BGLSL)	129
2.3.4.3	Étude pancanadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement du climat.....	130
2.3.4.4	Synopsis.....	131
2.4	Analyse globale	132
2.4.1	Vue d'ensemble de l'enjeu.....	132

2.4.2	Évaluation de l'importance des effets des fluctuations des niveaux d'eau sur les usages et les composantes du milieu	133
3	CONCLUSIONS ET ORIENTATIONS	143
3.1	Notions d'incertitude	143
3.1.1	Effets des fluctuations des niveaux d'eau sur les usages anthropiques et fauniques et sur les composantes naturelles du Saint-Laurent.....	144
3.1.2	Contribution des facteurs anthropiques et des facteurs naturels aux fluctuations des niveaux d'eau	144
3.2	Lacunes d'information	146
3.2.1	Connaissance des effets des fluctuations des niveaux d'eau sur les usages anthropiques et fauniques et sur les composantes naturelles du Saint-Laurent.....	146
3.2.2	Connaissance de l'impact des changements climatiques sur les niveaux d'eau du Saint-Laurent	147
3.3	Préoccupations de gestion	148
3.3.1	Objectifs de maintien d'usage et objectifs environnementaux.....	148
3.3.2	Pistes d'action	149
	Références	152
Annexe 1	Le cadre Pression-État-Réponse	167
Annexe 2	Calcul de la hausse probable du niveau de la mer dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent	171

Liste des figures

1.1	Les régions hydrographiques du Saint-Laurent.....	2
1.2	Les masses d'eau du Saint-Laurent entre Cornwall et Québec.....	6
1.3	Bassin Grands Lacs–Saint-Laurent : un bref aperçu climatique.....	12
1.4	Caractérisation des frayères des principales espèces de poissons de Cornwall à Montmagny.....	26
1.5	Étagement de la végétation littorale aquatique dans le tronçon fluvial.....	28
2.1	Modèle « Pression-État-Réponse » appliqué à l'enjeu des niveaux d'eau du Saint-Laurent.....	42
2.2	Localisation des stations limnimétriques sélectionnées.....	45
2.3	Niveaux d'eau moyens annuels à la station de Coteau-Landing entre 1919 et 1995.....	46
2.4	Niveaux d'eau moyens annuels à la station de Pointe-Claire entre 1915 et 1995.....	47
2.5	Niveaux d'eau moyens annuels à la station du Port de Montréal, jetée n° 1, entre 1913 et 1995.....	48
2.6	Niveaux d'eau moyens annuels à la station de Sorel entre 1912 et 1995.....	49
2.7	Niveaux d'eau moyens annuels à la station de Neuville entre 1914 et 1995.....	50
2.8	Niveaux d'eau moyens annuels à la station de Pointe-au-Père entre 1919 et 1983.....	51
2.9A	Cycle annuel des niveaux d'eau dans le tronçon et l'estuaire fluvial entre 1968 et 1995.....	53
2.9B	Cycle annuel des niveaux d'eau dans l'estuaire maritime et le golfe.....	54
2.10	Zones d'inondation des municipalités riveraines du Saint-Laurent cartographiées en vertu de la Convention Canada-Québec.....	60
2.11	État des rives de Dundee à l'île d'Orléans en 1994.....	75
2.12	Précipitations intégrées (Grands Lacs) et niveau d'eau à Sorel entre 1929 et 1986.....	82
2.13	Le Saint-Laurent : la régularisation des eaux de la région de Montréal.....	90
2.14	Comparaison entre les débits observés et reconstitués et les niveaux observés et reconstitués au lac Saint-François entre 1919 et 1995.....	93
2.15	Comparaison entre le débit naturel et le débit régularisé (simulé selon le Plan 1958-D) à la sortie du lac Ontario.....	94
2.16A	Comparaison du cycle annuel des niveaux d'eau à la station de Coteau-Landing entre les périodes 1919-1946 et 1968-1995.....	102

2.16B	Comparaison du cycle annuel des niveaux d'eau à la station de Pointe-Claire entre les périodes 1919-1946 et 1968-1995	103
2.16C	Comparaison du cycle annuel des niveaux d'eau à la station du Port de Montréal entre les périodes 1919-1946 et 1968-1995.....	104
2.16D	Comparaison du cycle annuel des niveaux d'eau à la station de Sorel entre les périodes 1919-1946 et 1968-1995.....	105
2.17A	Principales caractéristiques du réseau hydrographique du Saint-Laurent et usages influencés par les fluctuations des niveaux d'eau	134
2.17B	Problématiques liées au cycle annuel des niveaux d'eau.....	135

Liste des tableaux

1.1	Principales caractéristiques physiques du Saint-Laurent	4
1.2	Débits moyens annuels des principaux affluents influençant le Saint-Laurent	9
1.3	Bassin Grands Lacs–Saint-Laurent : un bref aperçu climatique.....	11
1.4	Description des stations du réseau RPENE du Saint-Laurent.....	15
1.5	Période de récurrence de 20 et 100 ans des niveaux d'eau et débits dans la région de Montréal.....	18
1.6	Caractéristiques physiques de la voie navigable du Saint-Laurent (excluant le Saguenay)	20
1.7	Superficie de milieux humides mesurée entre 1989 et 1994.....	30
1.8	Critères de régularisation du lac Ontario (Plan 1958-D).....	34
1.9	Variation de la température moyenne et des précipitations saisonnières à partir des divers scénarios de changement climatique établis à partir de l'hypothèse d'un doublement de CO ₂	37
2.1	Sommaire des fluctuations des niveaux d'eau du Saint-Laurent.....	56
2.2	Effets des hautes et basses eaux extrêmes ou prolongées sur les usages du Saint-Laurent et les composantes du milieu	77
2.3	Historique des ouvrages hydrauliques du tronçon fluvial au cours du 20 ^e siècle	91
2.4	Statistiques des niveaux d'eau pour les périodes 1919-1946 et 1968-1995.....	100
2.5	Facteurs explicatifs des fluctuations des niveaux d'eau	106
2.6	Sommaire des facteurs influençant les niveaux d'eau du Saint-Laurent	107
2.7	Sommaire des principales réponses concernant les niveaux d'eau du Saint-Laurent.....	120
2.8	Sommaire des changements climatiques globaux et le Saint-Laurent	131
2.9	Description et influence des facteurs naturels et anthropiques sur les niveaux d'eau du Saint-Laurent.....	136
2.10A	Résumé des problématiques liées aux fluctuations des niveaux d'eau du Saint-Laurent.....	138
2.10B	Résumé des problématiques reliées aux fluctuations des niveaux d'eau du Saint-Laurent dans le contexte des changements climatiques.....	140
2.11	Évaluation semi-objective des pertes et des gains environnementaux en fonction des niveaux d'eau	142
3.1	Conclusions et pistes d'action relatives aux principaux champs d'intervention	150

Introduction

L'eau constitue l'élément fondamental des écosystèmes aquatiques et un milieu de vie pour un grand nombre d'organismes, en même temps qu'elle fournit un support à plusieurs activités humaines, comme la navigation. Elle représente aussi une ressource exploitable, notamment pour la production d'énergie hydroélectrique.

Plusieurs études se sont récemment intéressées à la **qualité** de l'eau du Saint-Laurent, mais l'aspect **quantité** a été moins traité, du moins dans la perspective du développement durable. Les fluctuations de la quantité d'eau constituent pourtant un enjeu important qui mérite une attention particulière. En effet, le maintien de certaines composantes du Saint-Laurent, ainsi que le développement de plusieurs activités humaines, reposent sur des conditions particulières de niveau d'eau et peuvent être compromis en l'absence de ces conditions.

Les incidences des variations des niveaux d'eau peuvent être locales, régionales ou globales et toucher différentes composantes du milieu ainsi que plusieurs secteurs d'activités. Ces fluctuations peuvent affecter la sécurité des propriétés riveraines, l'efficacité du transport maritime, la production d'énergie hydroélectrique, l'approvisionnement en eau, l'utilisation faunique du milieu, l'intégrité des milieux humides, la baignade et d'autres activités récréatives.

Étant donné l'importance des impacts liés aux fluctuations des niveaux d'eau, la régularisation des débits du Saint-Laurent et de certains affluents pourrait constituer, en principe, un outil efficace pour la gestion de l'eau. En effet, la régularisation des niveaux d'eau réduit habituellement les fluctuations saisonnières et interannuelles des cours d'eau, ce qui permet de minimiser les impacts des inondations printanières. De plus, la régularisation atténue les conséquences néfastes des bas niveaux d'eau, surtout dans la partie ouest du tronçon fluvial. Un niveau d'eau contrôlé, donc plus stable, représente un avantage pour la navigation et la production d'énergie hydroélectrique mais peut s'avérer néfaste pour les milieux humides et la faune qu'ils supportent, lesquels sont adaptés et(ou) dépendent des fluctuations saisonnières des niveaux d'eau. La gestion des niveaux d'eau est donc susceptible d'entraîner des conflits d'usage et des effets à la fois négatifs et positifs sur le milieu naturel.

Historiquement, les niveaux d'eau ont été gérés principalement en fonction de facteurs socio-économiques, de façon à optimiser la production d'énergie hydroélectrique et la navigation commerciale et pour minimiser les risques d'inondation. Cependant, la société actuelle exige maintenant la considération de paramètres à caractère récréatif (navigation de plaisance, baignade, etc.) et environnementaux (protection des habitats, accès aux frayères, etc.). Il en résulte des revendications souvent opposées de la part des différents intervenants,

ce qui complique l'élaboration ou le raffinement des critères servant à contrôler le débit relâché par les ouvrages de régularisation.

La modification des niveaux d'eau du Saint-Laurent, qu'elle soit causée par des facteurs naturels ou anthropiques, s'avère donc un enjeu central autour duquel gravitent plusieurs problématiques. Des pertes ou des gains environnementaux et socio-économiques significatifs lui sont potentiellement associés. De plus, il est probable que cette problématique prenne de l'ampleur au cours des prochaines décennies, compte tenu des changements climatiques déjà amorcés et de la menace de dérivations d'eau à partir des Grands Lacs, ce qui pourrait engendrer des modifications significatives des débits et des niveaux d'eau du Saint-Laurent.

Les principaux objectifs de ce rapport sont les suivants :

- décrire l'état des niveaux d'eau et leurs fluctuations temporelles dans les différents secteurs du Saint-Laurent;
- évaluer les effets des fluctuations des niveaux d'eau sur les usages et les composantes du milieu naturel;
- identifier les facteurs naturels et les pressions anthropiques influençant les niveaux d'eau et préciser leur importance relative dans les différents secteurs du Saint-Laurent;
- décrire les réponses prises à l'égard des niveaux d'eau et évaluer leurs impacts;
- mettre en perspective l'effet des changements climatiques globaux sur les usages et les composantes du milieu naturel, en regard des fluctuations des niveaux d'eau du Saint-Laurent;
- dégager des pistes d'action en vue d'assurer le maintien des usages et des composantes du Saint-Laurent dans une perspective de développement durable.

Ce rapport présente l'état des connaissances sur les fluctuations des niveaux d'eau du Saint-Laurent et leurs effets, et cherche aussi à identifier les lacunes d'information, en fonction des objectifs poursuivis. Il ne constitue pas une revue de littérature exhaustive. Il présente cependant les informations requises pour cerner les problématiques associées à cet enjeu. Le fait que le rapport cherche à préciser les lacunes d'information et l'incertitude dans la compréhension des problématiques s'avère tout aussi important que la description de celles-ci, puisque l'identification des lacunes dans les connaissances peut aussi contribuer à orienter la prise de décision.

Le chapitre 1 présente des informations de base qui s'avèrent nécessaires à la compréhension de la problématique. Le chapitre 2 dresse un portrait de l'état de la situation en regard des connaissances actuelles. Ce chapitre débute avec la description de certaines caractéristiques propres à l'enjeu et celle du cadre d'analyse *Pression-État-Réponse* utilisé pour présenter les informations. Enfin, le chapitre 3 présente les conclusions et identifie des pistes

d'action visant à éclairer la prise de décision. La notion d'incertitude et les lacunes d'information y sont aussi abordées.

1 Informations de base

Ce chapitre vise à identifier et décrire certains éléments d'information utiles à la compréhension des fluctuations des niveaux d'eau du Saint-Laurent et de leurs effets. Ces informations complémentaires s'adressent aux lecteurs qui ne sont pas familiers avec le sujet, afin qu'ils puissent mieux saisir les éléments de la problématique exposés dans les autres chapitres du document.

1.1 Caractéristiques physiques du Saint-Laurent

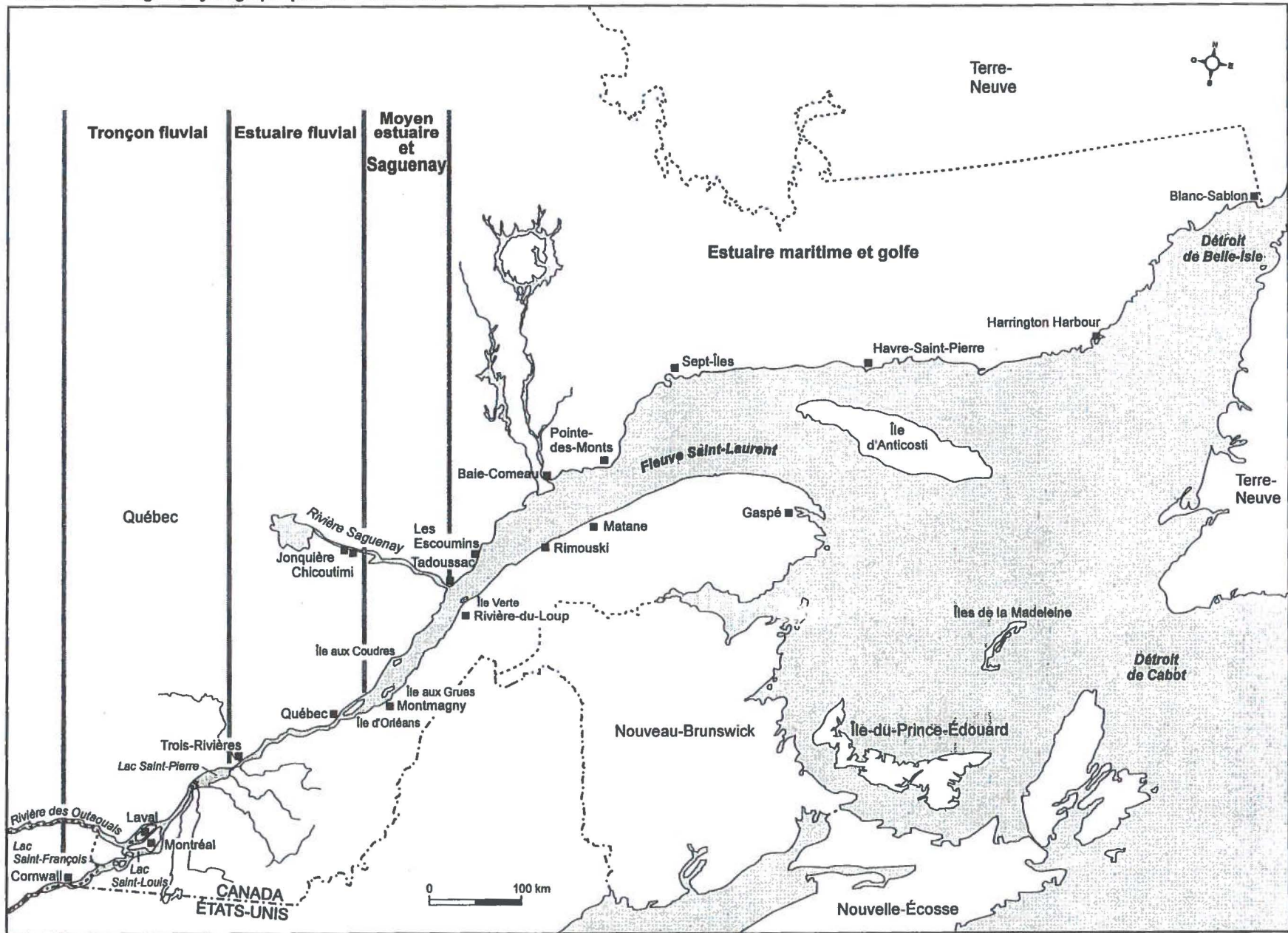
Un survol des caractéristiques physiques du Saint-Laurent est nécessaire à la compréhension du régime hydrologique du fleuve et de ses affluents. Cette section présente donc les principaux attributs physiographiques, hydrologiques et climatiques du Saint-Laurent et de son bassin versant.

1.1.1 Physiographie du bassin du Saint-Laurent

Le bassin versant du Saint-Laurent, incluant le sous-bassin des Grands Lacs, le sous-bassin du fleuve et les sous-bassins littoraux du golfe, totalise 1 609 854 km² (CSL et Université Laval, 1991). Le sous-bassin du fleuve Saint-Laurent chevauche le Québec, l'Ontario et les États-Unis et couvre à lui seul 574 000 km² (CSL et Université Laval, 1991). Le Saint-Laurent proprement dit peut être divisé en quatre grandes régions hydrographiques (figure 1.1) : le tronçon fluvial, l'estuaire fluvial, le moyen estuaire et le Saguenay², ainsi que l'estuaire maritime et le golfe (CSL, 1996b). Le tableau 1.1 montre les principales caractéristiques physiques des différents secteurs du Saint-Laurent.

² Les fluctuations des niveaux d'eau du Saguenay et leurs effets sur les usages et les composantes naturelles ne sont pas traités dans le présent document. Pour obtenir de l'information sur les différents aspects du Saguenay, le lecteur est invité à consulter Fortin et Pelletier (1995), Mousseau et Armellin (1995), Jourdain *et al.* (1995), ainsi que Walsh et Bourgeois (1996).

FIGURE 1.1 Les régions hydrographiques du Saint-Laurent



Source : À partir des données de CSL, 1996b.

1.1.1.1 Tronçon fluvial

Cette partie du fleuve, située dans une région fortement industrialisée, s'étend sur 240 km entre Cornwall (Ontario) et l'exutoire du lac Saint-Pierre et est caractérisée par la présence de rapides, de lacs, de nombreuses îles, îlots et de plusieurs aménagements hydrauliques. Le tronçon fluvial se distingue par la présence d'eau douce et une faible influence des marées. La physiographie naturelle du fleuve a été grandement altérée depuis le début du 20^e siècle par plusieurs interventions humaines, dont l'édification d'ouvrages hydroélectriques, la création de la Voie maritime du Saint-Laurent, le dragage du chenal de navigation, la modification des rives, la création des îles d'Expo 67 et le remblayage.

Le régime hydraulique de la région de Montréal est marqué par la confluence de la rivière des Outaouais et du Saint-Laurent donnant naissance à différents cours d'eau ou élargissements : le lac des Deux Montagnes, le lac Saint-Louis, la rivière des Mille Îles et la rivière des Prairies. La profondeur et les niveaux d'eau des lacs du tronçon fluvial peuvent limiter certaines activités humaines. Sur environ 80 p. 100 de leur superficie, les lacs fluviaux du Saint-Laurent ont une profondeur inférieure à 6 m (CSL et Université Laval, 1991). Dans le chenal de navigation cependant, la hauteur d'eau garantie est de 11 m.

Le régime hydrodynamique du tronçon fluvial se caractérise par un écoulement unidirectionnel et une influence des marées variant de nulle à faible. Les rivières alimentant le Saint-Laurent ont des caractéristiques physico-chimiques fort différentes (conductivité, dureté et fluorescence naturelle). En conséquence, les eaux provenant de ces différents affluents s'écoulent vers l'aval en conservant leurs propres caractéristiques, du moins partiellement, jusque dans l'estuaire fluvial où le mélange dû au renversement de courant associé aux marées devient significatif (figure 1.2).

Lorsque les navires se déplacent du lac Ontario vers Montréal, ils utilisent d'abord la Voie maritime du Saint-Laurent. La moitié du trajet dans la voie maritime se fait dans un canal entièrement bordé de remblais sur lesquels prennent place sept écluses permettant aux bateaux de franchir les quelque 70 m de dénivelé entre le lac Ontario et Montréal. Le niveau de l'eau dans les écluses y est entièrement régularisé. La Voie maritime du Saint-Laurent se termine à Saint-Lambert, où elle cède sa place au chenal de navigation maritime.

TABLEAU 1.1
Principales caractéristiques physiques du Saint-Laurent

CARACTÉRISTIQUES	TRONÇON FLUVIAL	ESTUAIRE FLUVIAL	MOYEN ESTUAIRE	ESTUAIRE MARITIME ET GOLFE
Étendue	Cornwall–Pointe-du-Lac	Pointe-du-Lac–Île d'Orléans (pointe est)	Île d'Orléans (pointe est) – Tadoussac	Tadoussac–Déroit de Cabot Tadoussac–Déroit de Belle-Isle
Longueur (km)	240	160	150	230 (pour l'estuaire maritime : Tadoussac à Pointe-des-Monts)**
Largeur (km)	1-10	1-15	15-30	30 et plus
Écoulement	Unidirectionnel	Unidirectionnel et renversement du courant	Forts mouvements verticaux et renversements du courant	Complexe et influencé par de nombreux facteurs océaniques et météorologiques
Marée	Nulle-faible (0-0,3 m)	Moyenne-forte (2-6 m)	Moyenne-forte (4-6 m)	Faible-forte (1-5 m)
Profondeur maximale (m)	10 à 12	40 à 60	100 à 300	400 et plus
Salinité	Eau douce	Eau douce	Eau saumâtre	Eau salée
Débit moyen net annuel (m ³ /s)	7800 (Cornwall)	11 500* (Trois-Rivières)	14 100* (La Malbaie)	16 800* (Baie-Comeau)

* Valeur estimée.

** À partir de Pointe-des-Monts, le golfe du Saint-Laurent s'étend sur plusieurs centaines de kilomètres.

Source : Adapté de CSL, 1996a, 1996b; Gouvernement du Canada, 1991.

1.1.1.2 *Estuaire fluvial*

L'estuaire fluvial du Saint-Laurent couvre une distance de 160 km et s'étend de l'extrémité est du lac Saint-Pierre (Pointe-du-Lac) jusqu'à la pointe est de l'île d'Orléans. Cette section est caractérisée par la présence d'eau douce ou légèrement saumâtre, de marées parfois fortes et par un corridor fluvial peu sinueux d'une largeur variant de 870 m, aux ponts de Québec, à 15 km à l'extrémité est de l'île d'Orléans. La profondeur du chenal principal varie généralement de 13 à 40 m dans ce secteur, et l'on retrouve des fosses de 21 m à Trois-Rivières-Ouest et de 60 m à Québec (CSL et Université Laval, 1991). Aux endroits où la profondeur naturelle du chenal est inférieure à 11 m, cette cote est maintenue par dragage sur une largeur de 240 m afin de permettre aux navires océaniques d'atteindre le port de Montréal (CSL, 1996a).

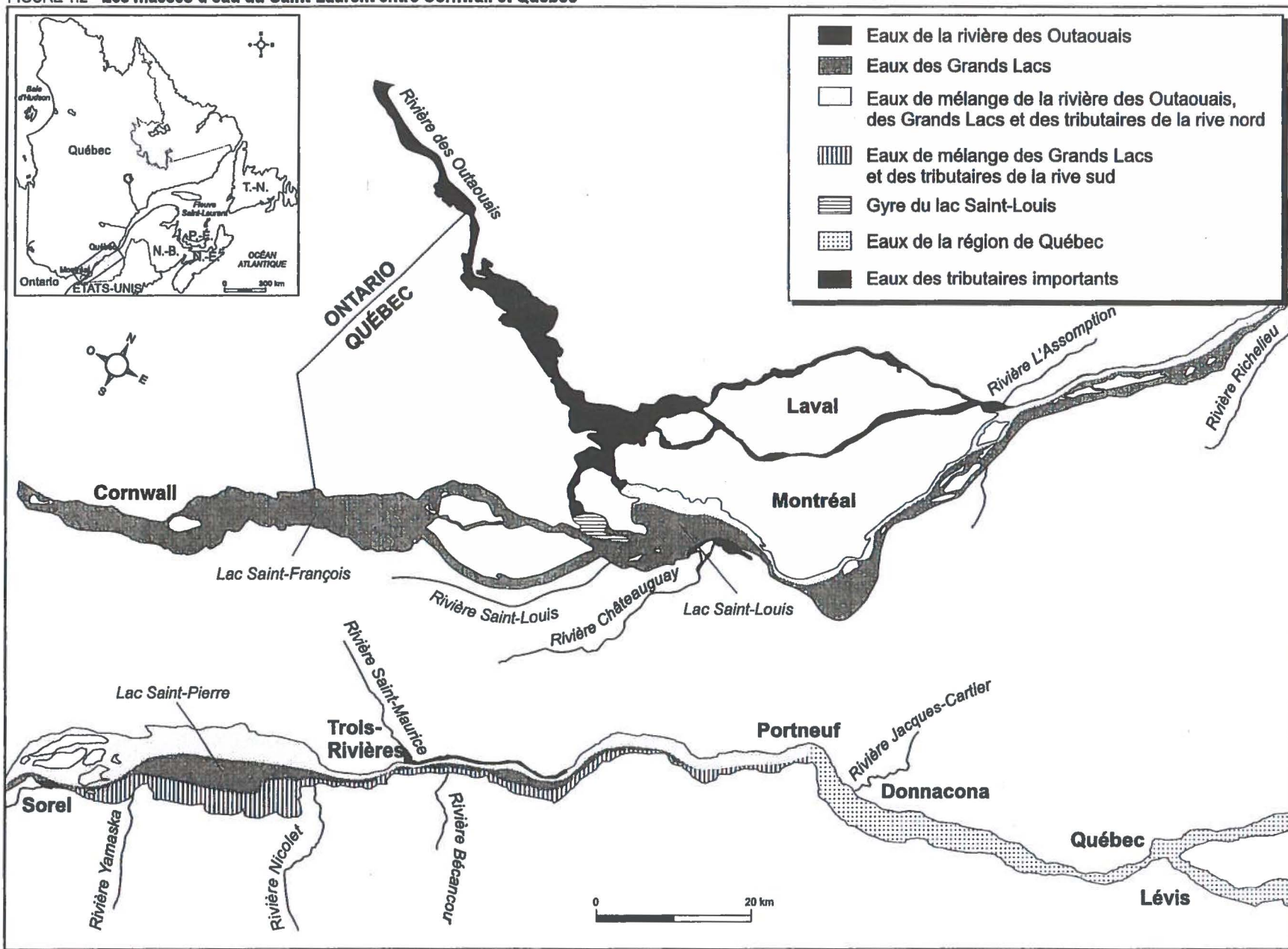
Entre Pointe-du-Lac et Batiscan, l'estuaire fluvial est caractérisé par un écoulement des eaux douces sans renversement de courant, ce qui permet aux masses d'eau des affluents de s'écouler sans mélange appréciable tout au long de ce secteur (figure 1.2). En aval de Batiscan, la marée exerce une influence de plus en plus marquée, ce qui produit un renversement du courant à la marée montante et un mélange accru des différentes masses d'eau provenant des rivières tributaires (CSL, 1996a).

On ne retrouve pas d'ouvrages hydrauliques importants dans ce secteur. Les principales modifications anthropiques le long de l'estuaire fluvial sont le quai de Portneuf, qui s'avance sur près d'un kilomètre dans le fleuve, ainsi que les ports de Bécancour, Trois-Rivières et Québec. Par ailleurs, les rives ont été presque entièrement artificialisées dans la région de Québec lors de la construction du boulevard Champlain et de l'autoroute Dufferin-Montmorency au début des années 1970.

1.1.1.3 *Moyen estuaire et Saguenay*

Le moyen estuaire débute à l'extrémité est de l'île d'Orléans et s'étend sur une distance de 150 km jusqu'à l'embouchure du Saguenay (CSL, 1996a). La largeur moyenne de cette section est de 17 km et sa profondeur maximale varie de 100 m à 300 m. Une cinquantaine d'îles et d'îlots la parsèment, dont l'île aux Grues, l'île aux Coudres et l'île Verte. Cette section du Saint-Laurent est caractérisée par la présence d'eau saumâtre, un mélange d'eau douce et d'eau salée. Ce mélange, forcé par des courants de forte intensité auxquels se superpose la marée, s'accompagne de la remise en suspension des sédiments, ce qui engendre une forte turbidité des eaux entre l'île d'Orléans et l'île aux Coudres, d'où le nom de la zone de turbidité maximale attribué à ce secteur. La position de cette zone de mélange n'est pas statique. Elle varie selon l'état de la marée et le débit d'eau douce.

FIGURE 1.2 Les masses d'eau du Saint-Laurent entre Cornwall et Québec



Source : À partir des données de Lamarche, 1992.

1.1.1.4 *Estuaire maritime et golfe*³

Ces secteurs constituent la partie marine du Saint-Laurent. La limite amont de l'estuaire maritime correspond à la zone de remontée d'eau profonde (upwelling) située à l'embouchure du Saguenay, et à la tête du chenal Laurentien, une vallée sous-marine de plus de 350 m de profondeur. L'estuaire maritime, qui s'étire sur une distance de 230 km et d'une largeur moyenne de 42 km, débouche sur le golfe du Saint-Laurent qui constitue en quelque sorte une mer semi-fermée parsemée d'importantes îles (île d'Anticosti, îles de la Madeleine, île Bonaventure, archipels de Mingan et de Sept-Îles). En aval du Saguenay, la profondeur du chenal Laurentien atteint rapidement 350 m. Elle varie entre 100 m et 400 m dans le golfe, à l'exception du plateau madelinien où la profondeur dépasse rarement 70 m et à proximité du détroit de Cabot où elle excède les 500 m (CSL, 1996a).

La circulation et le mélange des masses d'eau dans l'estuaire maritime et le golfe sont complexes et influencés par de nombreux facteurs dont la marée, la pression barométrique, la température de l'air, le vent, les apports locaux d'eau douce, le relief côtier et la rotation de la terre. L'été, trois couches d'eau de température et de salinité différentes se superposent, alors que deux couches d'eau sont présentes en hiver (CSL, 1996a). L'une des principales caractéristiques majeures du schéma de circulation des eaux du golfe du Saint-Laurent est le courant de Gaspé, qui prend naissance à la tête de l'estuaire maritime et qui longe la péninsule gaspésienne jusqu'au cap Gaspé avant d'aller s'affaiblir sur le plateau madelinien. Ce courant côtier est formé par l'écoulement des eaux de l'estuaire vers le golfe. Il est perceptible sur une largeur de 15 à 20 km et une profondeur de 40 à 50 m (Tang et Bennet, 1981).

1.1.2 **Débit du fleuve et des tributaires**

Le Saint-Laurent s'étend sur plus de 1500 km et il est bordé par 4200 km de rives, en incluant les rives insulaires (LAPEL, 1989). Il représente le premier cours d'eau au Canada et le quinzième au monde pour son débit moyen annuel (12 600 m³/s)⁴. Celui-ci passe de 7800 m³/s à 16 800 m³/s entre Cornwall et Baie-Comeau. Le Saint-Laurent est l'exutoire des Grands Lacs qui l'alimentent en grande partie. À Montréal, environ 80 p. 100 des apports en eau proviennent des Grands Lacs et 16 p. 100 de la rivière des Outaouais. Par ailleurs, on

³ Les secteurs de l'estuaire maritime et du golfe sont combinés car la problématique est similaire dans ces deux secteurs en ce qui concerne les fluctuations des niveaux d'eau et leurs effets.

⁴ Il s'agit du débit estimé à l'extrémité est de l'île d'Orléans (partie aval de l'estuaire fluvial).

estime que l'apport des Grands Lacs représente encore 54 p. 100 du débit du Saint-Laurent à la hauteur de Tadoussac, qui se trouve à environ 550 km en aval de Cornwall (CSL, 1996a).

De tous les affluents, c'est la rivière des Outaouais qui vient au premier rang, avec un débit de sortie annuel moyen d'environ 1900 m³/s. Son débit d'étiage (basses eaux) est de 800 m³/s alors que son débit de crue est d'environ 6500 m³/s; le débit journalier de la rivière des Outaouais a atteint la valeur record de 9230 m³/s en avril 1951 (Frenette *et al.*, 1989), soit une valeur équivalente au débit annuel moyen du Saint-Laurent à LaSalle (9182 m³/s). La contribution de la rivière des Outaouais est importante non seulement par son débit mais aussi par la composition chimique de ses eaux brunes, moins minéralisées, moins conductives et plus turbides que les eaux vertes, dures⁵ et alcalines des Grands Lacs. La plus grande partie de cette rivière coule sur le bouclier canadien, ce qui contribue à donner à ses eaux les caractéristiques qui la distinguent nettement des eaux des Grands Lacs (CSL, 1996a).

Les eaux de la rivière des Outaouais aboutissent dans le lac des Deux Montagnes et vont soit contourner l'île Dowker par la rive nord (via le chenal de Sainte-Anne-de-Bellevue), soit emprunter le chenal de Vaudreuil. Dans le premier cas, les eaux vont longer la rive sud de l'île de Montréal en se mélangeant avec les eaux des Grands Lacs et d'autres affluents de la rive nord et former une masse d'eau de mélange qui conserve ses caractéristiques sur de grandes distances en aval (figure 1.2). Localement, l'intensité du mélange dépend des débits en jeu, ainsi que de la vitesse et la direction des vents (Robitaille, 1988). Dans le second cas, les eaux vont se déverser directement dans le lac Saint-Louis. La zone de mélange de ces eaux avec celles des Grands Lacs forme un secteur appelé le gyre du lac Saint-Louis. Environ 45 p. 100 du débit de la rivière des Outaouais, soit près de 900 m³/s, s'écoule dans le lac Saint-Louis par ces deux chenaux. Le reste (55 p. 100) emprunte les rivières des Mille Îles ou des Prairies. Quant au débit de la rivière Châteauguay, il est d'environ 35 m³/s, ce qui est négligeable par rapport aux contributions de la rivière des Outaouais ou des Grands Lacs. En ce qui concerne le lac Saint-François, qui représente la partie la plus à l'ouest du tronçon fluvial, les apports des rivières tributaires sont très faibles et représentent 144 m³/s en moyenne pour les années 1986-1990 (Fortin *et al.*, 1994).

Les autres affluents majeurs qui peuvent influencer les caractéristiques physico-chimiques des eaux du Saint-Laurent sont, par ordre décroissant de débit moyen annuel, les rivières Saguenay, Saint-Maurice, Richelieu, Saint-François, Chaudière et Batiscan. Les débits moyens annuels de chacun de ces affluents sont présentés au tableau 1.2.

⁵ Des eaux dures sont des eaux contenant beaucoup de sels minéraux, comme le calcium ou le magnésium, susceptibles de former des dépôts calcaires.

TABLEAU 1.2
Débits moyens annuels des principaux affluents influençant le Saint-Laurent

RIVIÈRE	DÉBIT MOYEN ANNUEL (1981-1991) (m ³ /s)
Des Outaouais	1937
Saguenay	1760
Saint-Maurice	700
Richelieu	374
Saint-François	219
Chaudière	137
Batiscan	105

Source : CSL, 1996a.

Le comportement hydrologique des affluents est une conséquence directe des processus climatologiques combinés avec les effets locaux des caractéristiques physiographiques des bassins composants. L'écoulement annuel à l'embouchure des affluents est donc déterminé par les conditions climatiques de la région et par l'utilisation du territoire. La grande fluctuation des débits des affluents constitue l'élément hydrologique dominant à leur embouchure, surtout près des rives (Frenette *et al.*, 1989; Llamas et Triboulet, 1977). Précisons que beaucoup d'affluents sont régularisés, ce qui influence également le cycle saisonnier.

L'étendue, la forme et la topographie des différents sous-bassins, de même que les conditions météorologiques très variées sur l'ensemble du bassin du Saint-Laurent, entraînent des effets différents sur les rivières tributaires. Les temps de réponse variables de ces affluents produisent des pointes de crue et d'étiage distinctes. Le décalage moyen entre la crue des affluents de la rive nord et ceux de la rive sud du Saint-Laurent est d'environ 13 jours (CENTREAU, 1974). Il est aussi intéressant de constater la forte contribution des rivières tributaires entre Varennes et Montmagny au débit du Saint-Laurent en période de crue. En effet, le ruissellement mensuel de ces affluents contribue à 13 p. 100 du débit du Saint-Laurent évalué à Montmagny durant l'étiage de février et atteint environ 30 p. 100 en période de crue printanière (Llamas et Triboulet, 1977). Ces résultats mettent en relief la difficulté de contrôler le débit du Saint-Laurent entre Montréal et Québec durant la crue printanière afin de limiter les inondations.

Les rivières tributaires de la rive nord, et en particulier celles du massif des Laurentides, ont des étiages moins prononcés et un régime hydrologique plus modulé que les rivières de la rive sud, où les étiages accusent des valeurs nettement plus faibles (CENTREAU, 1974). L'étiage survient entre le 1^{er} juin et le 30 septembre pour le versant sud et du 1^{er} juillet au 30 septembre pour le versant nord (CENTREAU, 1974; Llamas et Triboulet, 1977). Les périodes d'étiage du Saint-Laurent dépendent surtout des étiages des affluents du lac Ontario.

D'un point de vue hydrodynamique, le tronçon fluvial n'est pratiquement pas influencé par les événements météorologiques locaux (CSL, 1996a). Toutefois, les apports en eau sont fortement dépendants du régime hydro-météorologique des bassins versants, surtout en ce qui concerne les affluents (CENTREAU, 1974; Llamas et Triboulet, 1977).

Avant de poursuivre la discussion sur le débit du Saint-Laurent et de ses affluents, il convient d'expliquer la relation entre le débit et le niveau d'eau. À la décharge d'un bassin naturel, le débit augmente ou décroît en relation avec le niveau d'eau du bassin. Ce principe est à la base des relations niveau-débit qui permettent d'évaluer l'écoulement à partir du niveau de l'eau. De façon globale, de faibles niveaux d'eau correspondent à de faibles débits et vice-versa. Toutefois, cette relation est valable uniquement aux endroits en aval desquels il n'y a pas de barrières ou d'ouvrages modifiant le taux de décharge, et en l'absence de l'effet des marées. Par exemple, au lac Saint-François, un bassin régularisé, la relation niveau-débit perd toute sa signification puisqu'elle est modifiée par l'action humaine. Par ailleurs, même en l'absence de structures ou d'ouvrages hydrauliques, la relation niveau-débit peut ne pas être univoque⁶ selon le type d'écoulement. De plus, les niveaux peuvent présenter des différences saisonnières dans les lacs fluviaux à cause de la présence de la glace en hiver ou de macrophytes en été (Morin *et al.*, 1994), ce qui altère significativement la relation niveau-débit d'une saison à l'autre et d'un endroit à l'autre sur les lacs. Dans le Saint-Laurent, la relation entre débit et niveau d'eau est directe uniquement en certains endroits, comme aux rapides de Lachine.

1.1.3 Le climat du bassin Grands Lacs–Saint-Laurent

Étant donné son étendue, le bassin Grands Lacs–Saint-Laurent couvre un grand nombre de zones climatiques comportant chacune plusieurs sous-climats. Le climat du bassin Grands Lacs–Saint-Laurent est donc extrêmement variable, surtout dans les basses-terres des Grands Lacs et du Saint-Laurent, situées sur l'une des grandes trajectoires de perturbations en Amérique du Nord. On peut regrouper les différents types de climats du bassin selon quatre zones principales (figure 1.3) :

- a) nord des Grands Lacs et du Saint-Laurent;
- b) basses-terres des Grands Lacs et du Saint-Laurent;
- c) nord de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent;
- d) sud de l'estuaire maritime et du golfe du Saint-Laurent.

* Relation mathématique ayant une solution unique.

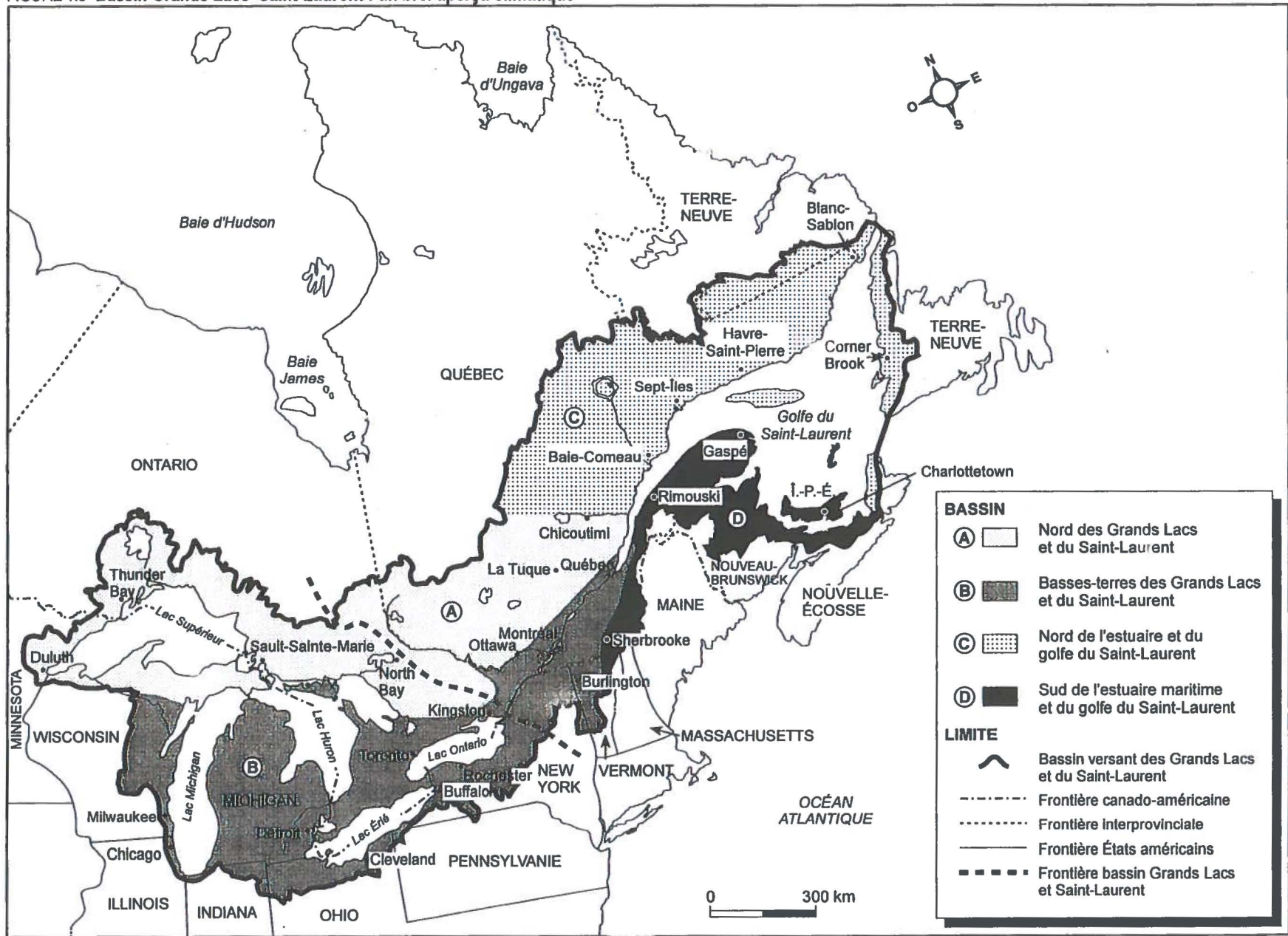
Le tableau 1.3 présente les caractéristiques climatiques principales de quelques villes situées dans chacune de ces zones. Dans la zone A, couverte de forêts de résineux et de forêts mixtes, les étés sont frais, les hivers sont longs, froids et neigeux (climat continental). La zone B est couverte de terres agricoles et urbaines et la rigueur du climat est atténuée par la présence des Grands Lacs. Le climat est plus variable, les étés sont chauds et humides (surtout à l'ouest de Montréal), les hivers neigeux et froids à l'est du lac Ontario et doux à l'ouest. Dans la zone C, le climat est de type maritime, humide avec des températures froides, ce qui signifie la présence d'étés frais et pluvieux, des hivers froids et souvent neigeux. Finalement, la zone D se caractérise par un climat maritime humide avec des températures modérées, soit des étés chauds et pluvieux, des hivers doux à froids et souvent neigeux (Environnement Canada, 1993).

TABLEAU 1.3
Bassin Grands Lacs–Saint-Laurent : un bref aperçu climatique

VILLE	PRÉCIPITATIONS ANNUELLES	TEMPÉRATURES ANNUELLES
	MOYENNES (mm) (1961-1990)	MOYENNES (°C) (1961-1990)
ZONE A – Nord des Grands Lacs et du Saint-Laurent	700 à 1200	1,0 à 4,2
Thunder Bay	703	2,4
Sault-Sainte-Marie	906	4,2
Chicoutimi	954	3,4
ZONE B – Basses-terres des Grands Lacs et du Saint-Laurent	700 à 1200	4,0 à 9,5
Chicago	805	9,4
Détroit	805	9,5
Buffalo	917	8,4
Toronto	781	7,2
Montréal	940	6,1
Québec	1208	4,0
ZONE C – Nord de l'estuaire maritime et du golfe du Saint-Laurent	600 à 1600	1,0 à 5,2
Baie-Comeau	996	1,5
Sept-Îles	1128	0,9
Havre-Saint-Pierre	1046	1,6
Blanc-Sablon	1160	0,9
ZONE D – Sud de l'estuaire maritime et du golfe du Saint-Laurent	900 à 1600	3,5 à 6,0
Rimouski	991	3,9
Gaspé	1044	3,2
Charlottetown	1201	5,2

Source : Gingras et al., 1997a.

FIGURE 1.3 Bassin Grands Lacs-Saint-Laurent : un bref aperçu climatique



Sources : À partir des données de Gingras et al., 1997a; Environnement Canada, 1993

La vallée du Saint-Laurent, située dans la partie est de la zone B, est bordée au nord-ouest par des escarpements de failles des contreforts laurentidiens et au sud-est par la chaîne des Appalaches. La majorité de la population du Québec est concentrée dans cette région. Les basses-terres du Saint-Laurent constituent donc un couloir topographique suffisamment défini pour faciliter et accélérer le passage des masses d'air selon un axe sud-ouest–nord-est (Paul, 1973). Selon la situation météorologique, le canal fluvial peut aussi jouer un rôle de retardement. C'est parfois le cas lors d'épisodes de précipitations mixtes (grésil-pluie verglaçante-pluie) où la circulation atmosphérique en altitude est du sud-ouest alors qu'elle est du nord-est au sol, causant un phénomène qui peut perdurer plusieurs jours⁷. Les vents dominants sur le fleuve Saint-Laurent pointent dans l'axe sud-ouest–nord-est entre Cornwall et Québec pour toutes les saisons sauf en été dans la région de Montréal, où les vents du sud-ouest prédominent alors que les vents du nord-est sont pratiquement absents (Vigeant, 1984; Environnement Canada, 1994a). Ceci est dû à l'effet de canalisation, cette tendance qu'ont les vents de souffler dans la direction parallèle à l'axe d'un cours d'eau. Pour la même raison, les vents soufflent également dans l'axe sud-ouest–nord-est dans le détroit de Belle-Isle. Finalement, dans le golfe du Saint-Laurent, les vents dominants proviennent du nord-ouest en hiver et du sud au cours de l'été. À mesure que l'on se déplace vers l'aval dans l'estuaire ou le golfe, les vents ont de moins en moins tendance à s'orienter selon l'axe du chenal maritime (Vigeant, 1984; Environnement Canada, 1994a).

La circulation atmosphérique moyenne en basse altitude (entre le sol et 3 km d'altitude) s'établit aussi suivant l'axe du Saint-Laurent, soit selon la direction sud-ouest–nord-est. Les masses d'air tropical maritime venant du golfe du Mexique et d'air continental arctique provenant du nord canadien s'installent respectivement en été et en hiver, et alternent durant les saisons de transition, créant ainsi une grande variabilité spatio-temporelle des conditions météorologiques dans les basses-terres du Saint-Laurent. De Cornwall aux îles de la Madeleine, le climat est très diversifié, les températures de l'air sont également très variables d'une région à l'autre et d'une saison à l'autre. En juillet, les températures moyennes de l'air varient de 12 °C, dans la partie nord du golfe du Saint-Laurent, à des températures moyennes supérieures à 20 °C, dans la région de Montréal. Pendant cette période de l'année, les températures de l'eau de surface sont d'environ 14 °C dans le golfe et atteignent environ 20 °C à la pointe est de l'île d'Orléans. Le fait marquant des températures de l'eau en juillet dans tout le Saint-Laurent est l'établissement de la zone d'eau froide à l'embouchure du Saguenay où les

⁷ L'épisode de verglas de janvier 1998 dans le sud du Québec constitue un exemple éloquent de ce genre de situation.

températures ne dépassent pas les 10 °C (Vigeant, 1984). En janvier, les températures moyennes de l'air sont de -10 °C à Montréal, de -14 °C à Sept-Îles et de -5 °C aux îles de la Madeleine. Les caractéristiques des vents et des marées sont sensiblement les mêmes qu'en juillet. Cependant, la température des eaux voisine 0 °C dans le golfe du Saint-Laurent en janvier.

Les zones climatiques régionales du Saint-Laurent sous-tendent une grande diversité sur le plan écologique puisque le climat et les zones écologiques sont généralement intimement reliés. Des changements climatiques importants pourraient entraîner des modifications de débit sur le Saint-Laurent et modifier considérablement non seulement les composantes naturelles, mais également les usages fauniques et anthropiques du fleuve (section 2.2.2).

De plus, les régimes de température très variables d'un secteur à l'autre du Saint-Laurent impliquent des conditions de glace également très variables. On doit aussi considérer l'action combinée des vents, des courants et des marées, qui façonnent le patron des zones d'amoncellement des glaces. Sur le Saint-Laurent, ces zones sont principalement situées dans la région de Montréal, au lac Saint-Pierre, près du port de Québec et dans le chenal de l'île d'Orléans (Gouvernement du Québec, 1989).

1.2 Mesures des niveaux d'eau

Cette section présente les différents systèmes de référence utilisés pour mesurer les niveaux d'eau dans le Saint-Laurent.

1.2.1 Réseaux de mesures

Le réseau permanent d'enregistreurs de niveaux d'eau (RPENE) du Service hydrographique de Pêches et Océans Canada (région Laurentienne) compte près de 48 stations le long du Saint-Laurent. Le tableau 1.4 établit, pour chaque secteur du Saint-Laurent, la liste de ces stations marégraphiques et limnigraphiques, ainsi que la période d'opération correspondant à chacune des stations.

1.2.2 Systèmes et niveaux de référence

Le zéro choisi pour la mesure du niveau d'eau par rapport auquel les autres altitudes sont définies s'appelle le « niveau de référence ». Par exemple, le zéro des cartes est le niveau de référence établi et utilisé par le Service hydrographique du Canada pour rapporter les profondeurs inscrites sur les cartes marines, produire les *Tables des marées et courants du Canada*, enregistrer les niveaux d'eau observés et émettre des prévisions.

TABLEAU 1.4
Description des stations du réseau RPENE du Saint-Laurent

SECTEUR ET STATION	PÉRIODE D'EXPLOITATION	SECTEUR ET STATION	PÉRIODE D'EXPLOITATION
Tronçon fluvial		Estuaire fluvial	
Coteau-Landing	1919 -	Trois-Rivières	1900 -
Coteau-du-Lac	1920 -	Bécancour	1993 -
Pointe-des-Cascades	1919 -	Champlain	1962 - 1996
Beauharnois amont	1960 -	Batiscan	1913 -
Beauharnois aval	1960 -	Cap-à-la-Roche (Deschailions)	1915 -
Sainte-Anne-de-Bellevue	1920 -	Gronlines	1935 - 1994
Pointe-Claire	1915 -	Portneuf	1961 -
Lachine	1919 -	Neuville	1914 -
Côte-Sainte-Catherine	1960 -	Québec (Lauzon)	1940 -
La Prairie	1968 -	Port de Québec	1994 -
Saint-Lambert amont	1960 -	Saint-François, Î.O.	1962 -
Saint-Lambert aval	1960 -		
Port de Montréal (Jetée n° 1)	1913 -	Moyen estuaire et Saguenay	
Montréal, rue Frontenac	1935 -	Saint-Jean-Port-Joli	1967 - 1979
Pointe-aux-Trembles	1934 -	Saint-Joseph-de-la-Rive	1969 -
Varenes	1897 -	Rivière-du-Loup	1967 - 1980
Verchères	1897 -	Gros-Cacouna	1983 - 1996
Contrecoeur, IOC	1993 -	Tadoussac	1969 - 1990
Contrecoeur	1934 - 1993	Port-Alfred (Ville de la Baie)	1975 -
Lavaltrie	1961 -		
Sorel	1912 -	Estuaire maritime et golfe	
Louiseville	1961 - 1975	Rimouski-Est	1984 -
Lac Saint-Pierre	1979 -	Pointe-au-Père	1901 - 1983
Port Saint-François	1961 - 1994	Baie-Comeau	1968 - 1991
		Sainte-Anne-des-Monts	1968 -
		Sept-Îles	1972 -
		Rivière-au-Renard	1968 -
		Harrington Harbour	1940 - 1989

Source : MPO, 1997.

Selon la région considérée, ce niveau représente approximativement le niveau normal des basses eaux lors de l'étiage (tronçon fluvial), d'épisodes de grande marée (moyen estuaire, estuaire maritime et golfe) ou d'un mélange des deux critères (estuaire fluvial). Le système de référence basé sur le zéro des cartes est largement répandu et sert aussi de niveau critique dans la conception des installations maritimes ainsi que pour assurer la sécurité du transport maritime.

Le Service hydrographique du Canada et le Service des données sur le milieu marin de Pêches et Océans Canada (MPO) utilisent aussi le système de référence international des Grands Lacs (SRIGL). Ce système constitue un niveau de référence établi par le Canada et les États-Unis dans le but de constituer un élément de comparaison unique pour les études hydrauliques et hydrologiques conduites des deux côtés de la frontière le long des Grands Lacs et du Saint-Laurent. La référence absolue du SRIGL 1985 est le niveau moyen de l'eau de la

station marégraphique de Rimouski-Est. Le SRIGL est un système de référence dynamique, c'est-à-dire que les repères de nivellement ayant la même altitude sont sur une même surface équi-géopotentielle⁸ dont l'écartement est variable selon la latitude où l'on se trouve (Forrester, 1983). Il ne faut donc pas confondre le Système de référence international des Grands Lacs (SRIGL) avec le zéro des cartes⁹.

Les niveaux d'eau des stations limnimétriques et marégraphiques sont exprimés en mètres dans le système SRIGL 1985. Par exemple, dans ce système, le niveau de l'eau peut être à une altitude de 46 m à la station Coteau-Landing et à -2 m à celle de Pointe-au-Père. Cette valeur négative correspond à la marée la plus basse de vives-eaux¹⁰ et représente le zéro des cartes à cet endroit. L'établissement du système de référence SRIGL a été rendu nécessaire par l'effet cumulatif du mouvement de la croûte terrestre au cours des années (Forrester, 1983).

1.3 Inondations et plaines inondables

1.3.1 Inondations

Chaque année, les inondations coûtent des millions de dollars à travers le Canada. La plupart des inondations se produisent lorsque le débit d'une rivière ou d'un cours d'eau dépasse la capacité d'évacuation du lit lors de période de crue. Des inondations surviennent également le long des lacs et des littoraux maritimes lorsque le niveau normal de l'eau augmente au-delà du niveau des terres riveraines. Au Québec, les causes les plus fréquentes d'inondations sont les suivantes (Andrews, 1993) :

- crues nivales (fonte abondante de neige);
- pluies extrêmes ou prolongées;
- crues d'orage;
- embâcles.

Les conditions météorologiques jouent un rôle important dans la relation entre la quantité de neige qui fond et l'intensité des crues. Le climat détermine l'importance de la glace hivernale sur les affluents et les rives du Saint-Laurent, ainsi que sa débâcle, ce qui à son tour détermine la gravité des embâcles. Si l'accumulation de neige durant l'hiver a été supérieure à

⁸ Une surface équi-géopotentielle est une surface le long de laquelle le déplacement d'un corps d'un point à un autre n'implique aucun travail par ou contre la pesanteur.

⁹ Il y a cependant des liens établis entre les deux systèmes de mesure. Par exemple, au port de Montréal, le zéro des cartes correspond à un niveau d'eau de 5,55 mètres dans le système SRIGL 1985 (Yee, 1997).

¹⁰ La marée d'équinoxe peut donner lieu à des niveaux d'eau encore plus bas.

la moyenne et si le dégel est soudain et tardif, le risque d'un fort ruissellement et d'une inondation subséquente augmente. La situation est encore plus grave si les pluies sont intenses au moment de la fonte des neiges (Andrews, 1993). Les embâcles constituent une des causes principales d'inondation majeure au Québec en ce qui concerne le débordement des rivières. Ils provoquent des inondations pour deux raisons principales : a) les embâcles retiennent l'eau, ce qui entraîne une montée locale des niveaux d'eau en amont; b) les lames d'eau causées par le dégagement soudain d'un embâcle majeur produisent un changement de débit très rapide en aval, laissant donc peu de temps pour les mesures d'urgence. La crue d'embâcle la plus grave à s'être produite sur le Saint-Laurent a eu lieu en 1886 alors que l'eau recouvrit la rue Notre-Dame à Montréal (Andrews, 1993). Outre les crues printanières, il y a également les crues subites causées par des orages violents ou par des pluies extrêmes ou prolongées. Les inondations du 14 juillet 1987 à Montréal constituent un exemple extrême du premier phénomène (Environnement Canada, 1987) alors que les crues exceptionnelles du 19 au 21 juillet 1996 au Saguenay illustrent bien le second (Environnement Canada, 1997). Cependant, ces deux types de crue ne concernent que rarement le Saint-Laurent de façon directe.

Les habitants riverains de la région de Montréal sont très sensibles aux crues importantes à la confluence de la rivière des Outaouais et du fleuve. Contrairement au cas de la rivière des Outaouais, le Saint-Laurent n'a pas, à proprement parler, de pointe de crue. Celle-ci s'étale plutôt sur une période de quelques mois (Comité sur la régularisation des eaux, 1976). La région entre Boucherville et Trois-Rivières est également sensible aux changements des niveaux d'eau. Les basses-terres du lac Saint-Pierre et de Trois-Rivières sont des lieux particulièrement vulnérables. Plusieurs terres agricoles en bordure de la rive sud du lac Saint-Pierre ont un potentiel agricole et faunique très élevé et sont particulièrement exposées aux inondations. Le lac Saint-Pierre constitue la plus importante zone inondable du fleuve.

Outre les phénomènes météorologiques et hydrologiques, les caractéristiques physiographiques particulières de plusieurs bassins versants (pentes abruptes, déboisement, etc.) peuvent aussi contribuer à certains processus hydrologiques extrêmes et à un transport de sédiments assez abondant, surtout durant la période de fonte des neiges et des crues printanières (CENTREAU, 1974; Llamas et Triboulet, 1977). L'intensité des crues des affluents joue ainsi un rôle important dans les inondations sur les rives du Saint-Laurent.

Les dégâts aux propriétés et aux bâtiments privés et publics situés en zone inondable constituent probablement les plus sérieuses pertes subies par la population. Les coûts des dommages liés aux inondations sont élevés et viennent au premier rang des catastrophes naturelles en termes de dégât au pays (Andrews, 1993). Dans le but de prévenir les dommages causés par les inondations, la *Convention entre le Gouvernement du Canada et*

le Gouvernement du Québec relative à la cartographie et à la protection des plaines inondables poursuit les objectifs de cartographier et désigner les plaines inondables des municipalités du Québec et de mettre en œuvre une politique d'intervention. Cette convention prévoit la désignation de zones de grand courant (période de récurrence de 20 ans) et de zones de faibles courant¹¹ (période de récurrence de 100 ans). À titre d'information, le tableau 1.5 indique les niveaux d'eau ou les débits ayant une période de récurrence (période de retour) de 20 et 100 ans pour quelques sites de la région de Montréal.

TABLEAU 1.5
Période de récurrence de 20 et 100 ans des niveaux d'eau et débits dans la région de Montréal

RÉCURRENCE	LAC DES DEUX MONTAGNES	LAC SAINT-LOUIS	RIVIÈRE DES PRAIRIES	RIVIÈRE DES MILLE ÎLES
	Niveau d'eau (m)	Niveau d'eau (m)	Débit (m ³ /s)	Débit (m ³ /s)
20 ans	24,20	22,75	3370	1320
100 ans	24,63	23,20	3650	1540

Remarque. – Les niveaux d'eau sont donnés dans le système de référence SRIGL, 1985.

Source : El Jabi et al., 1981.

1.3.2 La plaine inondable

C'est dans la plaine inondable que se manifeste le phénomène des inondations et des crues. La plaine inondable est une composante naturelle et essentielle de l'écosystème fluvial, et constitue l'un des types d'habitats fauniques et floristiques les plus riches et diversifiés. La plaine inondable est en fait une dépression horizontale creusée par un cours d'eau et constitue un prolongement naturel du lit de celui-ci, où le surplus d'eau est déversé en période de crue. Ces zones particulières jouent le rôle de filtres naturels pour le réseau fluvial et elles permettent la réalimentation des formations aquifères en eau souterraine.

L'importance de la plaine inondable sur le plan environnemental est incontestable; on y trouve de nombreux milieux naturels abritant une faune très riche et diversifiée. En fait, la plaine inondable joue un rôle majeur pour la reproduction et l'alimentation de la sauvagine et des poissons, de même que pour plusieurs autres espèces d'oiseaux, d'amphibiens, de reptiles et de mammifères semi-aquatiques (MLCP, 1987; Maisonneuve et al., 1996). La valeur

¹¹ Selon la Convention et la *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables* (MEF, 1996a), la plaine inondable d'un cours d'eau comprend la *zone de grand courant*, pouvant être inondée par une crue de récurrence de 20 ans (0-20 ans) et la *zone de faible courant*, qui correspond à la zone inondée au-delà de la limite de la zone de grand courant et jusqu'à la limite de la zone inondable (20-100 ans).

écologique de la plaine inondable est reconnue et cette composante des cours d'eau est protégée au Québec en vertu de la *Politique de protection des rives, du littoral et de la plaine inondable*. Cette politique, dont une nouvelle version a été adoptée en janvier 1996, poursuit plusieurs objectifs visant la protection et la conservation des plaines inondables. Elle favorise la protection de leur caractère naturel et celle de la flore et de la faune, en limitant les interventions pouvant permettre l'accessibilité et la mise en valeur des rives, du littoral et des plaines inondables (MEF, 1996a). Du côté fédéral, la *Politique des terres humides* (Environnement Canada, 1994b) et la *Politique de gestion de l'habitat du poisson* (MPO, 1986) reconnaissent l'importance de la plaine inondable et lui accordent une certaine protection.

Dans le cas du lac Saint-Pierre, l'importance de la plaine inondable est reconnue à l'échelle nationale et même internationale¹². Il s'agit de la plus importante plaine d'inondation du Saint-Laurent. La zone inondable à récurrence de deux ans peut y atteindre 18 000 ha. La durée moyenne d'inondation à cet endroit est de cinq à neuf semaines. Une partie de ces terres (2265 ha) consiste en des zones agricoles inondées qui servent de halte migratoire pour la sauvagine et d'habitat pour le poisson (MLCP, 1987).

À titre comparatif, la zone inondable à récurrence de deux ans couvrait, en 1990, une superficie de 4769 ha au lac Saint-Louis (CSL et Université Laval, 1992). L'artificialisation des rives à cet endroit limite la superficie des terres inondées par les crues saisonnières. La plaine inondable perd alors de son importance écologique naturelle. Au lac Saint-François, le développement en rives et la régularisation des eaux font en sorte qu'il n'existe à peu près plus de plaine inondable (Armellin *et al.*, 1994a). Seuls de petits secteurs situés à proximité de l'embouchure des affluents peuvent être considérés comme tels.

1.4 Aspects économiques et environnementaux

1.4.1 Le transport maritime et la voie navigable du Saint-Laurent

La colonisation du Québec s'est d'abord effectuée dans la vallée du Saint-Laurent. Historiquement, le développement socio-économique du Québec est donc lié au développement des ports et de leurs villes respectives. Le transport maritime représente 5,6 p. 100 du produit intérieur brut du Québec (LAPEL, 1989). Le Saint-Laurent contribue fortement à ce développement car il constitue l'une des plus importantes voies de navigation du monde depuis

¹² Au moment d'écrire ces lignes, le site du lac Saint-Pierre a été proposé pour être inscrit sur la *Liste des zones humides d'importance internationale* aux termes de la *Convention de RAMSAR*. Celle-ci est un instrument de conservation planétaire servant à promouvoir la protection et l'utilisation rationnelle des milieux humides. Elle relève de l'*Union internationale pour la conservation de la nature (UICN)*.

l'ouverture, en 1959, de la Voie maritime du Saint-Laurent. Celle-ci est opérée et gérée conjointement par l'Administration de la voie maritime du Saint-Laurent au Canada et par la St. Lawrence Seaway Development Corporation aux États-Unis.

TABLEAU 1.6
Caractéristiques physiques de la voie navigable du Saint-Laurent (excluant le Saguenay)

SECTION	LARGEUR (m)	HAUTEUR D'EAU MINIMALE GARANTIE À MARÉE BASSE (m)	CAPACITÉ MAXIMALE DES NAVIRES* (t)
Golfe-Les Escoumins	> 300	> 15,0	> 150 000
Les Escoumins-Québec	300	12,5	150 000
Québec-Deschaillons	244	10,7	60 000
Deschaillons-Saint-Lambert	244	10,7 (11,0 sur une largeur de 230 m)	60 000
Saint-Lambert-Cornwall	60	8,2	25 000

* Correspond au poids total admissible incluant les passagers, l'équipage, la cargaison et le combustible.

Sources : CSL, 1996a; Rouleau, 1998.

La voie navigable du Saint-Laurent relie l'Océan Atlantique au lac Supérieur et couvre une distance de 3 260 km. La voie navigable de la partie québécoise se divise en quatre sections : une voie de navigation naturelle, entre le golfe et Les Escoumins dans l'estuaire maritime; un chenal de navigation formé de deux tronçons, soit un qui relie Les Escoumins à l'île d'Orléans et constitué d'un chenal naturel dans sa majeure partie, et un qui va de l'île d'Orléans à Saint-Lambert et constitué d'un chenal partiellement creusé et entretenu¹³. Finalement, la Voie maritime du Saint-Laurent, qui s'étend de Saint-Lambert à Cornwall, est un chenal entièrement dragué dont le niveau est régularisé par des écluses. Seuls les navires de dimensions ajustées aux caractéristiques de la Voie maritime du Saint-Laurent empruntent cette portion de la voie navigable du Saint-Laurent reliant Montréal et les Grands Lacs. De plus, il n'y a pas ou peu de navigation d'hiver et la Voie maritime du Saint-Laurent est fermée durant les mois de janvier à mars inclusivement. Cette fermeture en hiver est principalement due à l'englacement des écluses et à la présence d'un couvert de glace en amont des centrales hydroélectriques pouvant nuire au passage des navires (Michel, 1976). En aval de Montréal, la navigation s'effectue à l'année en raison de la présence de brise-glace qui sillonnent régulièrement le chenal et du déploiement d'estacades à glace à certains endroits.

¹³ Environ 64 p. 100 de ce tronçon a été creusé initialement, le reste ayant une profondeur naturelle supérieure à celle requise pour la navigation. Aujourd'hui, la section qui doit être entretenue par dragage se limite à quelques kilomètres annuellement.

On dénombre près d'une quarantaine de ports commerciaux sur le Saint-Laurent, générant environ 15 000 emplois directs et à peu près autant d'emplois indirects. En 1995, plus de 6825 navires commerciaux ont fait escale dans les ports du Saint-Laurent. Le volume de marchandises transitant par ces ports atteignait alors 110 millions de tonnes (GCC, 1997). Les ports de Port-Cartier, Sept-Îles, Montréal-Contrecoeur et Québec sont les plus importants au Québec pour ce qui a trait aux marchandises manutentionnées en 1995. Le port de Montréal-Contrecoeur sera discuté plus en détail, car il est le plus important du point de vue socio-économique (emplois directs et indirects, nombre de navires, etc.) et le plus important port à conteneurs au Canada. De plus, la régularisation des niveaux d'eau touche davantage ce dernier que n'importe quel autre port d'importance du Saint-Laurent et les enjeux liés aux niveaux d'eau sont considérables dans cette zone du fleuve.

1.4.1.1 *Apport économique du port de Montréal-Contrecoeur*

La navigation commerciale est d'une grande importance pour Montréal. Cette ville doit en partie sa situation de grande ville au fait qu'elle constitue la porte d'entrée des Grands Lacs. On évalue à près de 1,2 milliard de dollars et 14 000 emplois directs et indirects l'impact économique annuel du port de Montréal sur la région métropolitaine (Les Consultants Jacques Bérubé inc., 1997). Au Québec, le port de Montréal-Contrecoeur est au troisième rang pour les marchandises manutentionnées et au premier rang en ce qui concerne le nombre de navires y faisant escale (Gingras *et al.*, 1996a).

Le développement socio-économique de Montréal a donc été historiquement lié au fleuve et plus précisément à l'évolution des activités portuaires. Le port de Montréal jouit d'un statut avantageux de terminus pour les navires océaniques et est devenu une véritable plaque tournante du transport de marchandises vers l'ouest canadien et le nord des États-Unis depuis l'ouverture de la Voie maritime du Saint-Laurent en 1959. Aujourd'hui, il est desservi par une quarantaine de lignes maritimes le reliant à plus de 200 villes portuaires à travers le monde (Auclair, 1995a). Il constitue aussi une escale touristique maritime non négligeable.

1.4.2 *Développement hydroélectrique sur le Saint-Laurent*

Trois centrales hydroélectriques se trouvent dans la portion québécoise du Saint-Laurent : Beauharnois (1652 MW), Les Cèdres (162 MW) et Rivière-des-Prairies (48 MW) auxquelles s'ajoute la centrale de Carillon (654 MW) située sur la rivière des Outaouais, principal affluent du Saint-Laurent. Parmi les 55 centrales opérées par Hydro-Québec, la centrale de Beauharnois est la quatrième plus productive au Québec, après les trois centrales du complexe La Grande. La « New York Power Authority » et « Ontario-Hydro » sont les deux

maîtres d'œuvre du harnachement des rapides du Long-Sault dans la section internationale du Saint-Laurent. Un barrage d'envergure a été érigé à la fin des années 1950 dans cette section; il s'agit du barrage Moses-Saunders. Cette centrale fournit de l'électricité du côté ontarien (876 MW) ainsi que du côté américain (928 MW). Quelques autres petits barrages sur le Saint-Laurent protègent les installations contre les glaces afin d'optimiser la génération d'énergie hydroélectrique¹⁴.

La construction d'ouvrages hydroélectriques a modifié le paysage naturel du Saint-Laurent. Par exemple, le barrage Moses-Saunders a eu comme conséquence la création du lac Saint-Laurent, causant l'inondation d'une importante superficie de la vallée du Saint-Laurent. Dû à des conditions géographiques spécifiques et à l'effet du barrage Moses-Saunders, ce lac a des caractéristiques différentes du lac Ontario et du tronçon fluvial en aval de Cornwall. Par exemple, lorsque le niveau d'eau est supérieur à la moyenne dans le lac Ontario, il est inférieur dans le lac Saint-Laurent (CICFSL, 1997b).

1.4.3 Activités récréatives et touristiques

À la fin des années 1980, les retombées économiques des activités récréatives et touristiques associées au Saint-Laurent étaient évaluées à plus de trois milliards de dollars par année (Gouvernement du Canada, 1991). Puisque plus de 80 p. 100 de la population du Québec se concentre de part et d'autre du fleuve Saint-Laurent, il n'est pas étonnant que le Saint-Laurent supporte un grand nombre d'activités récréatives et touristiques qui produisent de telles retombées économiques.

La baignade et la navigation de plaisance sont les deux principales activités directement affectées par les fluctuations des niveaux d'eau. Les impacts appréhendés sur les autres activités ne sont pas directement liés aux niveaux d'eau ou présentent une importance socio-économique plus faible. Par ailleurs, on peut regrouper les activités récréatives en deux grandes catégories : les activités récréatives avec contact direct et sans contact direct avec l'eau.

1.4.3.1 Activités récréatives avec contact direct

Au cours des années 1970, le Saint-Laurent a beaucoup perdu de son importance sur le plan des loisirs, en particulier ceux impliquant un contact direct avec l'eau. Cependant, on note actuellement un regain d'intérêt pour récupérer ces usages. Parmi les activités récréatives avec contact direct, on retrouve la baignade, la planche à voile, le kayak de mer ou de rivière et

¹⁴ Ces ouvrages empêchent la glace de pénétrer dans les turbines.

le ski nautique. Sauf dans le cas de la baignade, la pratique de ces activités est peu influencée de façon directe par le niveau d'eau.

BAIGNADE

Avant 1970, on dénombrait environ 150 plages réparties le long du Saint-Laurent et du Saguenay. Le nombre actuel de plages n'est pas connu avec précision, mais on sait qu'il est nettement moindre. Les principales causes de cette perte de popularité sont la dégradation de la qualité de l'eau et la prise de conscience de la population du risque associé à la baignade en eau polluée. Néanmoins, une enquête réalisée en 1994 révèle que près de 200 000 personnes se baignent toujours dans le Saint-Laurent, ce qui représente environ 6 p. 100 de la population riveraine (SLV 2000, 1996). Ce nombre de baigneurs pourrait augmenter dans le futur, puisque une personne sur trois a déclaré, lors de cette enquête, qu'elle se baignerait volontiers dans le Saint-Laurent si on lui annonçait que l'eau est de bonne qualité.

Il n'existe pas d'inventaire précis des sites de baignade sur le Saint-Laurent, mais il est possible de faire certaines estimations. Ainsi, plus d'une vingtaine de plages font partie du programme de surveillance volontaire des plages du MEF (Programme Environnement-Plage)¹⁵. En 1995, une douzaine de ces plages étaient situées dans la région de Montréal (la plupart autour du lac des Deux Montagnes), cinq étaient localisés au Saguenay ou sur la Côte-Nord et trois en Gaspésie (Lavoie, 1995). Il y a également beaucoup de plages ne faisant pas partie du programme où la qualité de l'eau est bonne. C'est le cas, par exemple, des nombreuses plages des îles de la Madeleine qui sont particulièrement achalandées. La fréquentation de ces plages a connu une hausse spectaculaire depuis une vingtaine d'années. De 1975 à 1991, le nombre de touristes aux îles de la Madeleine a augmenté de 63 p. 100, atteignant près de 30 000 visiteurs par année (Shaffer et Laporte, 1995). Les plages des îles de la Madeleine comptent donc parmi les plus fréquentées le long du Saint-Laurent. Certaines plages de la région de Montréal sont également très populaires. On observe un grand nombre de visiteurs, notamment aux plages de Cap Saint-Jacques (Pierrefonds), Oka, Saint-Timothée, Saint-Zotique (lac Saint-François) et au Parc de l'île Bizard (LaRue *et al.*, 1996). En ce qui concerne la plage entièrement artificielle de l'île Notre-Dame, elle constitue le seul site de baignade directement situé sur le territoire de la Ville de Montréal. Son eau est tirée à même le fleuve et filtrée par un marais. La capacité d'accueil de cette plage est de 5000 personnes par jour. De 1990 à 1992, 875 000 visiteurs s'y sont rendus (Auclair, 1995a).

¹⁵ Le nombre de plages surveillées dans le cadre de ce programme peut varier d'une année à l'autre.

1.4.3.2 *Activités récréatives sans contact direct*

NAVIGATION DE PLAISANCE

La navigation de plaisance est une activité récréative importante d'un point de vue socio-économique. Certaines études évaluent à plusieurs centaines de millions de dollars les retombées économiques qu'elle génère annuellement sur l'ensemble du Saint-Laurent (Lavigne, 1997). En 1996, près de 300 infrastructures permettaient l'accès au Saint-Laurent de façon spécifique pour les plaisanciers. On retrouvait 100 ports de plaisance, 92 rampes de mise à l'eau et 105 quais (DPE, 1996). Le nombre de ces infrastructures est à la hausse puisqu'on comptait 88 ports de plaisance et 75 quais en 1988 (CSL, 1996a). Le nombre actuel d'embarcations de plaisance sur le Saint-Laurent n'est pas connu, les données les plus récentes étant celles d'un recensement effectué en 1988. On comptait alors 40 754 embarcations de plaisance (à voile ou à moteur) enregistrées sur le Saint-Laurent, soit 20,6 p. 100 de plus que cinq ans auparavant (GCC, 1997). Ces données permettent aussi de constater la forte proportion des embarcations enregistrées dans les secteurs de Montréal et de Sorel (67,8 p. 100 de toutes les embarcations de plaisance recensées en 1988).

PARCS RIVERAINS ET RANDONNÉE PÉDESTRE

Le Saint-Laurent et ses rives constituent une richesse que les riverains commencent à redécouvrir. La randonnée pédestre est une activité importante dont il est difficile de quantifier la popularité. L'aménagement des vieux ports de Montréal, Québec et Trois-Rivières, ainsi que le Parc des îles dans la région de Montréal (l'île Notre-Dame) constituent des lieux attrayants qui augmentent sans doute la popularité de la promenade à pied le long du fleuve. Une enquête menée auprès des populations riveraines indique qu'au moins 1,7 million de personnes ont pratiqué la randonnée pédestre le long du Saint-Laurent pour se détendre ou observer le paysage en 1994 (SLV 2000, 1996). Il peut exister un lien direct entre cette activité et les niveaux d'eau. En effet, il est possible que certains sentiers de randonnée en bordure du Saint-Laurent deviennent impraticables en raison de hauts niveaux d'eau, mais de tels cas n'ont jamais été documentés.

1.4.4 **Utilisation du Saint-Laurent par la faune (usages fauniques)**

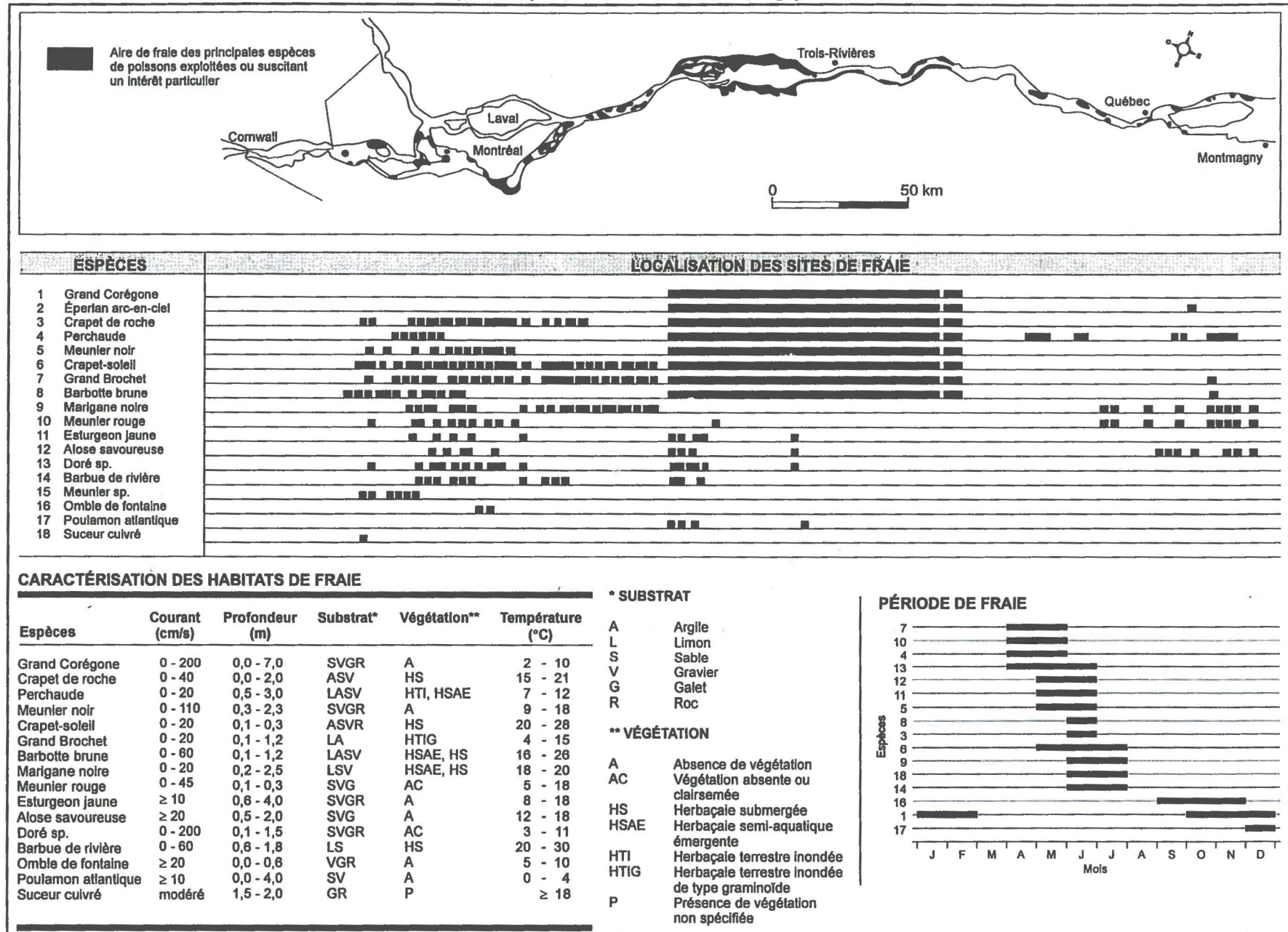
Le Saint-Laurent est parsemé d'aires de reproduction, de repos, d'alimentation, d'alevinage et d'hivernage fréquentées par un grand nombre d'espèces fauniques. On dénombre 185 espèces de poissons dans le Saint-Laurent, dont 109 vivent en eau douce ou sont diadromes (espèce de poisson dont une partie du cycle vital se déroule en eau douce et une autre partie en eau salée), et 76 sont des poissons d'eau salée (Ducharme *et al.*, 1992). Les lacs fluviaux sont particulièrement riches en ce qui concerne la faune ichthyenne. Au lac

Saint-François, par exemple, 57 espèces de poissons ont été rapportées (Armellin *et al.*, 1994a), et plus de 70 espèces fréquentent le lac Saint-Pierre (Langlois *et al.*, 1992). Les habitats utilisés par les différentes espèces de poissons dans le Saint-Laurent ne sont pas tous connus ou documentés, chaque espèce ou groupe d'espèces ayant ses exigences et ses préférences quant à son habitat. De façon générale, les herbiers immergés constituent, pour les poissons, des habitats importants pour l'alimentation et la protection contre les prédateurs. Par ailleurs, la reproduction s'effectue dans des endroits divers, souvent dans les plaines inondables du tronçon fluvial. La figure 1.4 présente la localisation et la caractérisation physico-chimique des frayères des principales espèces de poissons entre Cornwall et Montmagny.

La faune aviaire du Saint-Laurent est également diversifiée. Plus de 260 espèces d'oiseaux fréquentent le fleuve sur une base régulière et 115 espèces en ont fait leur demeure (Ghanimé *et al.*, 1990). Lors de la migration automnale, au moins 160 000 oiseaux de rivage (bécasseaux, pluviers, chevaliers, barges et courlis) en provenance de l'Arctique s'y arrêtent (Maisonneuve *et al.*, 1990). Par ailleurs, on estime la population de sauvagine utilisant les milieux riverains du Saint-Laurent à plus d'un million d'individus, dont les sites de prédilection sont localisés au lac Saint-François, au lac Saint-Pierre, et dans les régions de Québec et La Pocatière. Enfin, on trouve d'importantes colonies d'oiseaux de mer dans l'estuaire maritime et le golfe qui regroupent des milliers d'individus appartenant à une vingtaine d'espèces différentes (SCF, 1998).

On ne doit pas oublier la présence d'amphibiens et de reptiles (Grenouilles, Couleuvres, Tortues, etc.), de même que celle des mammifères semi-aquatiques (Rat musqué, Vison, Raton laveur, Castor, Loutre) et d'une vingtaine d'espèces de mammifères marins, ces derniers fréquentant les écosystèmes marins de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent (CSL, 1996a). Parmi tous les habitats qu'offre le Saint-Laurent, les plus utilisés par la faune sont probablement les milieux humides. Plusieurs espèces de poissons, d'amphibiens et de reptiles s'y reproduisent et s'y alimentent, autant dans les herbiers submergés que dans les marais littoraux. La faune aviaire, et en particulier la sauvagine, utilise également les milieux humides du Saint-Laurent pour la reproduction et l'alimentation. Quant aux mammifères semi-aquatiques, ils profitent de la grande productivité de ces milieux pour y trouver nourriture et abri.

FIGURE 1.4 Caractérisation des frayères des principales espèces de poissons de Cornwall à Montmagny



Sources : Gingras et al., 1997b; à partir des données de Therrien et al., 1991.

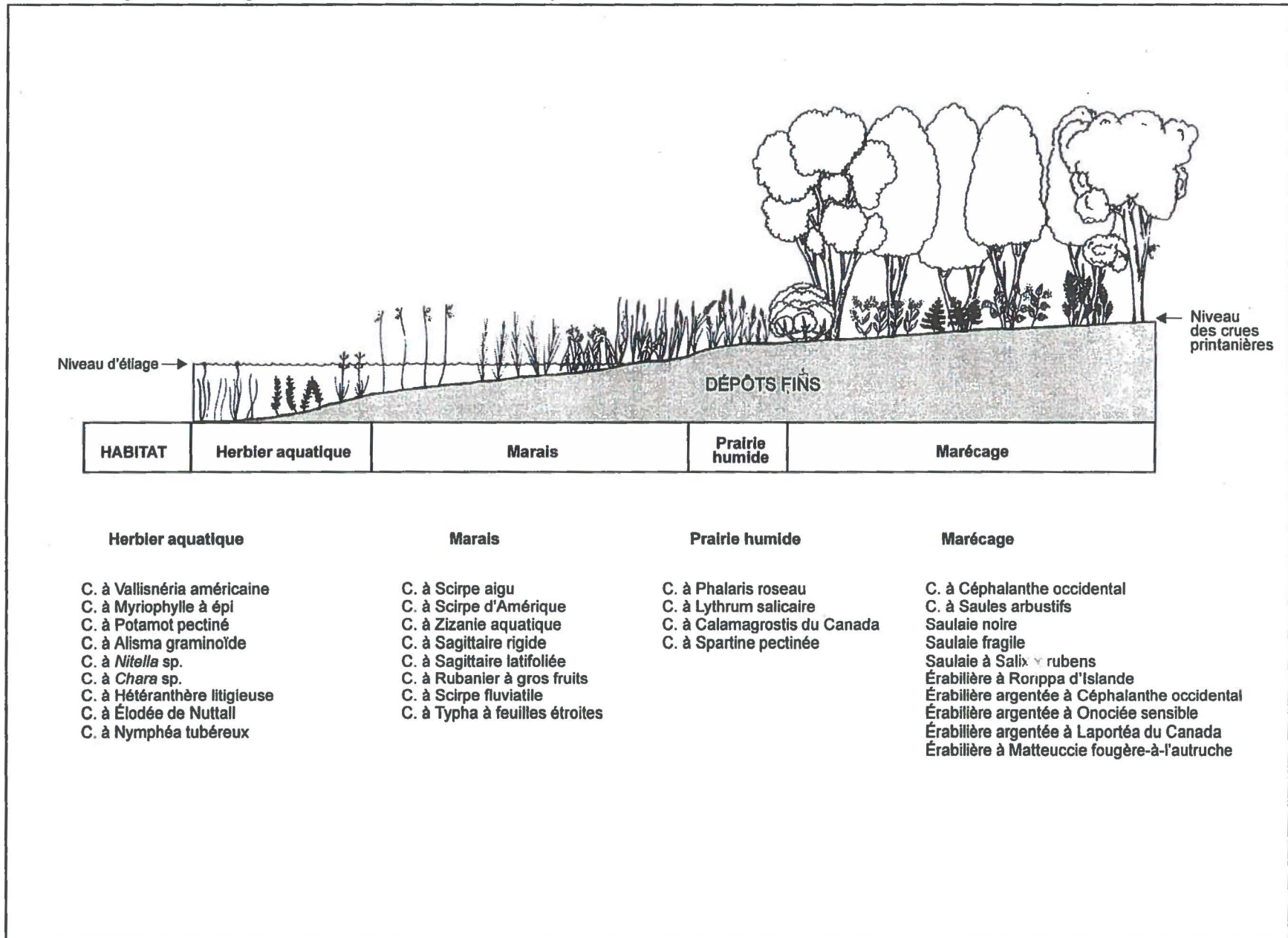
Par ailleurs, les habitats créés par les plaines inondables lors des crues printanières s'avèrent essentiels à certaines espèces fauniques, en particulier plusieurs espèces de poissons qui y trouvent les conditions de température et de débit idéales pour la ponte des œufs et la croissance des alevins. La durée des inondations et le synchronisme de celles-ci avec certaines étapes du cycle vital de la faune aquatique ou semi-aquatique peuvent déterminer en grande partie le succès de reproduction de ces espèces (MEF, 1995).

1.4.5 Milieux humides

Les milieux humides représentent des zones de transition entre les milieux aquatiques et terrestres, et sont soit saturés d'eau, soit inondés périodiquement par les marées ou les crues printanières. Ils sont situés à l'intérieur de la zone délimitée par les crues printanières à récurrence de deux ans (Burton, 1991). Les différents types de milieux humides dans le Saint-Laurent sont les herbiers aquatiques, les marais, les prairies humides et les marécages. Les herbiers aquatiques se caractérisent par la dominance de végétation submergée, flottante ou à feuilles flottantes. Les marais sont inondés périodiquement et leur substrat est saturé ou recouvert d'eau durant la majeure partie de la saison de croissance. Ils sont caractérisés par une végétation herbacée émergente. Les prairies humides présentent une couverture herbacée fermée, avec peu ou pas d'ouvertures remplies d'eau. Bien que la profondeur de l'eau puisse y atteindre de 15 à 30 cm à l'automne et au printemps, le substrat est saturé d'eau et la surface exondée pendant la saison de croissance. Enfin, les marécages sont des terres humides boisées, dont l'eau est stagnante ou s'écoule lentement (Jacques et Hamel, 1982; Létourneau et Jean, 1996). La figure 1.5 montre l'étagement de la végétation littorale aquatique typique du tronçon fluvial. Les limites des différentes zones de végétation se fondent sur des facteurs comme le climat, la vitesse des courants, la salinité de l'eau, ainsi que la présence et l'amplitude des marées. Les communautés végétales des milieux humides diffèrent donc d'un secteur à l'autre du Saint-Laurent (Gratton et Dubreuil, 1990).

Les milieux humides constituent des espaces naturels importants. Ils sont très productifs et jouent un rôle appréciable dans les cycles biologiques de l'écosystème. Ainsi, plusieurs espèces animales et végétales y trouvent un milieu de vie essentiel tandis que d'autres en dépendent pendant une ou plusieurs phases de leur cycle vital (MEF, 1996b; Drapeau, 1988). Les plantes vasculaires permettent l'instauration d'un milieu quasi lacustre, favorisant l'établissement d'une faune et d'une flore planctoniques. De nombreux poissons trouvent ainsi refuge dans ces milieux riches en plancton, ce qui attire les oiseaux et les mammifères ichtyophages (CSL, 1996a).

FIGURE 1.5 Étagement de la végétation littorale aquatique dans le tronçon fluvial



Source : Gratton et Dubreuil, 1990.

Outre leur importance écologique largement reconnue, les milieux humides jouent un rôle important dans le contrôle des niveaux d'eau. Ils ont la faculté d'emmagasiner de grandes quantités d'eau, qu'ils laissent s'écouler graduellement, régularisant ainsi les débits et modérant les changements du niveau de l'eau (Drapeau, 1988). Les milieux humides assurent aussi l'alimentation des nappes aquifères et jouent un rôle non négligeable dans le transfert des contaminants dans la chaîne alimentaire. En effet, l'immobilisation de substances toxiques comme certains métaux lourds (St-Cyr *et al.*, 1994) et l'auto-épuration par la minéralisation des détritiques sont aussi des fonctions essentielles des milieux humides (MEF, 1996b).

Le tableau 1.7 présente la superficie couverte par les différents types de milieux humides le long du Saint-Laurent, telle que mesurée entre 1989 et 1994. Le tronçon fluvial totalisait alors près de 48 000 hectares de milieux humides, sur une bande d'un kilomètre de part et d'autre du Saint-Laurent (Létourneau, 1996; Létourneau et Jean, 1996). Plus de la moitié de cette superficie était constituée d'herbiers, le reste se répartissant entre les marais, les prairies et les marécages. Dans l'estuaire fluvial, les marais sont les plus abondants, suivis des herbiers, des marécages et des prairies. Quant au moyen estuaire et à l'estuaire maritime, on y retrouve principalement des marais à scirpes et à spartines.

Les zones lacustres du Saint-Laurent, soit les lacs Saint-François, Saint-Louis et Saint-Pierre, de même que le bassin de La Prairie, sont des milieux particulièrement propices à la croissance des plantes aquatiques. Le courant et la turbidité y sont faibles et les eaux sont oxygénées et riches en substances nutritives (Gouvernement du Canada, 1991). À lui seul, le lac Saint-Pierre compte plus du tiers de tous les milieux humides du Saint-Laurent, soit plus de 28 000 hectares. La zone d'eau douce sans marée (tronçon fluvial) abrite surtout des herbiers aquatiques caractérisés par la dominance de plantes flottantes ou submergées (Gratton et Dubreuil, 1990). Dans les zones d'eau douce soumises aux marées (estuaire fluvial) et dans les zones d'eau saumâtre (moyen estuaire), les marais à scirpes et à spartines prédominent respectivement. En eau salée (estuaire maritime et golfe), les rivages rocheux et sablonneux sont moins propices à la formation de marais.

Les niveaux d'eau peuvent affecter la biomasse et la diversité de la flore aquatique. En effet, les niveaux d'eau maximum et minimum déterminent la largeur de la bande émergente des plantes aquatiques (Hudon, 1997a). Par ailleurs, les variations de niveaux d'eau imposées par les marées exercent une influence sur le milieu biologique. Favorisées par les fortes marées, de grandes zones intertidales (zones submergées à marée haute et émergées à marée basse) se sont ainsi développées dans la partie amont du moyen estuaire.

TABLEAU 1.7
Superficie de milieux humides mesurée entre 1989 et 1994

	SUPERFICIE DES MILIEUX HUMIDES (ha)			
	Tronçon fluvial	Estuaire fluvial	Moyen estuaire - Saguenay	Estuaire maritime et golfe
Herbiers	27 255,5	2 828,9	2 469,8	Absents de ce secteur
Marais	9 952,1	4 737,9	7 109,8	6 162,3
Prairies	5 386,3	389,9	2 090,5	3 623,8
Marécages	5 092,3	1 238,0	n.d.	n.d.
TOTAL	47 686,2	9 194,7	11 670,1	9 786,1
Année des données	1990	1991	1989 : Saguenay 1994 : Montmagny à Trois-Pistoles (rive sud seulement)	1989 : de Tadoussac à Pointe-des-Monts 1992-1994 : à Sept-Îles, la pointe de la Gaspésie, la baie des Chaleurs et les îles de la Madeleine
Méthode utilisée	Télé-détection aéroportée (1 : 20 000)	Télé-détection aéroportée (1 : 20 000)	Télé-détection aéroportée (1 : 20 000) + télé-détection par satellite (1 : 75 000)	Télé-détection par satellite (1 : 75 000)
Contraintes			Les herbiers de ce secteur n'ont pu être caractérisés qu'à l'aide de la télé-détection aéroportée; leur superficie est donc sous-évaluée	

n.d. : non déterminé.

Sources : Létoumeau, 1996; Létoumeau et Jean, 1996.

Le marais à scirpe, par exemple, se retrouve dans les zones d'eau douce ou très légèrement saumâtre soumises au jeu des marées. Le scirpe est la nourriture privilégiée de l'Oie des neiges. En fait, une grande partie de la population mondiale de cette espèce (65 p. 100 en 1977) utilise ces marais comme aire de repos et d'alimentation durant la migration printanière (Bourget *et al.*, 1977). Ce type de marais est concentré principalement à cap Tourmente, dans le chenal de l'île d'Orléans, à l'archipel de l'île aux Grues et aux battures de Montmagny (Gouvernement du Canada, 1991).

L'importance des milieux humides insulaires ne peut être passée sous silence. On dénombre au-delà de 900 îles isolées ou reliées en archipels dans le Saint-Laurent, dont plus de 60 p. 100 sont situées dans le tronçon fluvial (de Repentigny, 1996). En fait, les rives insulaires représentent 66 p. 100 de l'ensemble des rives d'eau douce du Saint-Laurent (Loiselle *et al.*, 1998). Les faibles niveaux d'eau près des rives favorisent le développement de milieux humides qui jouissent habituellement d'une bonne protection étant donné leur isolement relatif. Entourées d'eau, ces rives insulaires sont toutefois particulièrement exposées aux

courants, au batillage et aux modifications des niveaux d'eau, et certaines sont soumises à une érosion sévère (Loiselle *et al.*, 1998).

1.4.6 Végétation riveraine

La végétation riveraine réfère aux communautés végétales qu'on retrouve au-delà de la zone d'inondation à récurrence de deux ans. Ces milieux riverains peuvent être affectés par les hautes eaux extrêmes. Les zones riveraines supportent une végétation abondante et diversifiée. Selon Gratton et Dubreuil (1990), environ 1300 espèces de plantes vasculaires, soit la moitié de la flore vasculaire du Québec, seraient présentes dans le corridor du Saint-Laurent (1 km de part et d'autre). Parmi celles-ci, environ 300 espèces sont considérées rares et 183 présentent un intérêt prioritaire parce qu'elles sont menacées de disparition (Gouvernement du Canada, 1991).

Les forêts riveraines sont importantes le long du Saint-Laurent, puisqu'elles occupent 40 p. 100 de la bande riveraine entre Cornwall et Tadoussac (Loiselle *et al.*, 1998). La forêt feuillue domine entre Cornwall et La Malbaie, sur la rive nord, et Saint-Pascal (Kamouraska) sur la rive sud. De façon générale, les érablières dominent les bandes riveraines dans le tronçon fluvial. La forêt mixte (conifères et feuillus) occupe la majorité des terres de la côte sud et de l'étroite bande ceinturant la péninsule gaspésienne, alors que la forêt de conifères caractérise la rive nord en aval de Forestville (Loiselle *et al.*, 1998). En certains endroits, notamment sur les îles, certaines espèces rares sont présentes. Par exemple, au site des îles Dowker et Madore, dans le lac Saint-Louis, des espèces telles que le Micocoulier et le Chêne bleu se mêlent avec des espèces plus communes comme l'Érable à caryers (CSL, 1995) donnant un trait caractéristique au paysage de ces endroits.

1.5 La Commission mixte internationale et la régularisation des eaux

La Commission mixte internationale (CMI), un organisme canado-américain caractérisé par sa neutralité politique, a été créée par un traité signé en 1909. Elle a pour mandat d'étudier et de tenter de résoudre les problèmes concernant les eaux limitrophes et transfrontalières partagées par ces deux pays. En vertu du traité, la CMI doit approuver, entre autres, certaines utilisations, obstructions ou dérivations des eaux dans le cas où ces activités ont un effet sur le niveau ou le débit naturel des eaux limitrophes du pays voisin. Cette commission peut aussi être appelée à réaliser des études et faire des recommandations sur des problèmes particuliers le long de la frontière canado-américaine dans le cadre de « renvois ». Finalement, elle surveille et coordonne les activités ou les programmes découlant de l'acceptation de ses recommandations par les gouvernements et elle s'assure du respect des

modalités prévues dans ses ordonnances d'approbation. Dans cette tâche, la Commission est assistée de conseils internationaux de contrôle dotés d'un nombre égal d'experts canadiens et américains (Carpentier et Pelletier, 1981). La CMI compte six commissaires dont trois sont nommés par les États-Unis et trois par le Canada. Le mandat de la Commission couvre à la fois la qualité de l'eau et la quantité d'eau. La CMI utilise l'expertise de spécialistes des deux pays pour étudier les questions relatives à la régularisation des eaux des Grands Lacs et du Saint-Laurent et l'impact sur l'environnement et la société. Des audiences publiques sont également tenues sur une base ad-hoc afin d'obtenir des commentaires du public et de divers paliers de gouvernements concernant la gestion courante et les critères de régularisation utilisés.

Voici les dates importantes dans l'histoire de cette Commission, en ce qui concerne le contrôle du fleuve Saint-Laurent (Environnement Canada, 1996a; Yee *et al.*, 1995) :

- | | |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1909 | Création de la CMI suite au Traité sur les eaux limitrophes entre le Canada et les États-Unis; |
| 1953 | Création du Conseil international de contrôle du fleuve Saint-Laurent (CICFSL), lequel est responsable de la régularisation des débits d'eau; |
| 1963 | Le plan de régularisation 1958-D est adopté. Il repose sur des considérations principalement axées sur la production hydroélectrique dans le bassin, la navigation commerciale et les dommages éventuellement causés aux propriétés riveraines (aucune considération environnementale); |
| 1972 | Signature par le Canada et les États-Unis de l' <i>Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs</i> ; |
| 1978 | Modifications à l'Accord de 1972; |
| 1987-1993 | Étude de renvoi visant à étudier les méthodes de mitigation des conséquences néfastes des fluctuations des niveaux d'eau du système Grands Lacs–Saint-Laurent. Les principales recommandations du rapport privilégient le contrôle des aménagements riverains plutôt que la mise en place de nouvelles structures de régularisation; |
| 1994 | Le Plan 35P (une variante du Plan 1958-D) et le Plan IS4 (basé sur des modèles de satisfaction des intérêts) sont implantés en parallèle au Plan 1958-D, afin d'évaluer leur faisabilité sur une période de trois ans; |
| 1998 | Adoption prévue du Plan 35P, rebaptisé Plan 1998. |

Le 30 juin 1952, les gouvernements canadien et américain ont déposé auprès de la Commission une demande d'approbation pour la construction et l'exploitation d'ouvrages pour fins de production d'énergie hydroélectrique dans la section internationale des rapides du Saint-Laurent. La CMI a entériné cette demande d'approbation le 29 octobre 1952. Le 2 juin 1956, elle a émis une ordonnance supplémentaire qui précise les conditions d'approbation et d'exploitation des ouvrages. Des 13 exigences de cette ordonnance, les principales, relatives à

la protection des intérêts aval, prévoient que les ouvrages du projet hydroélectrique devront être construits, maintenus et exploités :

- « ... de façon à sauvegarder les droits et intérêts légitimes d'autres parties, actuellement engagées ou qui pourraient l'être, dans la production d'énergie dans le fleuve Saint-Laurent en aval de la section internationale des Rapides » (exigence *c*);
- « ... de façon à procurer à la navigation et aux intérêts riverains en aval une protection non moindre que celle obtenue sous les conditions d'avant-projet et avec les apports en eau ajustés du passé... » (exigence *l*).

L'exigence (*l*) identifie 11 critères pour la régularisation du lac Ontario. Les critères, qui concernent spécifiquement la protection des intérêts en aval, visent le maintien de leurs droits acquis au cours de la période de référence (1860-1954), dite période « d'avant-projet ». La régularisation doit garantir au moins la protection offerte sous les conditions « d'avant-projet » durant les périodes d'étiage dans le port de Montréal (critère *a*), durant la période de crue dans le port de Montréal et en aval dans le fleuve (critère *c*) et durant la crue de la rivière des Outaouais (critère *d*). Les critères *b* et *e* favorisent la production d'énergie en aval sur le fleuve Saint-Laurent. Finalement, la Commission mixte internationale a prévu des dispositions (critère *k*) pour procurer tout le soulagement possible, en cas de niveaux extrêmes, d'une part aux intérêts riverains en amont et en aval des ouvrages, et d'autre part aux intérêts de la navigation et de la production d'énergie (Carpentier et Pelletier, 1981). Le tableau 1.8 présente une description complète des 11 critères de régularisation du lac Ontario.

La CMI chapeaute trois conseils de contrôle pour la régularisation du système Grands Lacs–Saint-Laurent, dont le Conseil international de contrôle du fleuve Saint-Laurent (CICFSL). C'est par le biais de ce dernier que des représentants indépendants (six Canadiens et six Américains) aptes à fournir un avis éclairé participent aux prises de décisions en matière de contrôle des niveaux d'eau (Carpentier, 1998).

TABLEAU 1.8
Critères de régularisation du lac Ontario (Plan 1958-D)

CRITÈRE	DESCRIPTION	OBJECTIF
A	Les niveaux au port de Montréal ne doivent pas être sous les niveaux d'avant-projet (période du 1 ^{er} avril - 15 décembre).	Protéger les intérêts de la navigation dans le port de Montréal.
B	Le débit sortant du lac Ontario doit être aussi élevé que possible en période de couverture stable de glace (15 décembre - 31 mars).	Favoriser la production hivernale d'hydroélectricité.
C	Le débit sortant du lac Ontario ne devrait pas excéder les conditions d'avant-projet durant la débâcle printanière	Protéger le port de Montréal et les intérêts en aval.
D	Le débit sortant du lac Ontario ne doit pas excéder les conditions d'avant-projet durant la crue printanière de la rivière des Outaouais.	Protéger les intérêts des riverains dans la région de Montréal.
E	Le débit minimum du lac Ontario doit assurer le débit optimum de puissance hydroélectrique.	Protéger les intérêts hydroélectriques.
F	Le débit maximum sortant du lac Ontario doit être le plus faible possible.	Minimiser le creusage du lit.
G	Les niveaux extrêmes du lac Ontario doivent être minimisés.	Protéger les intérêts des riverains du lac Ontario.
H	Les niveaux moyens mensuels du lac Ontario ne doivent pas excéder 75,37 m.	Protéger les intérêts des riverains du lac Ontario.
I	Les niveaux moyens mensuels du lac Ontario excédant 75,07 m doivent être moins fréquents que lors de la phase avant-projet.	Protéger les intérêts des riverains du lac Ontario.
J	Le niveau du lac Ontario en date du 1 ^{er} avril ne devrait pas être inférieur à 74,15 m. Les moyennes mensuelles ne devraient pas être inférieures à 74,15 m durant la période du 1 ^{er} avril - 30 novembre.	Niveaux adéquats requis pour la saison de navigation.
K	Lorsque les apports excèdent ceux d'avant-projet (1860-1954), la priorité est la protection des propriétés riveraines. Si les apports sont trop faibles, la priorité est la navigation et l'hydroélectricité.	Protéger les propriétés riveraines, la navigation et l'hydroélectricité, en amont et en aval.

Sources : Lee et al., 1997; Carpentier, 1998.

1.5.1 Conseil international de contrôle du fleuve Saint-Laurent

Le Conseil international de contrôle du fleuve Saint-Laurent a été créé par la CMI en 1953 afin de faire respecter les dispositions de l'ordonnance d'approbation sur l'écoulement des eaux du lac Ontario et sur les débits d'eau dans la section internationale du fleuve Saint-Laurent. Ce Conseil est composé de 10 membres : cinq Canadiens et cinq Américains. Le président actuel et le secrétaire de la section américaine du Conseil relèvent du U.S. Army Corps of Engineers; les autres membres viennent de la New York Power Authority, du New York State Department of Environmental Conservation, du Rochester Institute of Technology ainsi qu'un ingénieur non rattaché à un organisme. Le président et le secrétaire de la section canadienne du Conseil proviennent de Pêches et Océans Canada (Garde côtière canadienne), alors que les autres membres appartiennent à Ontario Hydro, au ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec et à Environnement Canada. Le cinquième membre de la section canadienne est le maire de Dorval (IJC, 1997). Le Conseil élabore des plans de régularisation

en cherchant à réaliser le meilleur compromis possible entre les besoins pour la production de l'énergie, ceux de la navigation et la nécessité de maintenir le lac Ontario à un niveau qui soit avantageux pour les propriétaires riverains, tout en protégeant les mêmes intérêts en aval. Les propriétaires des ouvrages de régularisation, soit la New York Power Authority et l'Ontario Hydro, voient à l'application des plans de régularisation approuvés sous la surveillance directe et selon les directives du Conseil (Robert, 1997).

Le Conseil international de contrôle du fleuve Saint-Laurent compte plusieurs comités, dont le Groupe consultatif sur les opérations (CMI, 1993). Celui-ci est composé de représentants d'organismes et de groupes d'usagers (Administration de la Voie maritime du Saint-Laurent, Hydro-Québec, Ontario Hydro, Environnement Canada, Pêches et Océans Canada) qui exécutent les stratégies adoptées par le Conseil sur la gestion des débits d'eau. Ce comité fonctionne par consensus et gère les opérations quotidiennes relatives à la régularisation (Robert, 1997). Il se réunit au moins une fois par semaine afin d'examiner l'information pertinente et les plans de régularisation fournis sur une base hebdomadaire par les représentants de la régularisation. Les membres du groupe déterminent ainsi le débit qu'ils jugent adéquat pour la semaine suivante et transmettent leurs recommandations au Conseil international de contrôle du fleuve Saint-Laurent. Le débit proposé est accepté si un consensus est atteint. Dans le cas contraire, la décision revient au Conseil, qui la réfère à la Commission mixte internationale si le Conseil ne peut obtenir un consensus de ses membres (Robert, 1997).

Dans le processus de régularisation, on tient compte, entre autres, du débit des rapides de Lachine, de la hauteur des niveaux d'eau du lac Ontario et des apports en eau de la semaine précédente dans le lac Ontario pour déterminer les débits évacués au lac Ontario (Comité sur la régularisation des eaux, 1976). À titre de comparaison avec d'autres procédures de régularisation, le débit sortant du lac Supérieur est ajusté tous les mois. Le niveau du lac Ontario répond plus rapidement que celui du lac Supérieur car sa capacité d'emmagasinage est beaucoup plus faible et ses débits entrants sont beaucoup plus forts que ceux du lac Supérieur.

1.6 Les changements climatiques

La communauté scientifique croit que le réchauffement de la planète attribuable aux activités humaines se fera nettement sentir durant le prochain siècle (Aston, 1984; LAPEL, 1989; IPCC, 1995; OMM, 1990; Gouvernement du Canada, 1991, Hengeveld, 1991; Environnement Canada, 1992; CMI, 1993; Houtman, 1994; Gouvernement du Canada, 1995). Le réchauffement planétaire est, du moins en partie, causé par une hausse du dioxyde de carbone dans l'atmosphère suite à la combustion de matières fossiles, comme le charbon, le mazout et le gaz naturel (IPCC, 1995; Environnement Canada, 1990b; Hengeveld, 1991). Cette

hausse est aussi influencée par la déforestation massive pour l'agriculture, l'urbanisation et l'irrigation. La création de lacs artificiels et de réservoirs ont également contribué à la hausse des teneurs en dioxyde de carbone et méthane (Sagan *et al.*, 1979 cité dans LAPEL, 1989; Chamberland, 1992). Il est prévu que la concentration de dioxyde de carbone doublera par rapport à celle de l'ère préindustrielle au cours du prochain siècle si aucune mesure de réduction des gaz à effet de serre n'est prise. D'autres gaz, tels que le méthane, les chlorofluorocarbones (CFC) et l'oxyde nitreux contribuent aussi à la problématique de l'effet de serre.

Des périodes plus chaudes ont déjà été enregistrées à l'échelle planétaire mais, d'après les prédictions actuelles, aucun changement climatique aussi rapide et intense n'est jamais encore survenu dans toute l'histoire de l'humanité (IPCC, 1990; OMM, 1990; Gouvernement du Canada, 1991; Hengeveld, 1991). Un panel international de scientifiques a conclu que la température globale moyenne a augmenté d'une valeur entre 0,3 °C et 0,6 °C au cours des 100 dernières années, et a prévu une hausse supplémentaire de 1 °C à 3,5 °C pour le prochain siècle (IPCC, 1995). Les impacts les plus spectaculaires et les plus faciles à identifier sont probablement la montée du niveau des océans (entre 20 et 140 cm de hausse prévue durant le prochain siècle), la fonte partielle des calottes glaciaires arctique et antarctique, une modification du régime hydrologique des cours d'eau et des lacs et d'importants changements dans les équilibres des écosystèmes terrestres et aquatiques.

La région des basses-terres du bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent a connu un réchauffement de 0,7 °C au cours du dernier siècle. En ce qui concerne le Canada, selon les statistiques nationales de température, c'est dans l'ouest du pays que le réchauffement actuel est le plus évident (Gullett et Skinner, 1992) alors que dans l'est, on semble assister davantage à une augmentation de la variabilité climatique qu'à un réchauffement (Phillips, 1996). Ainsi, même si le réchauffement global est inéluctable au niveau mondial, un refroidissement peut survenir au niveau régional. Par exemple, le bassin du fleuve Mackenzie s'est réchauffé de 1,7 °C lors du dernier siècle (Cohen, 1997; IPCC, 1990) alors que le nord du Québec, de même que certaines provinces atlantiques, se sont plutôt refroidies depuis 40 ou 50 ans (Houtman, 1994; IPCC, 1990). En d'autres mots, il ne faut pas se surprendre que le réchauffement moyen de 0,3 à 0,6 °C observé à l'échelle mondiale depuis un siècle (IPCC, 1995) puisse s'accompagner localement ou régionalement d'un refroidissement ou encore d'une modification dans la fréquence des catastrophes naturelles. ***La caractéristique la plus importante du changement climatique, en ce qui concerne son impact sur l'environnement, est probablement la modification anticipée de la gamme des variations climatiques.***

1.6.1 Scénarios plausibles de changement climatique pour le Québec

Les modèles de circulation générale de l'atmosphère (MCGA) sont utilisés pour établir des scénarios de changement climatique. Ils utilisent les équations du mouvement et prennent en compte le rayonnement, la photochimie et les transferts de chaleur, de vapeur d'eau et de quantité de mouvement. Les scénarios des modèles MCGA sont des scénarios d'équilibre climatique; ils définissent des climats qui ont atteint un état permanent à un moment donné lorsque le dioxyde de carbone aura doublé (vers 2030, 2050 ou 2075 dépendant du taux d'émission des gaz à effet de serre durant les prochaines décennies). Toutefois, ils ne doivent pas être considérés comme des prévisions climatiques mais plutôt comme des scénarios possibles d'évolution climatique. En effet, bien qu'il y ait eu de nombreux efforts de modélisation pour interpoler les champs physiques de l'atmosphère, il n'existe pas de modèles capables d'interpoler précisément à l'échelle régionale. L'interprétation des modèles de circulation générale doit donc être faite avec prudence. De plus, les éruptions volcaniques futures et la présence d'aérosols pourraient modifier ces scénarios. Le tableau 1.9 résume les résultats de plusieurs MCGA relativement à la variation des températures moyennes et des précipitations saisonnières au Québec, selon l'hypothèse que la teneur en dioxyde de carbone dans l'atmosphère doublera.

TABLEAU 1.9

Variation de la température moyenne et des précipitations saisonnières à partir des divers scénarios de changement climatique établis à partir de l'hypothèse d'un doublement de CO₂

	SUD DU QUÉBEC	NORD DU QUÉBEC
Printemps (mars à mai)	Réchauffement de 1 à 4 °C De 0 à 20 p. 100 plus de précipitations	Réchauffement de 2 à 4 °C De 0 à 20 p. 100 plus de précipitations
Été (juin à août)	Réchauffement de 1 à 4 °C Précipitations à plus ou moins 10 p. 100 des valeurs actuelles	Réchauffement de 2 à 4 °C De 0 à 20 p. 100 plus de précipitations
Automne (septembre à novembre)	Réchauffement de 1 à 3 °C Les MCGA sont en désaccord sur les précipitations (variations pouvant aller de +10 p. 100 à -30 p. 100 des valeurs actuelles)	Réchauffement de 2 à 5 °C De 0 à 20 p. 100 plus de précipitations
Hiver (décembre à février)	Réchauffement de 2 à 6 °C De 5 à 20 p. 100 plus de précipitations	Réchauffement de 2 à 9 °C De 0 à 20 p. 100 plus de précipitations

Source : Bergeron et al., 1997.

Il est important de souligner que ces scénarios ne donnent aucune indication sur la fréquence, la durée et l'intensité prévues des extrêmes climatiques, ni sur les modifications apportées à la trajectoire moyenne des systèmes météorologiques affectant le Québec. Les

premières ébauches de recherche, particulièrement aux États-Unis, dénotent toutefois que les phénomènes météorologiques violents (pluie supérieure à 25 mm/heure, grêle de la grosseur d'un pois, tornades, vents supérieurs à 90 km/h) pourraient augmenter dans un climat plus chaud (Bergeron *et al.*, 1997).

1.6.2 La Convention de Rio (1992) et le Protocole de Kyoto (1997)

En juin 1992 au Sommet de la Terre de Rio, le Canada signait la *Convention-Cadre des Nations Unies sur les changements climatiques* (CCCC). La CCCC est entrée en vigueur en février 1994 suite à sa ratification par plus de 150 pays. Le 25 novembre 1992, le Conseil des ministres québécois adoptait le décret n° 1669-92 par lequel le Québec affirmait son adhésion aux principes et objectifs poursuivis par la CCCC.

L'élément-clé de cette convention consiste en la limitation des émissions des gaz à effet de serre. La Convention prévoit aussi l'adoption de politiques nationales, l'établissement et la mise en œuvre de mesures visant à faciliter l'adaptation aux changements climatiques, ainsi que la recherche et l'éducation dans ce domaine.

En décembre 1997, à Kyoto, d'intenses négociations ont donné lieu à un Protocole stipulant que les nations les plus industrialisées de la planète sont d'accord pour réduire volontairement leurs émissions de gaz à effet de serre¹⁶, d'une valeur moyenne de 5,2 p. 100 (par rapport aux niveaux de 1990) d'ici la période 2008-2012. Cette entente doit être ratifiée individuellement par chaque pays ayant signé le Protocole et prendra effet lorsqu'un minimum de 55 pays l'auront entérinée.

¹⁶ Les gaz à effet de serre visés par le *Protocole de Kyoto* sont : le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), l'oxyde nitreux (N₂O), les hydrofluorocarbones (HFC), les perfluorocarbones (PFC) et l'hexafluorure de soufre (SF₆).

2 Problématiques associées à l'enjeu_____

2.1 Considérations de base

2.1.1 Caractéristiques déterminantes de l'enjeu

2.1.1.1 *Absence de critères d'interprétation des niveaux d'eau en fonction des usages*

L'évaluation des effets engendrés sur les usages et les composantes naturelles du Saint-Laurent constitue le point central de la problématique des niveaux d'eau et de leurs fluctuations. Pour plusieurs usages, cependant, il n'existe pas de critère d'évaluation ou de seuil critique reconnu pour le maintien de ces usages, contrairement à ce que l'on observe pour la qualité de l'eau (critères pour la vie aquatique, pour la consommation humaine et pour les activités de contact). Cette absence de critères rend plus difficile l'interprétation des fluctuations des niveaux d'eau dans un contexte de développement durable. L'analyse doit donc tenter d'évaluer l'état des connaissances relativement à la définition de critères d'interprétation et d'objectifs environnementaux pour l'ensemble des usages.

2.1.1.2 *Importance du synchronisme*

Le synchronisme entre certaines conditions de niveaux d'eau et les usages (utilisation humaine et faunique du Saint-Laurent) s'avère primordial. Dans plusieurs cas, ce ne sont pas uniquement les bas niveaux ou les hauts niveaux d'eau qui sont problématiques, mais aussi le moment où ces niveaux sont observés. Par exemple, des niveaux élevés sont nécessaires à une période donnée du printemps pour permettre à certaines espèces de poissons d'accéder à leurs frayères situées dans la plaine inondable, mais le succès de reproduction peut être compromis si ces niveaux élevés persistent trop longtemps ou ne durent pas assez longtemps. De plus, la condition optimale peut varier sur un cycle annuel et les besoins des différents usages ne sont pas nécessairement synchrones dans le temps. Il faut donc tenir compte des périodes critiques de chacun des usages dans l'évaluation de l'effet des fluctuations des niveaux d'eau.

2.1.1.3 *Conflits d'usages*

Les usages du Saint-Laurent sont nombreux et les conditions de niveaux d'eau qui leur sont propices diffèrent grandement selon l'usage considéré. Il en est de même pour les différentes composantes naturelles du milieu. Il n'existe pas de conditions de niveaux d'eau qui peuvent satisfaire tous les usages et toutes les composantes du milieu. Il importe donc d'identifier les effets néfastes et les effets bénéfiques pour les différents usages ou

composantes du milieu sous différentes conditions de niveau d'eau et de faire ressortir les conséquences contradictoires et les conflits d'usage.

2.1.1.4 *Effet combiné des facteurs naturels et anthropiques*

Dans un contexte d'aide à la prise de décision, il importe de discerner les fluctuations du niveau d'eau attribuables aux phénomènes naturels de celles induites par les activités anthropiques. Cet exercice s'avère complexe dans la mesure où les fluctuations des niveaux d'eau sont la résultante d'une situation qui intègre les effets de plusieurs phénomènes naturels (précipitation, évaporation, ruissellement, crues, étiages, embâcles, vent), de mécanismes ou d'ouvrages permanents de régularisation et finalement, des pressions découlant de certaines activités anthropiques (entretien des chenaux de navigation et dérivations d'eau). Tous ces facteurs agissent à des échelles spatio-temporelles différentes, ce qui complique l'analyse et rend difficile l'établissement de liens de causalité spécifiques entre les niveaux d'eau et les différents facteurs naturels ou anthropiques.

2.1.1.5 *Influence de phénomènes à différentes échelles spatiales et temporelles*

Bien que le territoire à l'étude soit le Saint-Laurent et une bande riveraine dans sa portion québécoise, les phénomènes impliqués débordent largement ce cadre géographique. Les facteurs climatiques sur l'ensemble du bassin Grands Lacs–Saint-Laurent ont une influence sur le niveau d'eau du Saint-Laurent, de même que certaines interventions humaines en amont de la zone d'étude et sur les affluents. Ainsi, bien que l'analyse ne couvre pas directement l'hydrologie et la gestion du domaine hydrique en dehors du Saint-Laurent, elle doit néanmoins considérer ces aspects par l'examen des conditions du régime hydrique à l'embouchure des affluents et des Grands Lacs. Par ailleurs, les niveaux d'eau sont aussi influencés par des phénomènes se manifestant à des échelles temporelles différentes. Les phénomènes naturels qui influencent le régime hydrique du Saint-Laurent sont parfois variables à court terme, mais ils sont aussi déterminés par les changements climatiques à moyen et à long terme. De plus, contrairement à la plupart des bassins versants, celui des Grands Lacs–Saint-Laurent présente un long cycle interannuel. Les niveaux d'eau du Saint-Laurent sont donc le résultat de phénomènes spécifiques survenant à l'intérieur de son bassin versant ainsi que de phénomènes globaux intervenant à des échelles spatiales et temporelles beaucoup plus larges.

2.1.2 *Traitement de la problématique*

La figure 2.1 permet de visualiser, dans le cadre *Pression-État-Réponse*, les aspects abordés dans le document. Ces aspects traitent des différentes sources de pression,

de l'état de l'environnement et des usages, ainsi que des réponses ou interventions qui sont réalisées pour améliorer la situation. Les deux niveaux d'analyse nécessaires au traitement de cet enjeu sont illustrés sur cette figure. En effet, les niveaux d'eau du Saint-Laurent sont influencés par des phénomènes couvrant différentes échelles spatiales et temporelles. L'analyse est appliquée au Saint-Laurent lui-même, dans sa partie québécoise, mais elle doit aussi considérer des échelles temporelles et spatiales beaucoup plus grandes, en particulier à cause du caractère global des phénomènes climatiques qui influencent les niveaux d'eau de l'ensemble du Saint-Laurent. L'annexe 1 donne plus d'information sur le cadre Pression-État-Réponse.

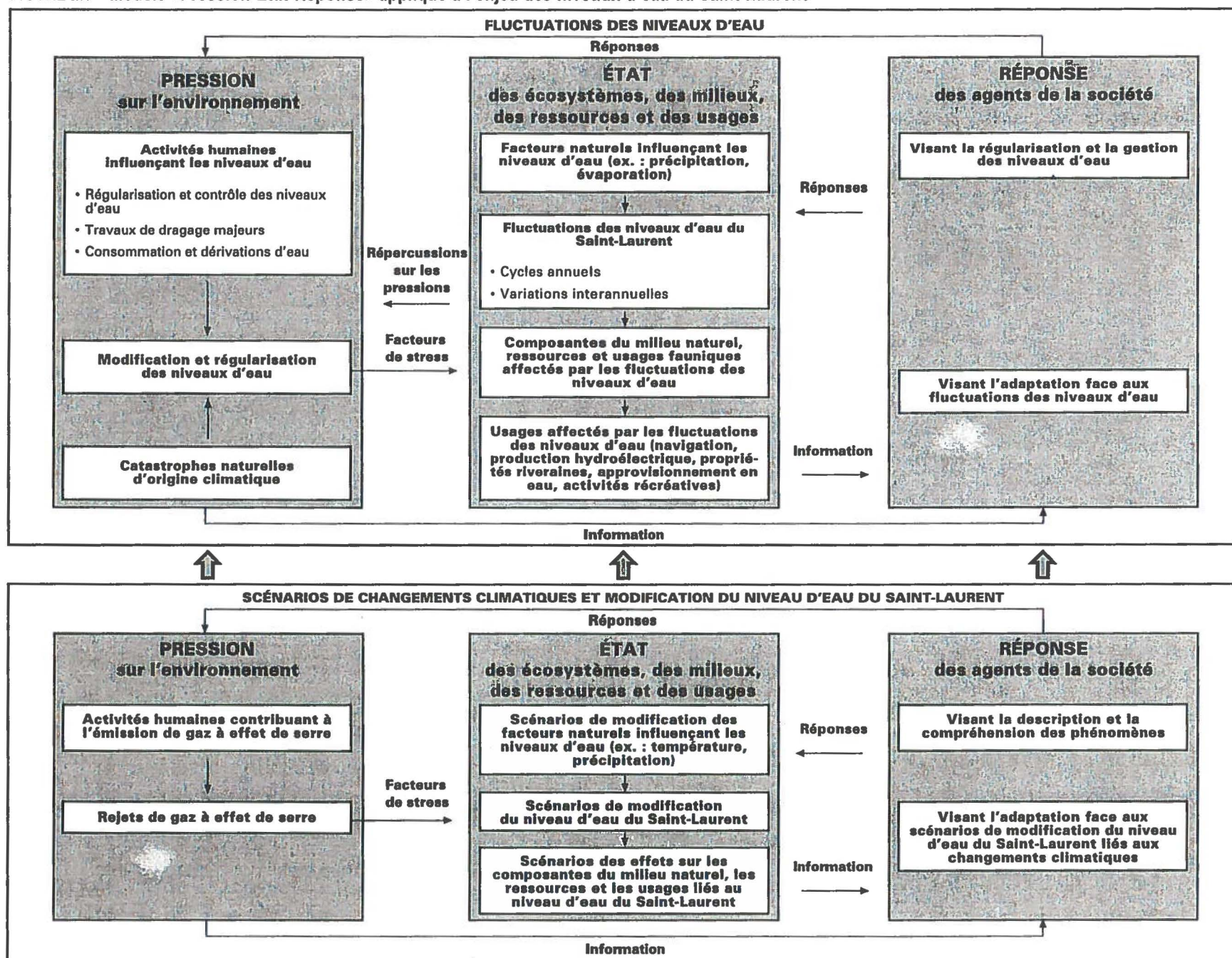
L'analyse commence par une description des composantes d'État, c'est-à-dire les niveaux d'eau dans les différents tronçons du Saint-Laurent et leurs fluctuations historiques (saisonniers et interannuelles). Ces composantes sont ensuite rattachées à des problématiques concrètes par une discussion des effets sur les usages et sur les composantes naturelles du milieu. La notion de critères d'interprétation pour les différents usages y est discutée, de même que les conflits d'usages et l'importance du synchronisme des niveaux d'eau propices à la réalisation des usages. Les principaux facteurs naturels et anthropiques influençant les niveaux d'eau sont ensuite traités de façon à identifier ceux qui ont une influence déterminante sur les niveaux d'eau et les différents usages. L'analyse est complétée par la description des réponses relatives aux niveaux d'eau et leurs fluctuations, c'est-à-dire les actions ou interventions réalisées pour gérer les niveaux d'eau du Saint-Laurent ou encore pour s'adapter aux fluctuations de ces niveaux. Enfin, les changements climatiques globaux sont traités séparément, puisqu'ils représentent une problématique se situant à une autre échelle, tant spatiale que temporelle. Le traitement de l'enjeu se termine par une synthèse permettant d'obtenir une vue d'ensemble et d'évaluer les pertes ou les gains environnementaux associés aux fluctuations des niveaux d'eau du Saint-Laurent.

2.2 Fluctuations actuelles et passées des niveaux d'eau du Saint-Laurent

2.2.1 L'état des niveaux d'eau et des fluctuations historiques

Pour chaque secteur du Saint-Laurent, les fluctuations historiques ainsi que la moyenne historique du niveau d'eau dans le système de référence SRIGL 1985 sont examinées. Pour ce faire, les données du réseau de stations limnimétriques et marégraphiques du Saint-Laurent sont utilisées (base de données SDMM – Service des données sur le milieu marin; MPO, 1997). L'analyse des facteurs responsables de ces fluctuations et les causes du changement de régime hydrologique seront présentées à la section 2.2.3.

FIGURE 2.1 Modèle «Pression-État-Réponse» appliqué à l'enjeu des niveaux d'eau du Saint-Laurent



2.2.1.1 *Variations interannuelles des niveaux d'eau*

Seules les données des stations du réseau RPENE jugées les plus représentatives aux fins du présent rapport sont examinées. Les stations retenues sont celles de : Coteau-Landing, du Port de Montréal (jetée n° 1), de Pointe-Claire, Sorel, Neuville, Pointe-au-Père et Sept-Îles¹⁷. La localisation de ces stations est indiquée sur la figure 2.2.

SECTEUR DU TRONÇON FLUVIAL

L'historique des niveaux d'eau à Coteau-Landing (station représentative du lac Saint-François) est présenté à la figure 2.3 pour les années 1919 à 1995. Cette figure indique le niveau moyen annuel pour les douze mois de l'année, ainsi que les niveaux mensuels minimums (niveau d'étiage) et maximums (niveau de crue). La moyenne historique des niveaux d'eau est proche de 46,4 m dans le système SRIGL 1985 à cette station.

L'analyse de la figure 2.3 montre que depuis les 30 dernières années environ, les niveaux d'eau se sont stabilisés au-dessus de la moyenne historique, et le niveau moyen mensuel le plus bas (niveau d'étiage) est toujours largement supérieur au niveau d'eau minimum garanti pour la navigation maritime. La fourchette des fluctuations saisonnières et interannuelles est largement réduite par rapport à la période correspondant à la première moitié du vingtième siècle. Ce changement de régime hydrologique démontre le passage d'un état naturel à celui de bassin fortement régularisé en ce qui concerne le lac Saint-François.

À la station du Port de Montréal (figure 2.5), un changement considérable s'est également produit depuis environ 30 ans. En effet, les fluctuations saisonnières et interannuelles ont diminué de façon notable durant cette période (1968-1995) par rapport à la première moitié du vingtième siècle. À Pointe-Claire (figure 2.4) et à Sorel (figure 2.6), les changements du régime hydrologique sont moins prononcés qu'aux deux stations précédentes, et l'on observe une baisse d'amplitude des fluctuations saisonnières substantiellement plus faible que celles enregistrées à Coteau-Landing ou au Port de Montréal.

L'examen des fluctuations des niveaux d'eau depuis le début du siècle (figures 2.3 à 2.6) montre clairement l'influence de la régularisation sur les niveaux d'eau à différentes stations du tronçon fluvial. Cette influence, qui est plus ou moins prononcée selon la station considérée, est attribuable, outre les facteurs naturels, à la construction du barrage Moses-

¹⁷ La représentativité d'une station a été établie en tenant compte de la position géographique de la station, de la longueur de la période d'observation et de l'importance des phénomènes régionaux impliqués (hydrologiques, socio-économiques et écologiques) à la station. Par exemple, la station du Port de Montréal est retenue en raison de l'importance socio-économique de ce port et de la longue durée de la série chronologique des niveaux d'eau (données disponibles à partir de 1913), alors que celles de Sorel et Coteau-Landing sont retenues pour leur proximité avec les milieux humides des lacs Saint-Pierre et Saint-François respectivement.

Saunders (1958), l'achèvement de la Voie maritime du Saint-Laurent (1959), l'adoption du plan de régularisation 1958-D par la Commission mixte internationale (1963) et l'absence de couvert de glace depuis le début de la navigation hivernale dans le chenal de navigation en 1968.

AUTRES SECTEURS

Dans les autres secteurs du fleuve (estuaire fluvial, moyen estuaire, estuaire maritime et golfe), la régularisation des débits effectuée en amont affecte peu le niveau d'eau. À la station de Neuville (représentative de l'estuaire fluvial), les niveaux d'eau moyens ainsi que les fluctuations annuelles et interannuelles n'ont pas été modifiés de façon substantielle durant les 30 dernières années (figure 2.7). À Pointe-au-Père (station représentative de l'estuaire maritime, où la cueillette des données a été arrêtée en 1983, et la station de Rimouski-Est a pris la relève pour la mesure des niveaux d'eau de ce secteur), on retrouve une situation similaire (figure 2.8). Le niveau d'eau dans le système SRIGL 1985 est à peu près égal à zéro à cette station, ce qui est consistant avec sa position géographique, qui est proche de celle qui sert d'origine au système SRIGL 1985, soit Rimouski-Est. Par ailleurs, l'examen des séries chronologiques des stations du golfe du Saint-Laurent montre une tendance légèrement à la hausse des niveaux d'eau sur une période de cent ans (El-Sabh et Murty, 1993).

2.2.1.2 Cycle annuel des niveaux d'eau (variations saisonnières)

Les figures 2.9A et 2.9B montrent le cycle annuel ou saisonnier des niveaux d'eau pour différentes stations le long du Saint-Laurent. On y observe des régimes forts différents associés aux deux grands secteurs du Saint-Laurent, soit la portion fluviale (tronçon et estuaire fluvial) et la portion maritime (estuaire maritime et golfe). Dans le premier cas, les variations saisonnières sont fortement dépendantes des apports d'eau douce des différents affluents. Le maximum printanier des niveaux d'eau est caractéristique du milieu riverain (dégel printanier). La diminution du niveau durant l'été et le minimum en septembre est dû à l'apport en eau plus faible des affluents (précipitations totales moindres en été) et à une augmentation de l'évaporation durant la saison estivale. La plupart des stations illustrées à la figure 2.9A présentent des cas classiques de ce type de régime. La station de Coteau-Landing constitue cependant une exception. En effet, le niveau d'eau y est presque constant tout au long de l'année, et on n'y observe pratiquement pas de cycle saisonnier.

FIGURE 2.2 Localisation des stations limnimétriques sélectionnées

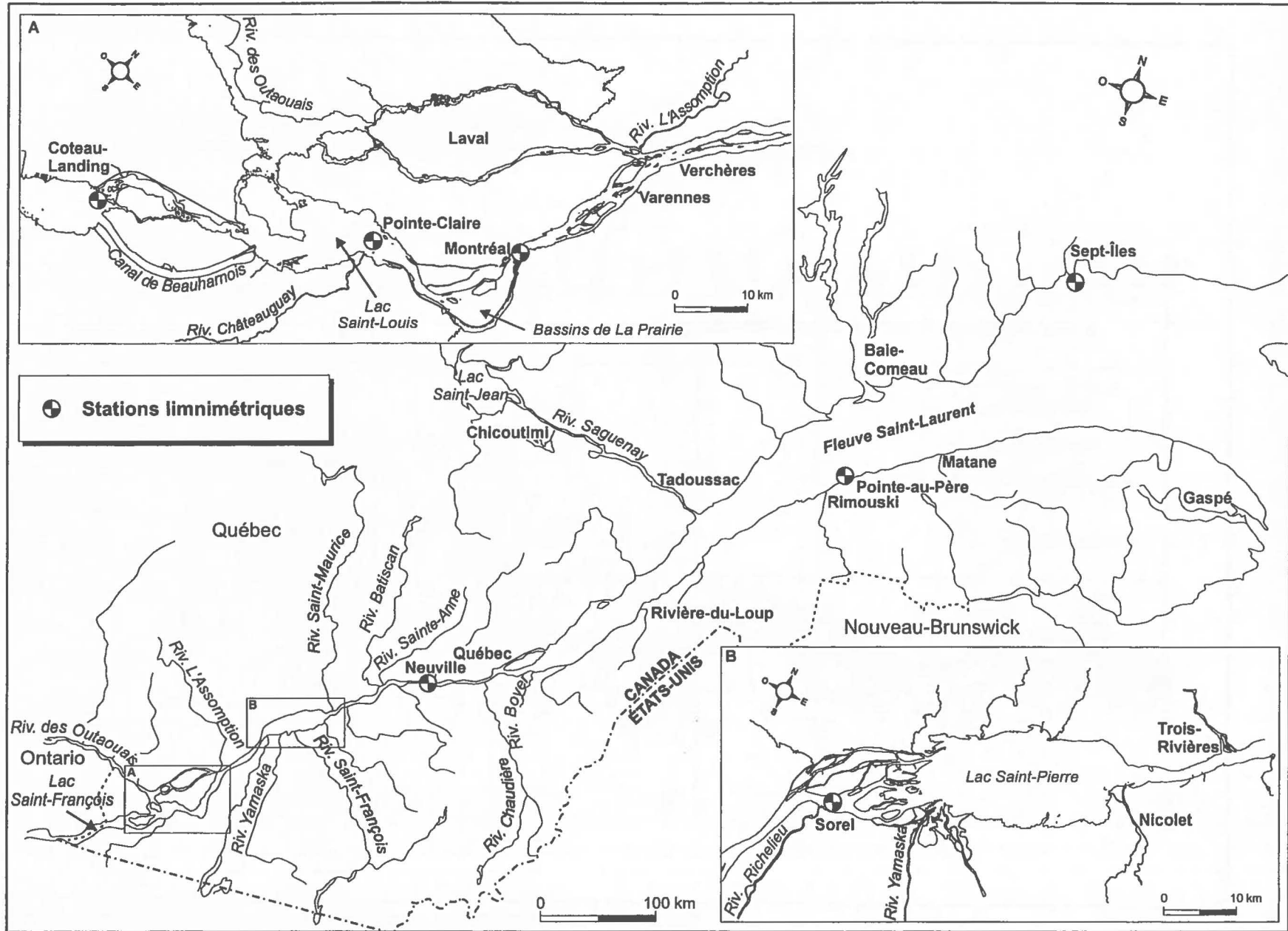
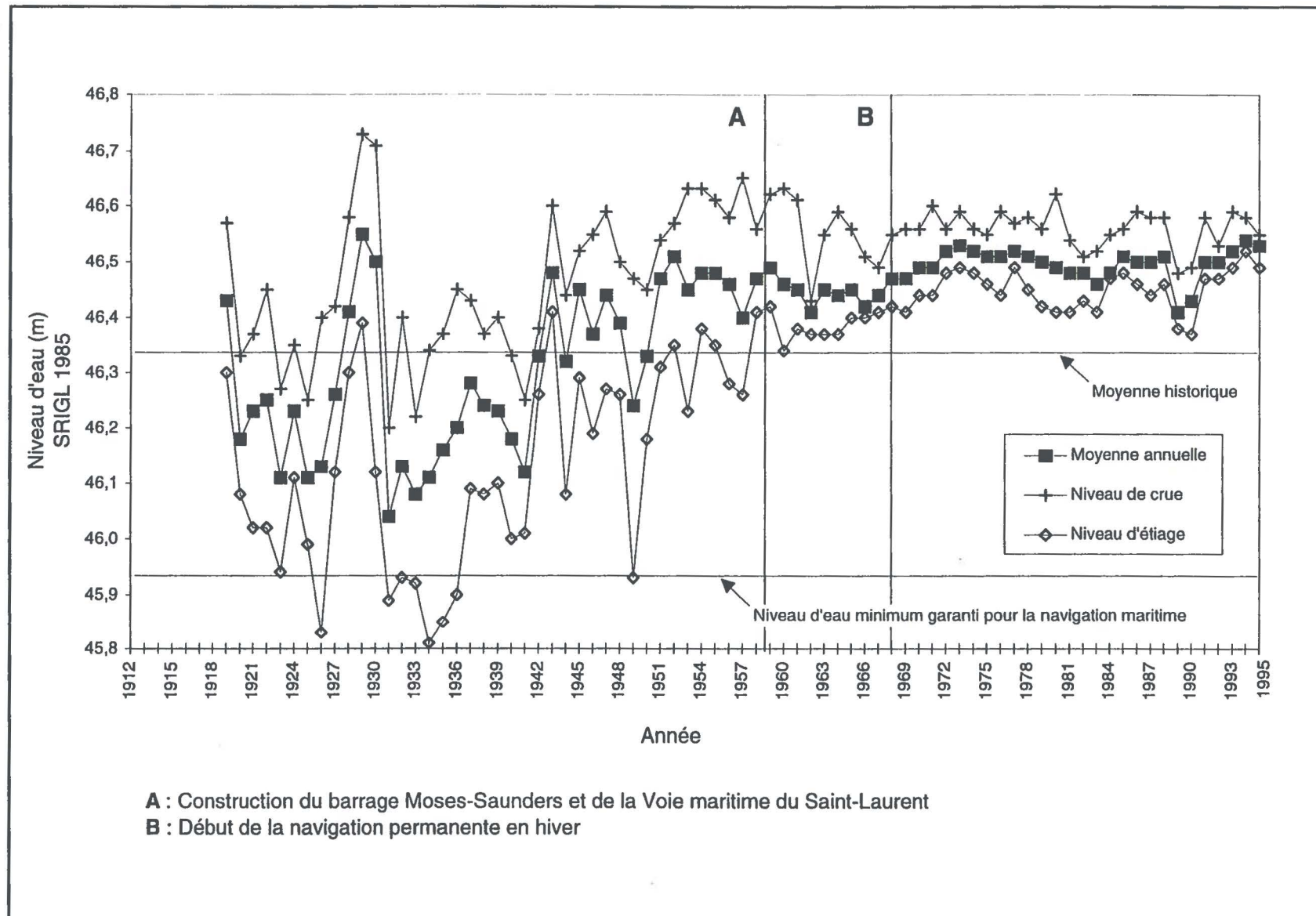
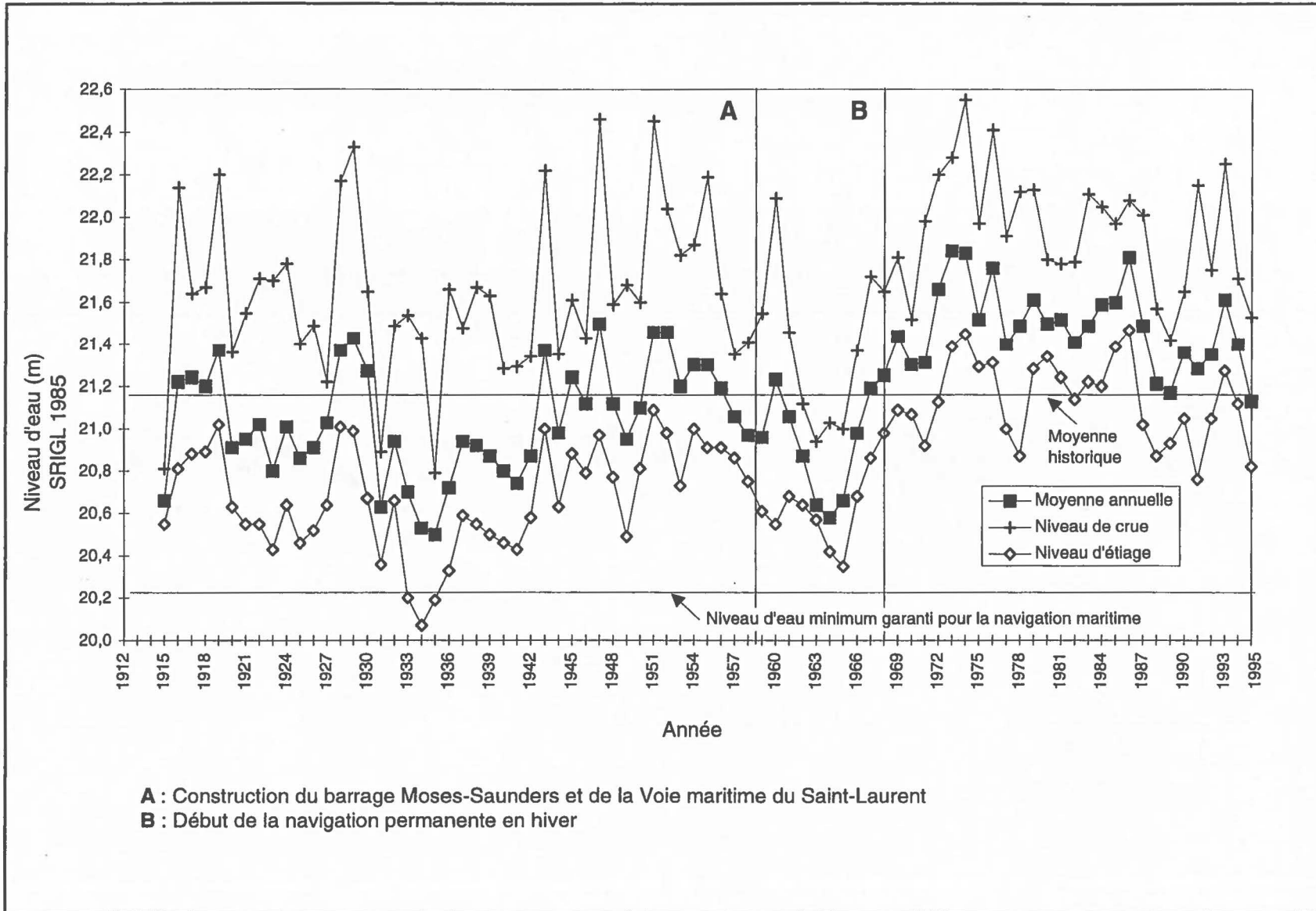


FIGURE 2.3 Niveaux d'eau moyens annuels à la station de Coteau-Landing entre 1919 et 1995



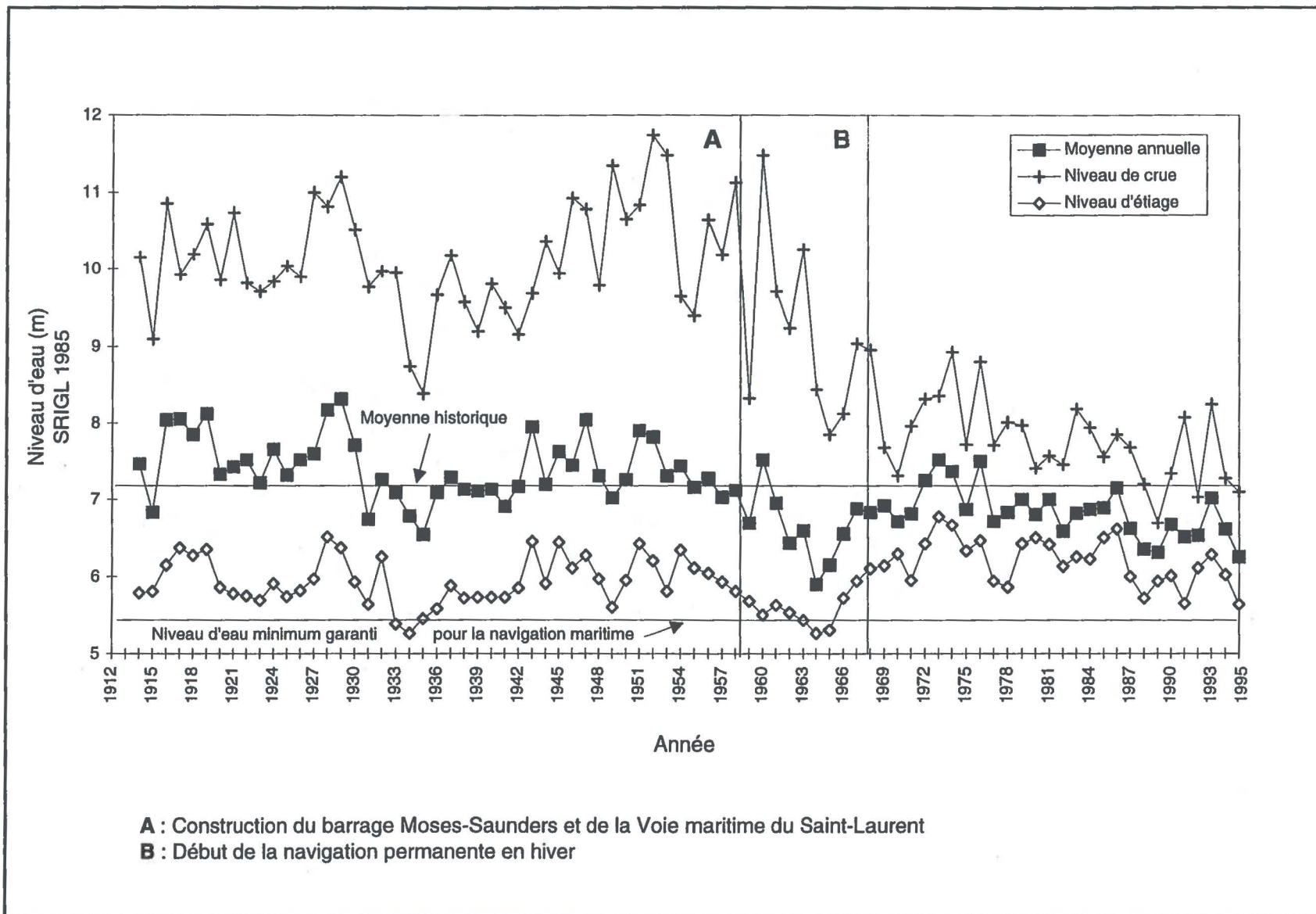
Source : À partir des données de MPO, 1997.

FIGURE 2.4 Niveaux d'eau moyens annuels à la station de Pointe-Claire entre 1915 et 1995



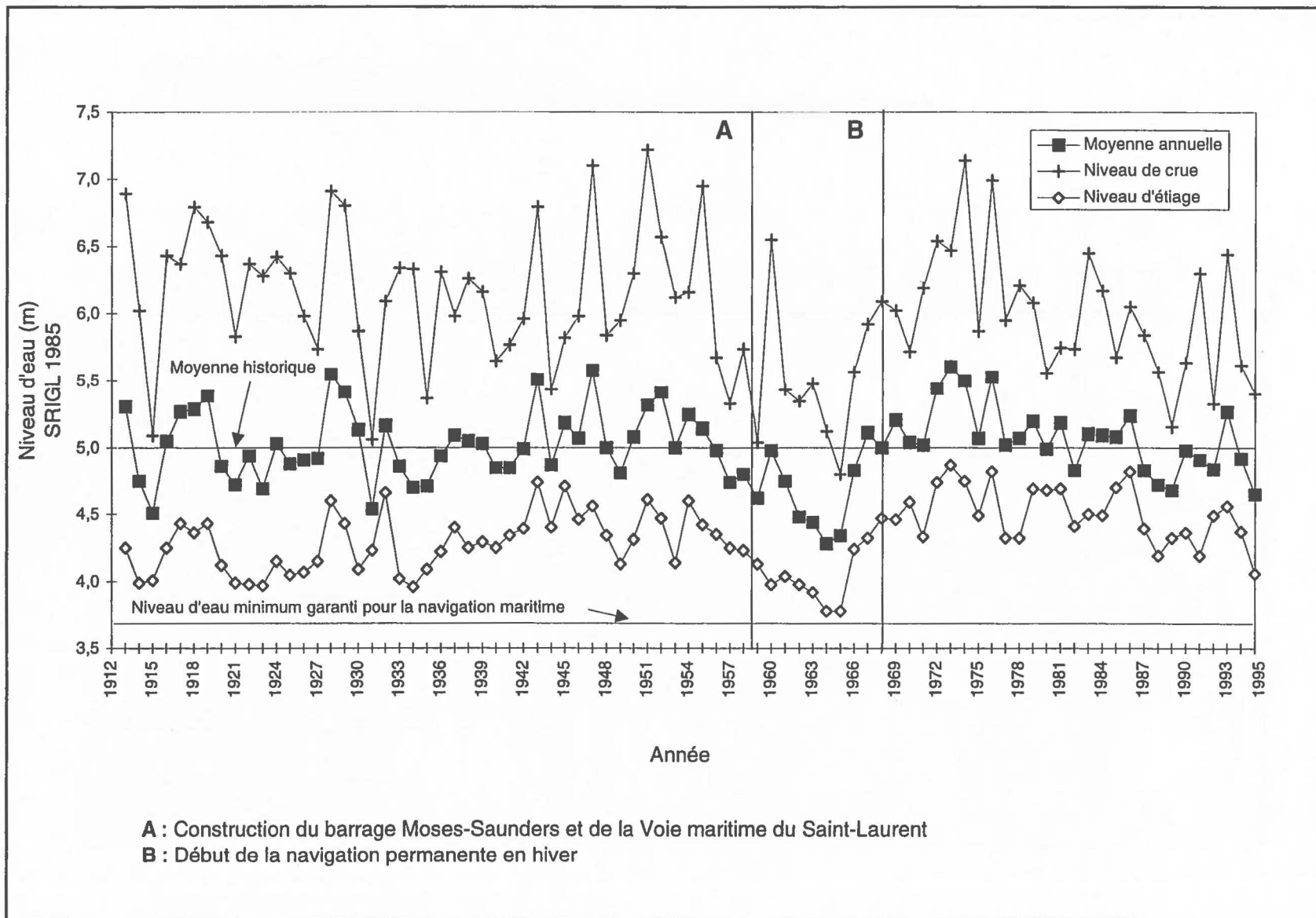
Source : À partir des données de MPO, 1997.

FIGURE 2.5 Niveaux d'eau moyens annuels à la station du Port de Montréal, jetée no 1, entre 1913 et 1995



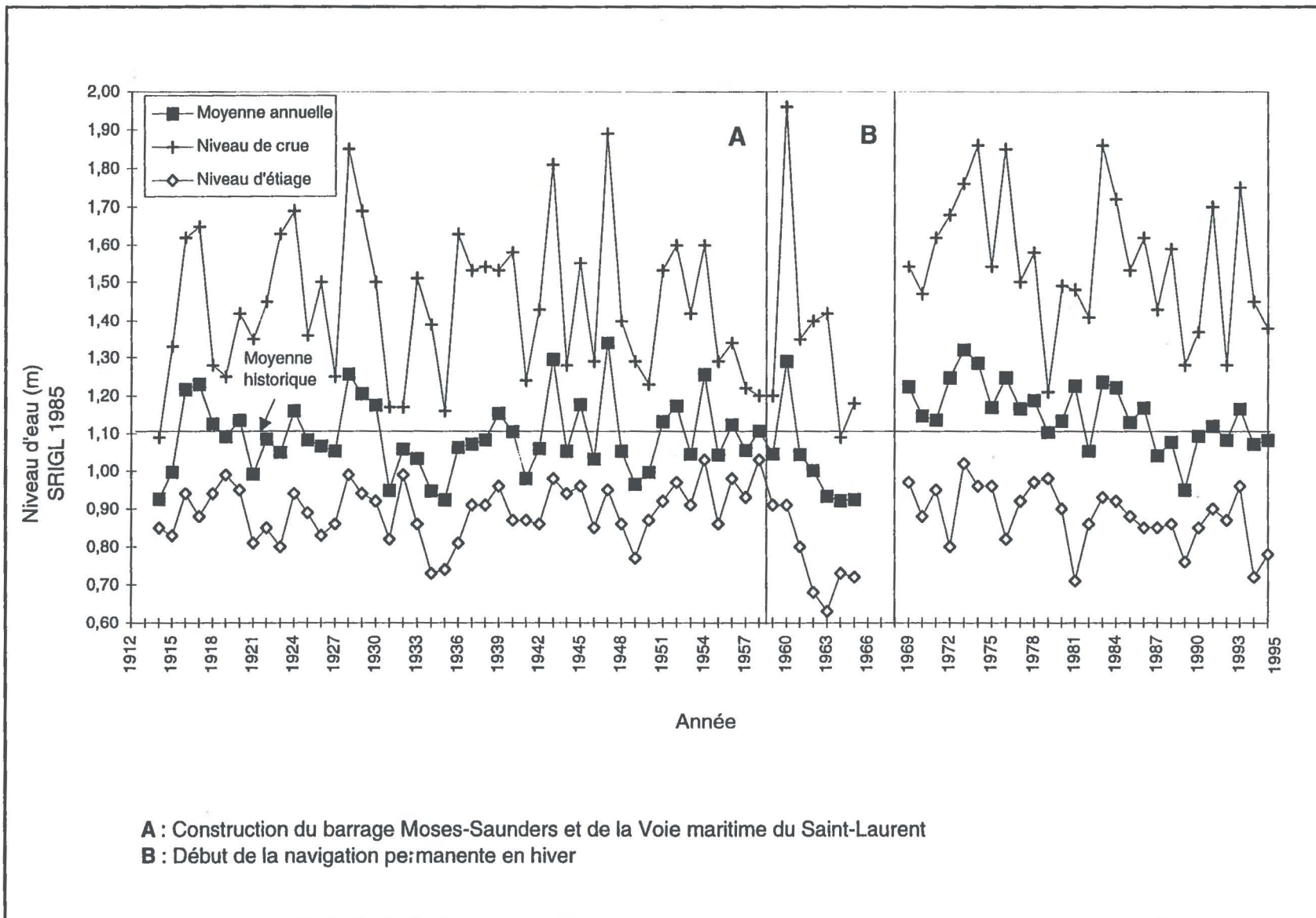
Source : À partir des données de MPO, 1997.

FIGURE 2.6 Niveaux d'eau moyens annuels à la station de Sorel entre 1912 et 1995



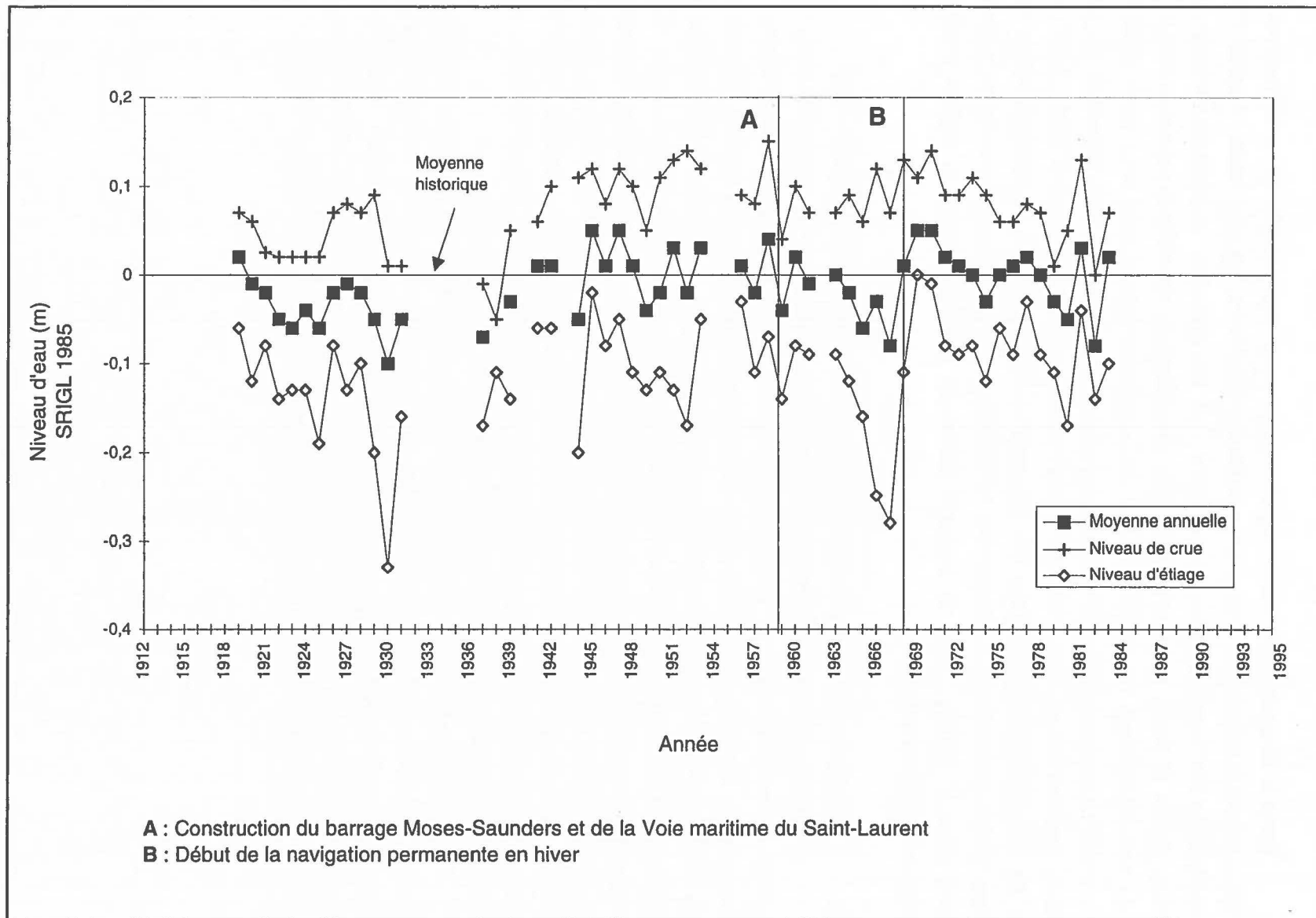
Source : À partir des données de MPO, 1997.

FIGURE 2.7 Niveaux d'eau moyens annuels à la station de Neuville entre 1914 et 1995



Source : À partir des données de MPO, 1997.

FIGURE 2.8 Niveaux d'eau moyens annuels à la station de Pointe-au-Père entre 1919 et 1983



Source : À partir des données de MPO, 1997.

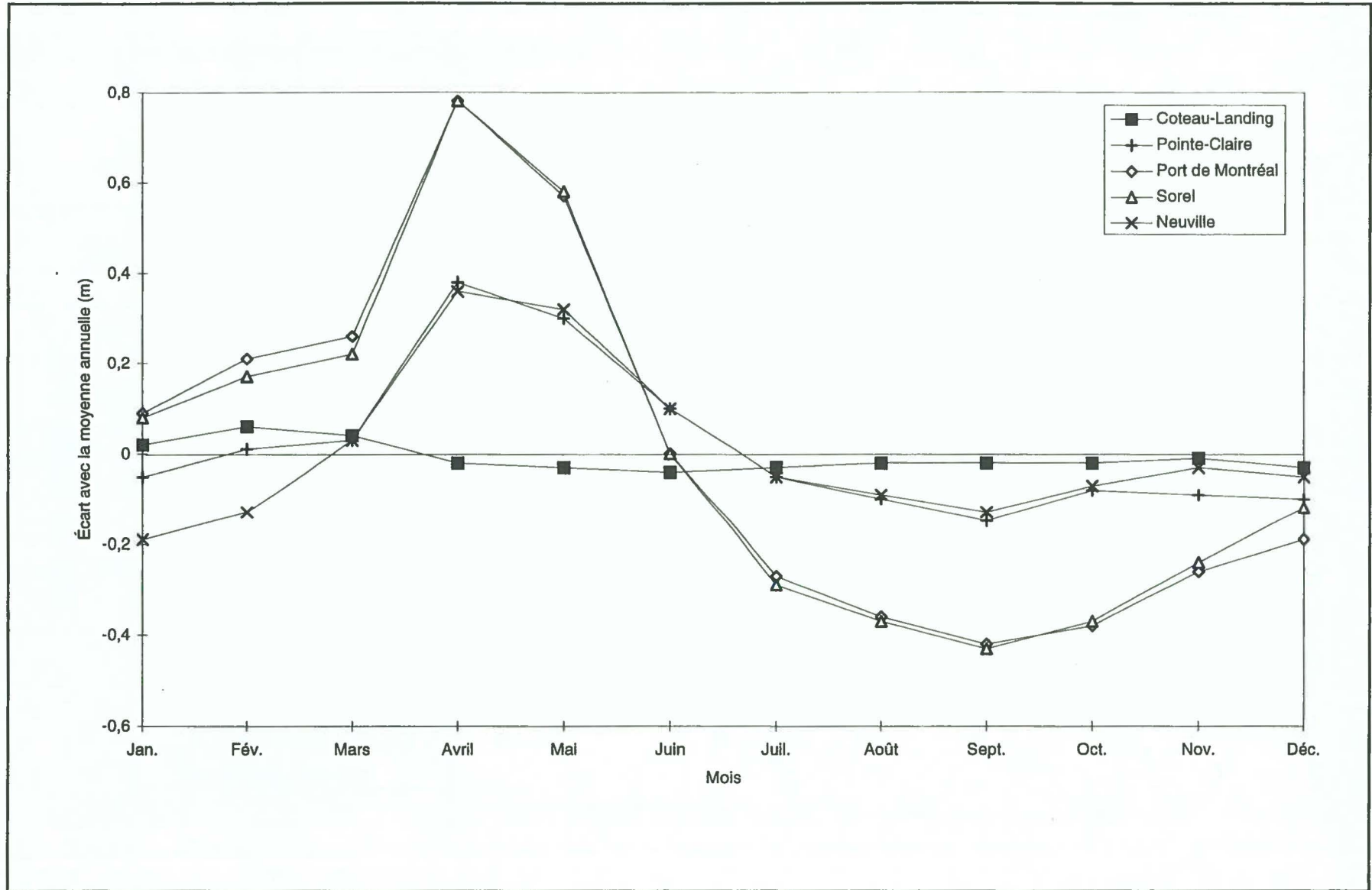
Dans le secteur de l'estuaire maritime et du golfe (figure 2.9B), on retrouve d'autres types de régimes. À Harrington Harbour, sur la Basse-Côte-Nord, les plus hauts niveaux d'eau sont enregistrés en automne et en hiver alors que les plus bas niveaux surviennent au printemps. Selon El-Sabh et Murty (1993), les changements de pression atmosphérique et l'effet du vent contribuent, du moins en partie, aux variations saisonnières dans cette partie du Saint-Laurent. Les tempêtes plus fréquentes de septembre à décembre dans le secteur du golfe produisent donc un niveau d'eau plus élevé durant cette période (Robichaud et Bégin, 1997). La station de Harrington Harbour illustre bien ce régime. Plus en amont, à Pointe-au-Père et à Sept-Îles, on retrouve les niveaux maximum en été. Ces deux stations représentent des cas de transition entre le régime fluvial de la partie amont du Saint-Laurent et le régime maritime observé à Harrington Harbour.

2.2.1.3 *Cyclicité et synchronisme des fluctuations interannuelles des niveaux d'eau*

Dans le secteur du tronçon fluvial, les séries chronologiques de niveau d'eau aux différentes stations dénotent un certain synchronisme spatial pour la première moitié du vingtième siècle. Par exemple, les épisodes de bas niveaux du milieu des années 1920 et des années 1930, ainsi que les hauts niveaux observés vers 1930 et de 1943 à 1957 se retrouvent à toutes les stations. Suite à la construction des infrastructures de régularisation (après 1959), seules les stations de Pointe-Claire et de Sorel présentent des niveaux dont les fluctuations sont synchrones; les épisodes de bas niveaux vers le milieu des années 1960 et les hauts niveaux de 1970 à 1986 se retrouvent à ces deux stations avec une amplitude semblable. Quant aux fluctuations observées aux stations de Coteau-Landing et du Port de Montréal, elles sont modifiées par les effets anthropiques depuis le début des années 1960.

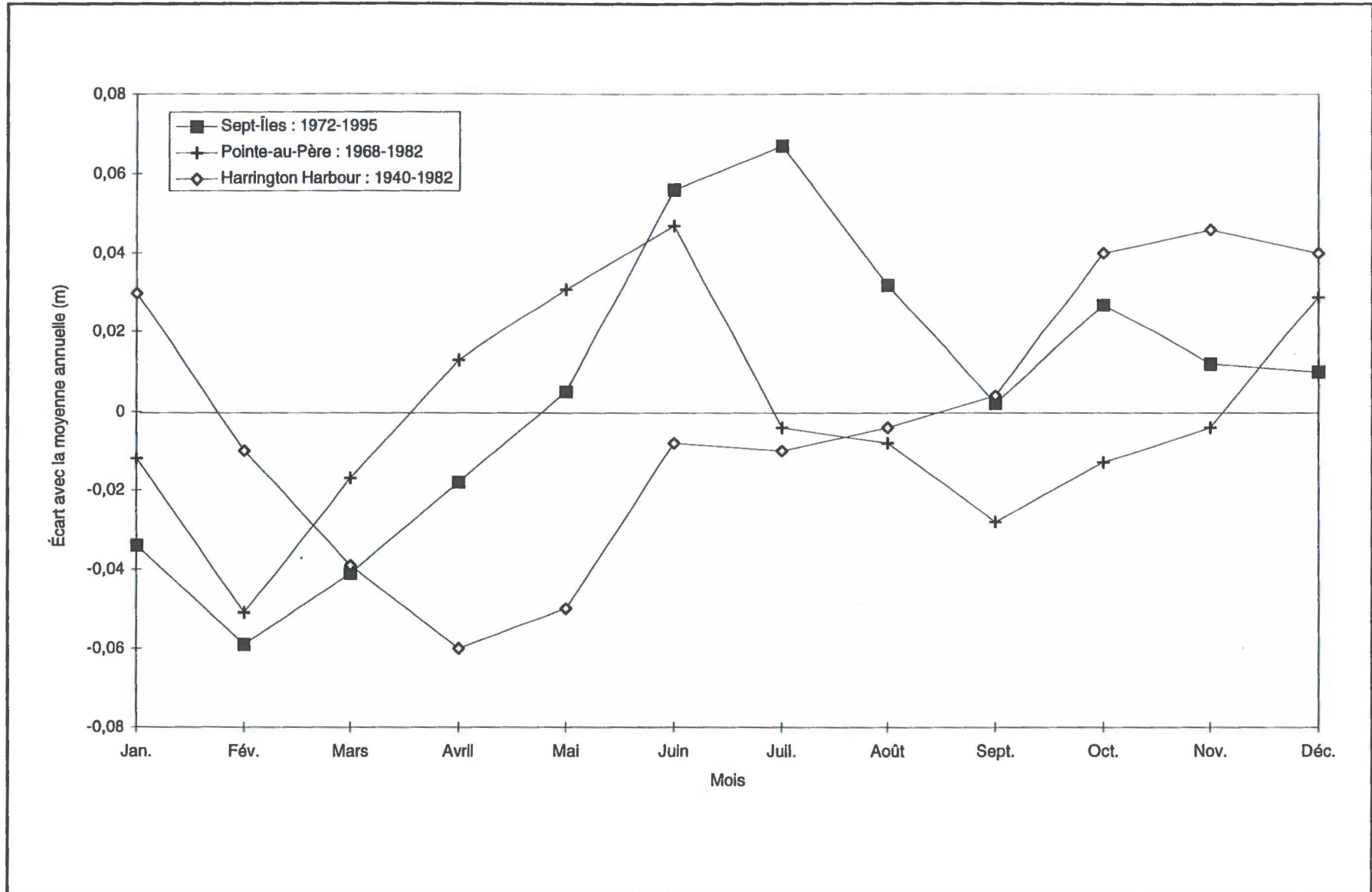
En ce qui concerne les débits, Morin et Leclerc (1997) rapportent que les périodes sèches avec de faibles hydraulicités ont eu lieu en 1925, 1935 et 1965 au lac Saint-François. Historiquement, le plus faible débit mensuel, (4500 m³/s) a été enregistré en 1935. Les épisodes de très fortes hydraulicités ont été enregistrées en 1930, 1955 et 1975. Le plus fort débit moyen mensuel à cet endroit (10 012 m³/s) a été mesuré en mai 1993 (Morin et Leclerc, 1997).

FIGURE 2.9A Cycle annuel des niveaux d'eau dans le tronçon et l'estuaire fluvial entre 1968 et 1995



Source : À partir des données de MPO, 1997.

FIGURE 2.9B Cycle annuel des niveaux d'eau dans l'estuaire maritime et le golfe



Sources : À partir des données de MPO, 1997; El-Sabh et Murty, 1993.

La période 1972-1976 a été particulièrement inhabituelle sur le Saint-Laurent avec des hauts niveaux qui, combinés avec la forte crue de la rivière des Outaouais, ont causé des inondations généralisées, surtout dans la région de Montréal. Plus récemment, les années 1995 et 1996 ont présenté des écarts importants : bas niveaux d'eau¹⁸ en 1995 et niveaux au-dessus de la moyenne dans le secteur du tronçon fluvial en 1996.

Les figures 2.3 à 2.8 montrent de très longs cycles de quelques décennies dans les séries chronologiques des niveaux d'eau. Cette observation est consistante avec d'autres études où l'on mentionne un cycle naturel variant entre 20 et 30 ans. D'abord, Liu (1970) suggère la présence d'un cycle d'environ 27 ans pour le niveau d'eau des Grands Lacs. De façon similaire, Cohn et Robinson (1975) ont trouvé un cycle de 22 ans en ce qui concerne les niveaux d'eau du lac Ontario. Enfin, Chanut *et al.* (1988) ont identifié une composante périodique de 25 ans dans les séries chronologiques de niveaux d'eau de la station de Trois-Rivières. On note donc que les cycles présents dans les données de niveau d'eau du Saint-Laurent sont en accord synchrone avec ceux des niveaux d'eau des Grands Lacs. En ce qui concerne les débits, Morin (1997) indique une cyclicité naturelle de 20 à 35 ans dans le secteur du lac Saint-François.

¹⁸ Au printemps et à l'été 1995, plusieurs records mensuels de bas niveaux (pour la période 1967-1995) ont été atteints ou établis à la station du Port de Montréal (Environnement Canada, 1995).

2.2.1.4 Synopsis

TABLEAU 2.1

Sommaire des fluctuations des niveaux d'eau du Saint-Laurent

SECTEUR	STATION	OBSERVATIONS
Tronçon fluvial	Coteau-Landing	Les niveaux d'eau se sont stabilisés au-dessus de la moyenne historique depuis le début des années 1960. Les fluctuations saisonnières et interannuelles ont grandement diminué depuis ce temps.
	Pointe-Claire	Les fluctuations saisonnières sont moins fortes pour la période récente (1968-1995) que pour la première moitié du vingtième siècle. De hauts niveaux d'eau ont persisté de 1970 à 1986. L'atténuation du régime des fluctuations du niveau d'eau depuis les années 1960 est beaucoup moins évidente à cette station qu'à Coteau-Landing.
	Port de Montréal	Un changement majeur du régime hydrologique est noté depuis les années 1960 : l'amplitude des fluctuations saisonnières a grandement diminué.
	Sorel	Les fluctuations sont similaires à celles de la station de Pointe-Claire : le changement de régime depuis les années 1960 est moins évident qu'à Coteau-Landing. Les fluctuations saisonnières sont moins fortes pour la période récente (1968-1995) que pour la première moitié du vingtième siècle. De hauts niveaux d'eau ont persisté de 1970 à 1986.
Estuaire fluvial	Neuville	Peu de changements importants dans le régime de fluctuations du niveau d'eau au cours du vingtième siècle.
Estuaire maritime et golfe	Pointe-au-Père	Aucun changement de régime hydrologique apparent. Tendence à long terme des niveaux d'eau à la hausse, surtout dans le golfe.

Commentaires

- Dans le Saint-Laurent, le secteur du lac Saint-François est celui qui présente les plus grands changements du régime hydrologique entre la première moitié du vingtième siècle et la période 1968-1995.
- On observe des épisodes de bas niveaux d'eau à toutes les stations du tronçon fluvial vers le milieu des années 1930 et des années 1960 et des hauts niveaux persistants de 1970 à 1986.
- Des cycles naturels de 20 à 30 ans dans les niveaux d'eau du bassin Grands Lacs-Saint-Laurent ont été rapportés par plusieurs auteurs.
- Le cycle saisonnier présente un niveau d'eau maximum au printemps (associé à la fonte des neiges) et minimum en été pour le tronçon fluvial et l'estuaire fluvial. Dans l'estuaire maritime et le golfe, le cycle saisonnier est fort différent. Il présente un maximum durant les mois d'hiver et un minimum au printemps.

2.2.2 Effets des fluctuations des niveaux d'eau du Saint-Laurent

La section précédente a montré que les fluctuations interannuelles et saisonnières des niveaux d'eau sont importantes dans le Saint-Laurent. Les hautes eaux et les basses eaux extrêmes ou prolongées, qu'elles soient causées par des facteurs naturels ou anthropiques, peuvent avoir des effets plus ou moins bénéfiques sur les usages du Saint-Laurent et les composantes du milieu. L'évaluation de ces effets constitue le cœur de l'enjeu et est présentée dans cette section.

2.2.2.1 *Effets sur les usages*

USAGES ANTHROPIQUES

Propriétés riveraines

Les hautes eaux peuvent provoquer des inondations tout le long des rives du Saint-Laurent. Historiquement, c'est dans le secteur de Montréal que les inondations ont le plus affecté les propriétés riveraines (Andrews, 1993; Comité sur la régularisation des eaux, 1976). En effet, l'urbanisation rapide de la région de Montréal a poussé de plus en plus la banlieue vers des régions qui étaient jusqu'alors réservées à l'agriculture. De plus, la transformation de résidences secondaires en résidences permanentes a aussi augmenté l'urbanisation le long des rives du Saint-Laurent dans ce secteur. Ces deux facteurs ont contribué à l'augmentation significative des problèmes causés par les hautes eaux le long des rives des lacs Saint-Louis et des Deux Montagnes ainsi que des rivières des Prairies et des Mille Îles (Comité sur la régularisation des eaux, 1976). En d'autres mots, les problèmes liés aux inondations ont grandi avec l'étalement urbain qui a envahi peu à peu la plaine de débordement des rivières et des lacs du territoire. La région de Montréal est ainsi devenue vulnérable aux débordements printaniers du fleuve Saint-Laurent et de la rivière des Outaouais. Lorsque les crues de ces deux cours d'eau coïncident, la régularisation des niveaux d'eau devient particulièrement difficile. Ceci s'est produit à de nombreuses reprises dans les années 1970 (1972, 1973, 1974 et 1976) et 1980 (1981, 1983 et 1986).

Le secteur de Montréal a été particulièrement touché par d'importantes inondations entre 1970 et 1976. Les zones les plus touchées ont été les rives du lac Saint-Louis (rive nord de l'île Perrot, l'île Saint-Bernard et certains secteurs de Châteauguay, Léry et Maple Grove, secteur des îles de la Paix), du lac des Deux Montagnes (Pointe-Calumet, Sainte-Marthe-sur-le-Lac), de la rivière des Mille Îles (Saint-Eustache, Sainte-Thérèse-Ouest, Laval-Ouest, Rosemère, Bois-des-Filions et Terrebonne) et de la rivière des Prairies (Roxboro, Sainte-Geneviève, Pierrefonds et Laval-sur-le-Lac) (Comité sur la régularisation des eaux, 1976).

En plus de causer des pertes matérielles importantes, les inondations diminuent les possibilités d'utilisation du sol, limitent la mise en valeur commerciale des territoires et augmentent les coûts d'assurance (Éconosult, 1986). Les périodes de récurrence de 2, 5, 20 et 100 ans peuvent être utilisées comme balises pour déterminer le risque associé à la présence ou non d'inondations. À la suite des inondations de 1974, on a estimé que les coûts d'indemnisation correspondant à des crues ayant des périodes de retour de 2, 5 et 20 ans

étaient d'environ 0, 6 et 11 millions de dollars¹⁹ pour l'ensemble des zones inondables de la région de Montréal (Comité sur la régularisation des eaux, 1976).

La figure 2.10 présente une carte des zones d'inondation désignées par la Convention Canada-Québec le long du Saint-Laurent. La région du lac Saint-François est exclue car la zone inondable à cet endroit est relativement peu importante (Jourdain *et al.*, 1994b). De plus, il n'existe que peu de risque élevé d'inondation à cet endroit, compte tenu du plan de régularisation (Plan 1958-D) et des ouvrages de contrôle à l'amont et en aval du lac. Quant au reste du tronçon fluvial, les crues anormalement élevées de la rivière des Outaouais sont responsables des inondations au nord de l'île de Montréal alors que les inondations au lac Saint-Louis sont causées par des crues anormales de la rivière des Outaouais combinées à des hauts niveaux du Saint-Laurent. Ailleurs en province, le long du Saint-Laurent, c'est dans les régions du lac Saint-Pierre et de Québec que la problématique est la plus importante. Sur certains affluents, notamment la rivière Bécancour, les inondations sont provoquées par des facteurs combinés et liés au fleuve. Par exemple, des marées et des vents forts en direction du nord-ouest provoquent un refoulement des glaces au printemps dans la rivière Bécancour et occasionnent des inondations à l'embouchure de cet affluent (Bergeron, 1995).

Les hauts niveaux d'eau constituent une menace aux propriétés riveraines, mais également à la sécurité publique. Les hautes eaux entraînent aussi un problème d'érosion des rives. En effet, l'érosion des propriétés riveraines est probablement le problème le plus commun du bassin Grands Lacs-Saint-Laurent et le plus souvent rapporté aux audiences publiques de la Commission mixte internationale. Au lac Ontario, par exemple, des riverains américains rapportent qu'une montée de 30 cm du niveau du lac contribue à l'érosion d'une bande de rivage d'environ 6 m (CICFSL, 1997b).

NAVIGATION COMMERCIALE

Les changements technologiques des 30 dernières années ont modifié l'industrie du transport maritime de façon significative. Par exemple, les porte-conteneurs desservant Montréal atteignent aujourd'hui 2500 EVP²⁰ plutôt que 1800 EVP avant 1992 (Paquin, 1997). L'apparition des conteneurs et l'augmentation du tonnage des navires demandent des profondeurs plus grandes du chenal de navigation. En vertu du *Protocole d'entente de 1992* (section 2.2.4), la hauteur d'eau garantie pour le maintien de la navigation commerciale dans le chenal de navigation est maintenant de 11,0 m. La Garde côtière canadienne est responsable

¹⁹ Calculé selon la valeur du dollar en 1974.

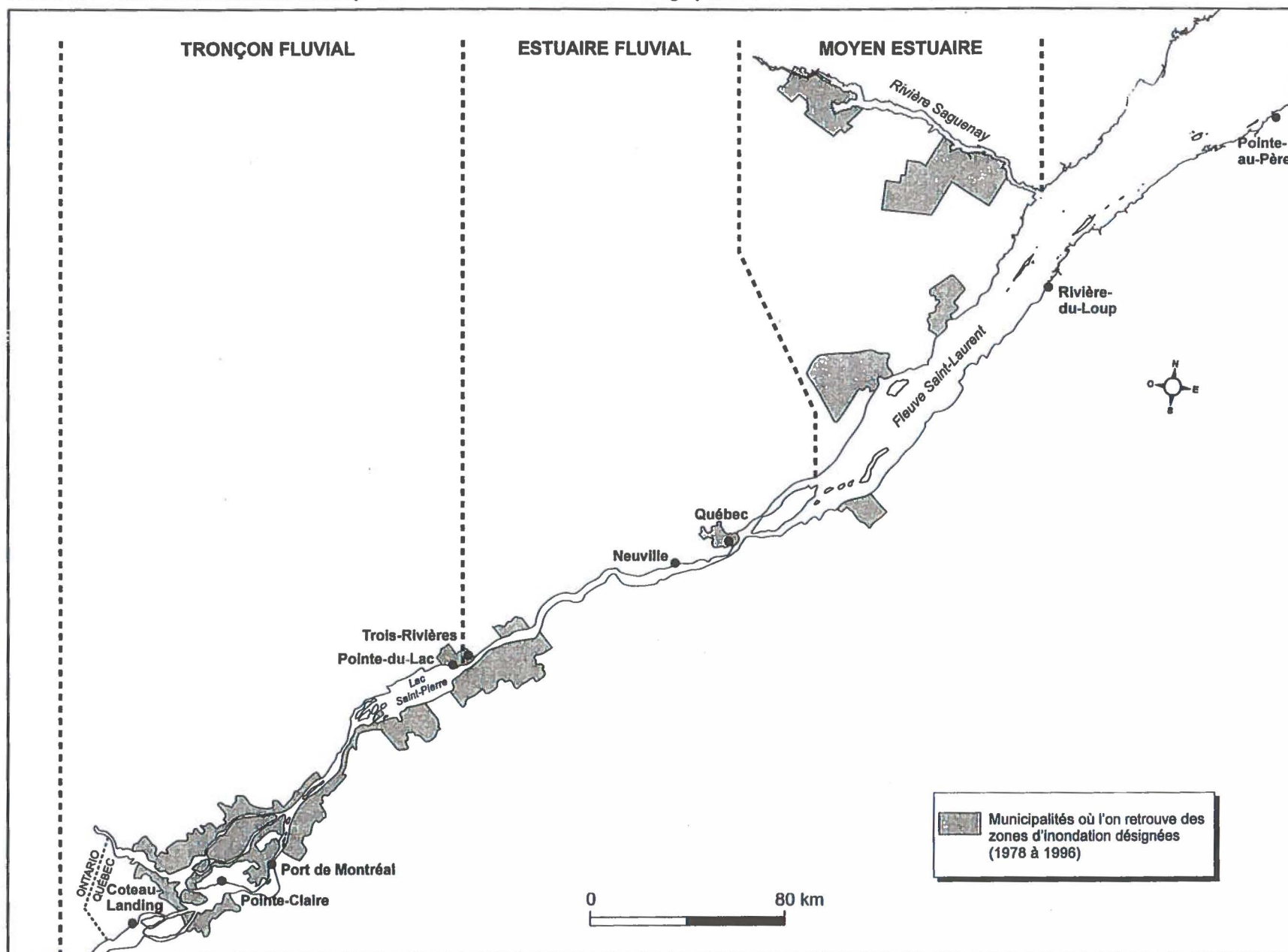
²⁰ EVP signifie l'unité équivalente vingt pieds (Twenty equivalent unit); c'est l'unité de mesure du trafic de conteneurs utilisée pour ramener les conteneurs de différentes dimensions en « équivalent de vingt pieds ».

de l'entretien du chenal pour conserver cette hauteur d'eau, alors qu'un des critères de régularisation du Conseil international de contrôle du fleuve Saint-Laurent vise à ajuster les débits sortant du lac Ontario afin d'assurer des niveaux d'eau adéquats pour la navigation dans le voisinage du port de Montréal. La problématique associée à la navigation n'est donc pas de savoir si le minimum d'eau garanti est respecté ou non. Les données montrent que depuis trente ans, les niveaux moyens mensuels n'ont jamais été au-dessous du niveau minimum garanti. La préoccupation quotidienne des navigateurs n'est pas la hauteur d'eau garantie mais plutôt le niveau d'eau réel et le maximum de cargaison pouvant être transporté à un moment donné.

La navigation commerciale est sensible aux baisses de niveau d'eau car elle exploite au maximum la hauteur d'eau disponible du chenal de navigation (Bergeron, 1995; CMI, 1993). Le secteur le plus critique par rapport aux niveaux d'eau est la portion entre Montréal et Québec. De bas niveaux peuvent se traduire par des charges inférieures à celles transportées normalement alors que des hauts niveaux d'eau permettent aux navires de transporter le maximum de cargaison. Selon Paquin *et al.*, 1993 (cité dans Bergeron, 1995), une meilleure connaissance des niveaux d'eau du chenal maritime aurait pu permettre d'ajouter un potentiel théorique additionnel de 15,6 millions de tonnes entre 1988 et 1991 au port de Montréal. De plus, on a pu établir que chaque baisse de 30 cm du niveau d'eau se traduit par une perte de charge de 114 EVP par bateau, ce qui représente près de 5 p. 100 de la cargaison totale typique d'un porte-conteneurs (Canada Maritime, 1990, cité dans Bergeron, 1995). Certaines compagnies de transport maritime affirment d'ailleurs avoir subi des pertes suite aux bas niveaux enregistrés à la fin des années 1980 (Paquin, 1997). Les bas niveaux de 1995 ont également affecté de nombreux navires commerciaux qui ont été dans l'obligation de décharger une partie de leur cargaison, ou de se rendre dans un port étranger (MPO, 1996). Il va sans dire que dans un tel contexte, plus les niveaux d'eau sont élevés et plus le transport maritime devient rentable (Bergeron, 1995; Lasserre, 1989). Cependant, les débits trop forts associés à des niveaux d'eau trop élevés peuvent rendre la navigation plus difficile, notamment par la présence de courants transversaux (CMI, 1993; Yee *et al.*, 1995).

Puisque les fluctuations des niveaux d'eau affectent la rentabilité économique de la navigation commerciale, de bonnes prévisions des niveaux à court, moyen et long terme sont déterminantes dans la planification du transport maritime. De plus, la connaissance la plus précise possible, du moins à court terme, des niveaux d'eau et des débits permet une meilleure utilisation et une augmentation de la charge des transporteurs maritimes tout en diminuant les risques d'accident. Des mesures ont d'ailleurs été prises à cet effet (section 2.2.4).

FIGURE 2.10 Zones d'inondation des municipalités riveraines du Saint-Laurent cartographiées en vertu de la Convention Canada-Québec



Sources : À partir des données de Gingras et al., 1997c; Convention ..., 1994.

En résumé, les sociétés commerciales de transport maritime subissent donc des pertes ou des gains associés au régime hydrologique du Saint-Laurent. De bas niveaux signifient des charges inférieures pour les transporteurs, à quoi s'ajoutent des conditions de navigation plus difficiles (Bergeron, 1995; LAPEL, 1989). Si les bas niveaux persistent, les armateurs n'ont d'autre choix, en l'absence de nouveaux travaux de dragage, que de se diriger vers un autre port maritime, ce qui entraîne des conséquences économiques importantes pour les villes portuaires du Saint-Laurent. Par exemple, le port de Montréal est en compétition directe avec ceux de New York, Baltimore et Philadelphie et une baisse notable et prolongée des niveaux d'eau pourrait affecter de façon importante l'apport économique du transport maritime à la région de Montréal au profit des compétiteurs. À l'inverse, lorsqu'il y a des hauts niveaux, il y a un transport maximum de cargaison (Bergeron, 1995; CMI, 1993), d'où un apport économique favorable pour le Saint-Laurent.

NAVIGATION DE PLAISANCE

La navigation de plaisance est l'un des axes de développement privilégiés du tourisme lié au Saint-Laurent ces dernières années. Les endroits les plus achalandés sont le lac des Deux Montagnes, le lac Saint-Louis et le fleuve Saint-Laurent entre Montréal et le lac Saint-Pierre. Comme dans le cas de la navigation commerciale, les fluctuations des niveaux d'eau influencent fortement la navigation de plaisance, activité récréative florissante. Dans ce cas cependant, ce sont les infrastructures côtières qui sont les plus sensibles à des changements du niveau d'eau. En effet, des niveaux trop hauts ou trop bas peuvent empêcher certaines catégories d'embarcations de se rendre aux ports de plaisance, d'où une perte de revenus pour les marinas et une perte d'agrément pour les plaisanciers (Bergeron, 1995). Des hauts niveaux peuvent inonder les quais (CMI, 1993; Frenette *et al.*, 1989) alors que des bas niveaux peuvent mettre à sec les rampes de mise à l'eau (Auclair *et al.*, 1991; CMI, 1993). Les bas niveaux peuvent aussi assécher les marinas et rendre la navigation de plaisance difficile et dangereuse sur les lacs Saint-Pierre, Saint-Louis et des Deux Montagnes et impraticable dans les rivières des Mille Îles et des Prairies (Comité sur la régularisation des eaux, 1976). Par ailleurs, la prolifération de plantes aquatiques en période de bas niveaux oblige les propriétaires de marinas à une plus grande activité de « moissonnage » des canaux et de nettoyage des structures car les plantes restreignent le passage des bateaux aux zones plus profondes, réduisant la superficie utilisable des plans d'eau (Hudon, 1997b).

Au cours de l'été 1988, les niveaux d'eau ont été particulièrement bas et la Garde côtière canadienne rapporte un nombre d'échouements très élevé pour les secteurs de Sorel et du lac Saint-Louis (Bergeron, 1995). Plus récemment, les bas niveaux de l'été 1995 ont aussi causé des problèmes aux plaisanciers. Le nombre d'échouements d'embarcations de plaisance

signalés cette année-là dans les secteurs du port de Montréal, du lac Saint-Louis et du lac des Deux Montagnes a doublé par rapport à la moyenne des quatre années précédentes (MPO, 1996). Ceci met donc en relief le lien entre les variations de niveaux d'eau et la sécurité nautique. Le lac Saint-Pierre est un autre endroit particulièrement vulnérable aux bas niveaux d'eau étant donné la faible profondeur du lac. Dans certains chenaux d'accès, la hauteur d'eau est insuffisante pour la navigation de plaisance durant la période d'étiage (Auclair *et al.*, 1991). Cependant, il existe peu d'information ou de critères permettant de quantifier les pertes d'usage associées à des niveaux d'eau précis dans les différents secteurs du Saint-Laurent où la navigation de plaisance est pratiquée. Une telle évaluation a été réalisée dans la région de Montréal dans le cadre du projet Archipel (Secrétariat Archipel, 1986). Selon cette étude, plus les niveaux d'eau sont élevés au lac Saint-Louis et au lac des Deux Montagnes, meilleures sont les conditions de pratique des activités nautiques. La limite à ces hautes eaux est fixée par la tolérance des équipements de support de l'activité, soit les rampes de mise à l'eau et autres infrastructures nautiques. Cette limite serait de 22 m (altitude par rapport au niveau de la mer) au lac Saint-Louis et de 23 m au lac des Deux Montagnes (Secrétariat Archipel, 1986).

ÉNERGIE HYDROÉLECTRIQUE

Dans la région de Montréal, quatre centrales hydroélectriques sont présentement en opération, soit celles de Les Cèdres, Beauharnois, Carillon et Rivière-des-Prairies. La plus importante est la centrale de Beauharnois, qui se classe parmi les plus puissantes au Québec au niveau de la production hydroélectrique.

La puissance développée par une turbine d'une centrale hydroélectrique est donnée par la relation suivante :

$$P = \delta Q \Delta H e$$

où P est la puissance en watts, δ est une constante égale à 9810 N/m^3 ; Q est le débit en m^3/s , ΔH est la dénivellation en mètres et e représente le rendement de la turbine (une turbine efficace à 100 p. 100 présenterait une valeur de $e = 1$; en pratique, $e < 1$ et dépend des caractéristiques de la turbine). La puissance développée est donc directement proportionnelle au débit et à la hauteur de chute.

En pratique, on a évalué que tout changement de 1 p. 100 du débit du fleuve induit un changement d'environ 0,74 p. 100 dans la production hydroélectrique (ICF, 1987, cité dans Bergeron, 1995). Advenant que le débit du Saint-Laurent soit réduit de 40 p. 100²¹ (Mortsch et Quinn, 1996), il en résulterait une réduction d'environ 30 p. 100 de la production hydroélectrique à Beauharnois (en supposant une extrapolation linéaire) et vraisemblablement des conséquences socio-économiques importantes.

Cependant, il est difficile d'établir une relation entre les fluctuations des niveaux d'eau au lac Saint-François et la production d'énergie hydroélectrique aux différentes centrales (Beauharnois et Les Cèdres), car les niveaux restent à peu près stables tout au long de l'année au lac Saint-François, qui constitue un bassin fortement régularisé. On peut cependant affirmer qu'une baisse généralisée des niveaux d'eau du bassin des Grands Lacs aurait des effets sur la production hydroélectrique à la centrale de Beauharnois. En période de basses eaux au lac Ontario, par exemple, les responsables de la gestion du barrage Moses-Saunders tenteront de maintenir le niveau en diminuant le débit sortant du lac Ontario, ce qui pourrait résulter en une baisse significative du débit du Saint-Laurent, affectant particulièrement la centrale de Beauharnois.

Il n'y a pas de débit minimal précis au-dessous duquel les sociétés hydroélectriques ne pourraient atteindre la production minimale nécessaire pour répondre à la demande. Par exemple, lorsque la capacité de production est faible à Beauharnois, Hydro-Québec est en mesure d'utiliser d'autres moyens (plus coûteux) pour fournir de l'électricité à ses clients. À long terme cependant, tout débit faible pendant une période prolongée pourrait menacer la capacité d'Hydro-Québec de répondre à la demande (CMI, 1993).

Par ailleurs, en présence de forts débits, les centrales hydroélectriques peuvent ne pas être en mesure de turbiner toute l'eau disponible car la capacité maximale de la centrale est définie par le nombre de turbines et leur puissance maximale (par exemple, le débit turbinable maximal est de 7924 m³/s à Beauharnois). Enfin, la demande en électricité est maximale en hiver et minimale en été. Les variations des débits et des niveaux d'eau n'ont donc pas le même impact selon la saison, mais de façon générale, une baisse du niveau des Grands Lacs réduirait les débits sortants aux barrages Moses-Saunders et Beauharnois.

²¹ Une telle baisse de débit correspond à une baisse de niveau d'environ 1 m dans le Saint-Laurent (Farid *et al.*, 1997).

APPROVISIONNEMENT EN EAU

L'approvisionnement en eau potable pour près d'un Québécois sur deux est assuré par de l'eau provenant du Saint-Laurent. L'alimentation en eau s'effectue grâce à 47 prises d'eau localisées dans les eaux douces du fleuve, soit 42 dans le tronçon fluvial et 5 dans l'estuaire fluvial. L'eau est ensuite traitée par 41 usines municipales. Selon des données de 1994, 89 municipalités s'approvisionnaient en eau potable dans le Saint-Laurent, ce qui permettait d'alimenter plus de 3 millions de personnes, soit 43 p. 100 de la population du Québec (Bernier *et al.*, 1998). Le fleuve constitue aussi la principale source d'approvisionnement en eau des industries.

L'installation des prises d'eau pour la catégorie d'utilisation d'eau domestique est planifiée afin d'obtenir un maximum d'eau de bonne qualité tout en effectuant le moins de traitement possible pour atteindre les normes de qualité. Le fonctionnement des usines de filtration pourrait donc être affecté par le renouvellement de la masse d'eau au-dessus des prises d'alimentation. Il peut aussi être affecté par des vents forts durant l'été, de basses températures au printemps et en automne, des marées basses et du frasil en hiver.

L'impact négatif des fluctuations des niveaux d'eau sur l'approvisionnement en eau est surtout associé à des bas niveaux. Dans la région de Montréal, l'approvisionnement en eau peut devenir difficile en période de basses eaux, et on pourrait même observer une pénurie d'eau pour l'alimentation domestique dans des situations extrêmes (Comité sur la régularisation des eaux, 1976). En effet, les prises d'eau de certaines municipalités pourraient éventuellement émerger hors de l'eau lors d'étiages sévères. En période d'étiage d'hiver, les bas niveaux favorisent l'accumulation de frasil pouvant obstruer les prises d'eau, surtout en début d'hiver avant que la glace ne se forme à la surface (Michel, 1976). Par ailleurs, une faible hauteur d'eau peut entraîner des coûts supplémentaires de traitement (Jourdain *et al.*, 1994a; CMI, 1993). En effet, la qualité de l'eau est souvent mauvaise en période de basses eaux car la capacité de dilution des rejets est alors réduite et souvent insuffisante (Comité sur la régularisation des eaux, 1976). De plus, le réchauffement de l'eau en été lors d'épisodes de bas niveaux peut favoriser la prolifération de bactéries et conférer un goût terreux à l'eau potable de certaines municipalités (Bergeron, 1995).

Dans l'ensemble, cependant, les variations du niveau d'eau ont un très faible impact sur les prises d'eau le long du Saint-Laurent, sauf localement, dans des cas extrêmes de bas niveaux (Bergeron, 1995).

ACTIVITÉS RÉCRÉATIVES

Par ses paysages exceptionnels, le Saint-Laurent contribue à attirer le tourisme sous toutes ses formes. Outre la navigation de plaisance discutée précédemment, plusieurs activités nautiques, comme la planche à voile, le kayak de mer ou de rivière, et la baignade s'avèrent très populaires sur le Saint-Laurent. Dans la région de Montréal, il existe de nombreux endroits intéressants pour pratiquer ces activités, alors que dans la région de Québec, des sites comme la baie de Beauport et Berthier-sur-Mer constituent des endroits privilégiés pour la pratique du nautisme.

La baignade est une activité récréative avec contact direct influencée par les fluctuations des niveaux d'eau. En période de basses eaux, la superficie des plages est plus grande, ce qui augmente l'espace disponible pour chaque usager (Bergeron, 1995; Secrétariat Archipel, 1986). La baignade peut par contre devenir difficile ou impossible, car la distance à parcourir pour atteindre l'eau est augmentée et en certains endroits, la partie de la plage demeurant sous l'eau devient trop abrupte et présente des risques pour les nageurs et pataugeurs (Secrétariat Archipel, 1986; Comité sur la régularisation des eaux, 1976). De plus, lorsque le niveau est bas, il y a davantage de vase et d'herbiers dégagés, ce qui peut engendrer une dégradation esthétique et décourager les activités nautiques. Finalement, des bas niveaux d'eau peuvent être associés à une mauvaise qualité de l'eau en raison de l'effet de dilution restreint, d'un faible taux de renouvellement et d'une hausse de température favorisant la contamination bactérienne (Lamarche, 1992). À l'inverse, si les niveaux sont trop hauts, certaines plages peuvent disparaître sous l'eau ou être fortement affectées par l'érosion. Dans le golfe du Saint-Laurent, par exemple, on reconnaît que la montée du niveau des océans entraîne un important processus d'érosion des plages et des rives (Bertrand, 1996; Robichaud et Bégin, 1997), diminuant ainsi le potentiel récréatif de ces plages.

Selon le Secrétariat Archipel (1986), l'utilisation des plages (en fonction des niveaux d'eau) repose sur trois critères qui dépendent eux-mêmes des caractéristiques spécifiques au secteur considéré. Il serait donc très difficile d'établir des normes qui s'appliqueraient à l'ensemble du Saint-Laurent. Ces critères sont la superficie de plage par personne, la qualité de l'eau et la distance d'immersion (distance à parcourir pour atteindre l'eau). Dans la région de Montréal, les études réalisées dans le cadre du projet Archipel ont montré que ces trois critères peuvent entrer en conflit à certains endroits, comme par exemple au lac des Deux Montagnes ou dans la rivière des Mille Îles (Secrétariat Archipel, 1986).

Les impacts des fluctuations des niveaux d'eau sur la pratique de la planche à voile et des autres activités nautiques sont plus difficiles à évaluer. Par ailleurs, d'autres activités récréatives sont également susceptibles d'être influencées par les variations des niveaux d'eau

(randonnées pédestres, chasse et pêche, observation de la nature, etc.). Cependant, les problématiques associées à ces activités sont de moindre importance, ou ne sont pas directement influencées par les variations du niveau d'eau. Dans le cas de la pêche sportive, par exemple, ce n'est pas l'activité en soi qui est affectée par les niveaux d'eau, mais plutôt l'accessibilité aux sites de pêche.

USAGES FAUNIQUES²²

Les conditions environnementales liées aux niveaux d'eau sont importantes pour la faune aquatique et riveraine. Les effets sur plusieurs espèces fauniques peuvent être associés à la superficie des zones inondées ou exondées, ainsi qu'à la dynamique saisonnière des variations du niveau d'eau. De plus, les fluctuations des niveaux d'eau sont liées à des changements de débit qui peuvent être déterminants pour la présence ou la survie de certaines espèces. Par exemple, une baisse de débit du Saint-Laurent causera un déplacement vers l'amont du front de salinité qui se retrouve habituellement à l'extrémité est de l'île d'Orléans. Cette zone de mélange, qui est riche en nutriments et en matière particulaire, constitue une aire de rétention importante pour les larves de certaines espèces de poissons, dont le Poulamon atlantique. Chez cette espèce, l'éclosion (qui a lieu en amont) et le développement des larves sont généralement synchronisés avec leur dérive dans l'estuaire fluvial. Ce synchronisme peut être perturbé lorsque les niveaux et les débits sont bas, car le front de salinité est alors déplacé vers l'amont (Harvey et Mingelbier, 1997).

Les niveaux d'eau jouent un double rôle dans la reproduction de certaines espèces de poissons; ils influencent la superficie des frayères et la facilité d'accès à celles-ci. En effet, le maintien des niveaux d'eau élevés au printemps (avril et mai) ou, dans certains cas en hiver, favorise la montaison des poissons vers leurs sites de fraie et pourrait avoir des effets bénéfiques sur plusieurs espèces (MEF, 1995; Harvey et Mingelbier, 1997). Par ailleurs, de faibles crues printanières causent une altération des caractéristiques des zones à courant rapide et perturbent le synchronisme entre la température et le débit, synchronisme qui stimule la montaison et les rassemblements des géniteurs frayant en eau vive, comme la Barbue de rivière, les dorés et les suceurs (MLCP, 1993; Harvey et Mingelbier, 1997).

Les oiseaux et les mammifères semi-aquatiques sont également affectés par les niveaux d'eau. Par exemple, si des bas niveaux perdurent jusqu'en juillet, certains habitats propices à la sauvagine peuvent disparaître. Des bas niveaux sur plusieurs années

²² Dans ce document, les usages fauniques réfèrent à l'utilisation du Saint-Laurent par la faune, au même titre que les usages anthropiques réfèrent à l'utilisation du Saint-Laurent par l'homme.

consécutives provoquent des marais denses et fermés, réduisant ainsi la zone d'alimentation de la sauvagine et du Rat musqué (MLCP, 1993).

Des effets néfastes sur la faune sont aussi perceptibles lorsque les niveaux d'eau sont trop élevés (Environnement Canada, 1996a; Hudon et Armellin, 1995; MLCP, 1993). En voici quelques exemples :

- accélération de l'érosion des berges servant à la reproduction des poissons et de la sauvagine ou d'abri au Rat musqué;
- inondation des sites de ponte des tortues, des nids de canards et des terriers du Rat musqué;
- limitation de la superficie des habitats de reproduction, de nidification et d'élevage des reptiles, des poissons et de la sauvagine.

Dans le Saint-Laurent, des liens entre les niveaux d'eau et l'utilisation faunique des milieux naturels ont pu être établis à certains endroits. Par exemple, l'existence d'une relation entre la force des cohortes du Poulamon atlantique et les conditions hydrauliques du Saint-Laurent et de la rivière Sainte-Anne, laquelle constitue la principale frayère de cette espèce au Québec, a été mentionnée par plusieurs auteurs (Mailhot *et al.*, 1988; Fortin *et al.*, 1990). Des classes d'âge plus fortes furent produites les années de forte hydraulité au cours de la période 1976-1984, et aussi entre 1985 et 1995. Cela permet de croire que cette corrélation n'est pas l'effet du hasard (Mailhot, 1998). De façon générale, de faibles cohortes de Poulamon sont produites lorsque le niveau du fleuve Saint-Laurent est bas en décembre et en janvier, pendant la migration de fraie de cette espèce. L'un des facteurs qui pourrait expliquer cette situation est que les conditions de bas niveaux, observées en période de faible hydraulité, rendent plus difficile l'accès à la rivière Sainte-Anne dont l'embouchure est très ensablée (Cotton, 1995).

Chez l'Esturgeon jaune du Saint-Laurent, Nilo *et al.* (1997) ont rapporté que la force des classes d'âge est établie durant les premiers mois de vie et que les conditions climatiques et hydrologiques en juin, lors de la dérive larvaire et le début de l'alimentation exogène, semblent être critiques pour cette espèce. Ces auteurs ont observé des corrélations positives et significatives entre la force des classes d'âge et le débit moyen en juin de la rivière des Prairies, où est située la principale frayère de cette espèce dans le Saint-Laurent. Le débit n'était pas le seul facteur explicatif cependant, puisque la température de l'eau en mai et en juin était aussi corrélée positivement avec la force des classes d'âge (Nilo *et al.*, 1997).

L'effet des niveaux d'eau ou des débits n'est pas aussi évident pour d'autres espèces de poisson du Saint-Laurent. Au lac Saint-Pierre, par exemple, des corrélations significatives ont été trouvées, chez la Perchaude, entre l'indice de force des classes d'âge de 1982 à 1989 et la température de l'eau et de l'air en juin, mais pas avec le niveau de l'eau (Guénette *et al.*, 1994).

Par ailleurs, il est reconnu que l'habitat du poisson et de la sauvagine a beaucoup changé au lac Saint-François depuis que le niveau de celui-ci a été stabilisé. En effet, la diminution des fluctuations des niveaux d'eau a favorisé à cet endroit l'abondance d'espèces de poissons lacustres, comme le Crapet-soleil, au détriment d'espèces fluviales présentes auparavant et davantage appréciées par les pêcheurs commerciaux et sportifs (MEF, 1995).

Bien qu'il existe plusieurs études établissant des liens entre les niveaux d'eau et leurs effets sur les ressources fauniques, peu d'entre elles se sont attardées aux impacts écologiques associés au synchronisme entre les fluctuations des niveaux d'eau et les processus biologiques. L'importance de ce synchronisme est pourtant cruciale. On sait par exemple que des niveaux élevés au printemps permettent au Grand Brochet d'avoir accès aux prairies inondées du tronçon fluvial pour la ponte des œufs. Des niveaux élevés et stables assurent le développement des œufs et des larves. Une décrue régulière et rapide, vers la fin mai ou le début juin, favorise ensuite la dévalaison des larvès et des brochetons vers le plan d'eau principal et leur permet d'échapper plus efficacement au cannibalisme des jeunes brochets d'un an (Fortin *et al.*, 1982; Massé *et al.*, 1991; MLCP, 1993). Le succès du recrutement repose donc sur des niveaux d'eau adéquats au moment opportun. Cet exemple démontre que l'établissement de critères ou d'objectifs environnementaux pour le maintien des usages fauniques, en regard des niveaux d'eau, devrait nécessairement tenir compte de l'aspect synchronisme.

2.2.2.2 *Effets sur les composantes du milieu naturel*

MILIEUX HUMIDES

Les milieux humides²³ revêtent une importance cruciale pour l'environnement. Ils constituent, entre autres, des habitats fauniques importants, jouent un rôle d'auto-épuration des écosystèmes et permettent de freiner l'érosion (Drapeau, 1988). Ces milieux sont toutefois sensibles aux changements environnementaux. Leur superficie a d'ailleurs été choisie comme un indicateur de l'état général du système Grands Lacs–Saint-Laurent (Environnement Canada, 1996b; Béland, 1996). Les niveaux d'eau et leurs fluctuations peuvent exercer un impact marqué sur la superficie et la productivité des milieux humides (CMI, 1993; Jean *et al.*, 1992). Par exemple, le principal effet des basses eaux est d'assécher les herbiers littoraux et de diminuer leur superficie (LAPEL, 1989; Environnement Canada, 1996a; Frenette *et al.*, 1989).

²³ Le terme « milieux humides » englobe les herbiers aquatiques, les marais, les prairies humides et les marécages, qui se distinguent les uns des autres par leur composition floristique (section 1.4.5).

Des bas niveaux d'eau peuvent aussi faciliter l'invasion d'espèces végétales agressives ou exotiques (Hudon, 1997a).

Il est difficile d'évaluer avec précision les impacts des fluctuations des niveaux d'eau sur les milieux humides. Il semble toutefois que les fluctuations saisonnières et la synchronisation des périodes de pointe des niveaux d'eau sont très importantes pour les milieux humides (CMI, 1993; Jean, 1996), notamment pour la productivité de ces habitats naturels et le maintien de la diversité des espèces (Hudon, 1997b; Jean, 1996). De façon générale, la diminution de l'amplitude des variations des niveaux de l'eau se traduit par l'amointrissement de la superficie des milieux humides, une perte de diversité et souvent la dominance d'une espèce végétale (Hudon, 1997a). En effet, les inondations cycliques des milieux humides permettent d'éliminer les espèces indésirables (arbustes, petits arbres); plusieurs autres espèces végétales peuvent ainsi compléter leur cycle de vie (IJC, 1989). Cependant, une trop grande variabilité des niveaux d'eau, tout comme une variabilité trop faible, impose un stress aux différentes espèces et peut favoriser la dominance d'une seule espèce ou d'un nombre restreint d'espèces opportunistes (Hudon, 1997a). On connaît mal les fluctuations optimales des niveaux d'eau pour la végétation des milieux humides. De plus, la gamme acceptable de variabilité est probablement différente pour chaque espèce, ce qui complique l'analyse. On sait toutefois qu'une inondation des arborales riveraines d'une durée trop longue lors des crues printanières peut être néfaste, et qu'une exondation d'au moins quelques jours de la végétation émergente des marais en période de croissance est favorable à celle-ci (Secrétariat Archipel, 1986). Les durées optimales de ces événements demeurent incertaines pour l'instant.

Compte tenu de l'importance des milieux humides dans le Saint-Laurent, un effort considérable a été fait pour connaître leur évolution récente et les cartographier. Des études réalisées à l'aide de photographies aériennes ont permis de constater leur disparition au fil des ans (Dryade, 1981; Jean *et al.*, 1992). On estime à plus de 3600 ha la superficie de milieux humides riverains ayant disparu entre 1945 et 1976 le long du Saint-Laurent (Dryade, 1981). Or, la perte de milieux humides est habituellement permanente car il est très difficile de recréer ces milieux. Ces pertes ont été causées surtout par les empiétements anthropiques (développement urbain, agriculture, etc.), et possiblement par des variations des niveaux d'eau (Jean *et al.*, 1992; Lyon *et al.*, 1986).

Dans le tronçon fluvial du Saint-Laurent, le facteur le plus important dans la perte de milieux humides demeure la destruction sélective pour le développement urbain (Jean et Bouchard, 1991). Selon ces auteurs, les fluctuations des niveaux d'eau affectent aussi la structure de la végétation des milieux humides au lac Saint-François, mais elles auraient joué un rôle secondaire dans la perte de ces milieux, comparativement au développement urbain.

Par contre, à d'autres endroits comme aux îles de la Paix (lac Saint-Louis), on a observé que les hauts niveaux d'eau des années 1972-1976 ont eu un impact négatif considérable sur certains milieux humides (Jean et Bouchard, 1991; Jean *et al.*, 1992; Armellin *et al.*, 1994b).

Il a été démontré que la réduction des fluctuations des niveaux d'eau observée suite à l'entrée en vigueur du plan de régularisation 1958-D a eu des conséquences néfastes sur la superficie, la diversité et l'intégrité des milieux humides du lac Ontario (CMI, 1993; Busch et Lewis, 1984) mais ceci semble plus difficile à établir scientifiquement en ce qui concerne le Saint-Laurent (Jean et Bouchard, 1991; Jean *et al.*, 1992). Le seul lien clairement établi entre les pertes de milieux humides et les variations des niveaux d'eau du Saint-Laurent est le dépérissement des forêts de plaine inondable le long du fleuve causé par les hautes eaux de la période 1972-1976 (CMI, 1993; IJC, 1989; Jean *et al.*, 1992; Desrosiers et Bégin, 1992).

Plusieurs études ont tenté d'établir des liens entre la végétation aquatique et riveraine et les niveaux d'eau. Au lac Saint-Pierre, il existe une forte relation entre le niveau d'eau saisonnier (avril-septembre) et le pourcentage du couvert végétal émergent (Hudon, 1997a). Les niveaux moyens durant la saison de croissance déterminent le zonage de la végétation, la distribution des espèces et la biomasse (Hudon, 1997a) tandis que la variabilité saisonnière et interannuelle influence la diversité des espèces (Keddy et Reznicek, 1986). Il semble que la stabilisation des niveaux d'eau aurait eu d'importantes conséquences néfastes sur la productivité et la biodiversité des écosystèmes au lac Saint-François (Armellin *et al.*, 1994a). À cet effet, Jean et Bouchard (1993) ont montré que la diversité spécifique dans les milieux humides de ce lac a diminué suite à la stabilisation des niveaux d'eau. Par ailleurs, de nombreux riverains du lac Saint-François se plaignent de la surabondance de macrophytes aquatiques depuis la fin des années 1950, soit depuis la mise en place des mécanismes de régularisation et la stabilisation des niveaux d'eau du lac (SLRAP, 1992).

Les macrophytes aquatiques sont contrôlées par des variables abiotiques qui limitent leur croissance. Au lac Saint-François, ces variables sont la pénétration de la lumière, l'action des vagues, le substrat et les courants (Morin, 1997). Or, ces variables sont directement ou indirectement reliées aux fluctuations des niveaux d'eau. Une étude récente, réalisée dans un marécage arboré du lac Saint-François, a montré une relation significative entre les fluctuations du niveau de l'eau et la croissance de l'Érable rouge et du Mélèze laricin (aucune relation n'a été observée avec la croissance du Thuya occidental). Les fluctuations des facteurs climatiques (température et précipitation) ont cependant joué un rôle beaucoup plus important sur la croissance de ces espèces (Jean et Bouchard, 1996). Les auteurs concluent que l'effet des niveaux d'eau sur la croissance des arbres dans les marécages du lac Saint-François demeure secondaire.

VÉGÉTATION RIVERAINE

En ce qui concerne la forêt riveraine, Jean *et al.* (1992) mentionnent qu'il existe une relation entre les hauts niveaux des années 1972 à 1976 et la perturbation sévère du périmètre forestier de l'île Dowker (région de Montréal), durant les mêmes années, de même que la perte de sites forestiers dans le centre de l'île. Ce dépérissement a vraisemblablement été causé par une montée de la nappe phréatique (Jean *et al.*, 1992). Une hausse des précipitations dans les années précédentes sur l'ensemble du bassin Grands Lacs–Saint-Laurent serait à l'origine de ces hauts niveaux. On reconnaît cependant que les structures de contrôle et le régime de régularisation ont également contribué au dépérissement des forêts inondables dans le lac Saint-Louis (CMI, 1993).

De façon similaire, les milieux riverains des îles de la Paix se sont fortement détériorés durant la même période, suite à l'élévation des niveaux d'eau du lac Saint-Louis²⁴ et au maintien de niveaux élevés pendant toute la durée de la saison de croissance de la végétation entre 1972 et 1974 (Armellin *et al.*, 1994b). Il s'en est suivi une dégradation marquée du couvert forestier et arbustif et une perte d'habitats fauniques terrestres et riverains (Armellin *et al.*, 1994b; Comité sur la régularisation des eaux, 1976). En effet, une durée trop prolongée des niveaux d'eau élevés peut induire le dépérissement de certains arbres par manque d'oxygène au niveau du système racinaire. On a ainsi constaté des dommages importants à l'Érable argenté autour du lac Saint-Louis suite aux hautes eaux de 1972 à 1976 (Couillard *et al.*, 1985). Or, les érablières argentées constituent des habitats fauniques importants. Une grande diversité d'espèces d'oiseaux est associée à ces érablières, et certaines espèces de poissons et de sauvagine s'y reproduisent lors des crues printanières (MLCP, 1993).

Plusieurs études ont aussi montré les effets des variations des niveaux d'eau sur la forêt riveraine dans d'autres secteurs du Saint-Laurent. Dans la région de Saint-Augustin-de-Desmaures (entre Neuville et Québec), par exemple, Langlais et Bégin (1993) ont documenté des effets néfastes sur le Frêne rouge causés par les hauts niveaux d'eau des années 1970. Par ailleurs, Bégin (1990) souligne la dégradation récente (depuis quelques décennies) des bordures forestières de l'estuaire fluvial en raison de l'érosion causée, en partie, par les variations des niveaux d'eau.

Dans le golfe, Bégin *et al.* (1989) ont montré la dynamique du mouvement d'une bordure forestière suite à la hausse récente du niveau de la mer. De façon similaire, Robichaud et Bégin (1997) ont également noté des pertes de forêts riveraines au Nouveau-Brunswick dues à la montée du niveau des océans et à l'effet des tempêtes. Un dépérissement forestier ayant

²⁴ Le niveau moyen a été haussé d'environ 0,5 m durant cette période.

débuté au début des années 1970 a aussi été identifié par ces auteurs pour des sites situés près de la mer, mais protégés par des barrières de sable. Dans ce cas, le dépérissement serait causé par une montée de la nappe phréatique suite à la hausse du niveau des océans (Robichaud et Bégin, 1997), qui est présentement de l'ordre de 30 cm/siècle dans le golfe.

RIVAGES ET BERGES

L'érosion affecte à divers degrés toutes les parties du Saint-Laurent, du lac Saint-François jusqu'au golfe. Les rives sablonneuses sont plus sensibles à l'érosion alors que les rives rocheuses sont peu perturbées par ce phénomène. Les hauts niveaux d'eau combinés à des vents forts générant des vagues sont les éléments qui contribuent le plus au phénomène d'érosion hydrique du Saint-Laurent. Les glaces de rive sont aussi une cause importante d'érosion des berges, même s'il s'agit d'un effet à long terme du point de vue géologique (Michel, 1976). Selon Pêches et Océans Canada, les débits et niveaux de crue élevés entraînent une érosion accélérée des berges du Saint-Laurent et de nombreuses îles, principalement entre Montréal et Sorel (MPO, 1996). En ce qui concerne les activités humaines, le batillage est une importante cause d'érosion dans le Saint-Laurent, en particulier entre l'île de Montréal et l'embouchure du lac Saint-Pierre (ARGUS inc., 1996). Il est difficile, cependant, de déterminer avec précision la part relative des causes d'érosion naturelles et anthropiques dans l'ensemble du Saint-Laurent.

L'inventaire des rives entre Cornwall et l'île d'Orléans a permis de constater que sur les 1532 km de rives recensées, 397 km, soit près de 26 p. 100, sont en érosion active (ARGUS inc., 1996). La même étude a également démontré que 70 km de rives insulaires présentent un recul moyen annuel de 3 mètres (érosion forte) et que 80 km de rives présentent un recul moyen annuel de 1,25 mètre (érosion modérée). Ces pertes de rives menacent des habitats de grande valeur. À ce rythme, par exemple, l'archipel des îles de la Paix aura disparu d'ici 20 ans environ. Globalement, on estime que depuis environ 35 ans, soit depuis l'aménagement de la Voie maritime du Saint-Laurent, l'on perd en moyenne 40 hectares de terres par année à cause de l'érosion entre Cornwall et Québec (ARGUS inc., 1996).

Dans le tronçon fluvial, où la largeur du Saint-Laurent est faible et les eaux peu profondes, l'érosion est causée non seulement par le batillage, mais aussi par les épisodes de hauts niveaux d'eau. Les hauts niveaux d'eau dans les années 1970 et 1980 auraient causé une forte érosion aux îles de la Paix, qui a eu des conséquences désastreuses sur les habitats (Armellin *et al.*, 1994b). Par ailleurs, entre Boucherville et le lac Saint-Pierre, on estime que l'on perd 1 à 2 mètres de rives par année suite à l'érosion durant les périodes de hautes eaux (Bertrand, 1996). En période de bas niveaux, le risque d'érosion est moins élevé (Comité sur la régularisation des eaux, 1976; Environnement Canada, 1996a). Durant les épisodes prolongés

de bas niveaux d'eau, la végétation terrestre ainsi que les développements anthropiques peuvent envahir certains rivages laissés à découvert (Environnement Canada, 1996a; Hudon et Armellin, 1995), ce qui limite les processus d'érosion.

Dans le secteur de l'estuaire fluvial, on observe depuis quelques décennies le recul des micro-falaises bordant le marais supérieur (Dionne, 1986), ainsi que le recul des falaises (Côté, 1989). Les roches très faillées et diaclasées sont fortement inclinées et leur direction est parallèle au rivage, ce qui facilite l'érosion de la plate-forme et du versant. Selon ces auteurs, deux périodes de hauts niveaux de l'eau semblent avoir particulièrement marqué l'évolution des rives de cette région, soit les décennies de 1920 et de 1970. Durant ces périodes, la régression des franges forestières riveraines observée dans la région de Saint-Antoine-de-Tilly constitue un exemple éloquent du lien entre les hauts niveaux d'eau du Saint-Laurent et l'érosion naturelle (Desrosiers et Bégin, 1992).

Dans l'estuaire maritime et le golfe du Saint-Laurent, l'érosion résulte essentiellement de causes naturelles, soit les vagues et les glaces (Environnement Canada, 1992), la montée du niveau des océans due au réchauffement de la planète, ou encore d'autres causes de nature géologique (Robichaud et Bégin, 1997; Bégin *et al.*, 1989). On a remarqué une hausse du niveau d'eau supérieure à 25 cm dans le golfe du Saint-Laurent durant les 100 dernières années (El-Sabh et Murty, 1993). À Halifax, en 68 ans de données, on note une hausse moyenne de 0,38 cm par année (Shaw et Forbes, 1990). Cette hausse du niveau de la mer est constatée partout sur la planète et entraîne un phénomène d'érosion des plages reconnu mondialement (Bertrand, 1994, 1996; Bruce, 1993; Titus et Narayanan, 1995). Dans le golfe du Saint-Laurent, par exemple, il a été démontré que certaines plages régressent à un rythme de 1 à 1,5 mètre par année (Robichaud et Bégin, 1997; Bégin *et al.*, 1989).

Dans tous les secteurs du Saint-Laurent, les rives sont donc menacées par l'érosion attribuable à différents facteurs naturels ou anthropiques. La figure 2.11 présente une cartographie de l'état des rives de Cornwall à Québec et indique, en pourcentage, le niveau d'artificialisation des rives. Par ailleurs, bien qu'un inventaire détaillé de l'état des rives du tronçon fluvial et de l'estuaire fluvial ait été réalisé au début des années 1990, il n'existe pas de mécanisme de surveillance à long terme de ce phénomène. De plus, on ignore dans quelle mesure les niveaux d'eau contribuent à l'érosion des rives dans les différents tronçons du Saint-Laurent. Quant aux critères ou balises permettant d'évaluer l'effet des niveaux d'eau sur l'état des rives, ils sont encore inexistantes. En fait, les connaissances de base relatives à ce phénomène sont actuellement insuffisantes pour élaborer de tels critères d'interprétation.

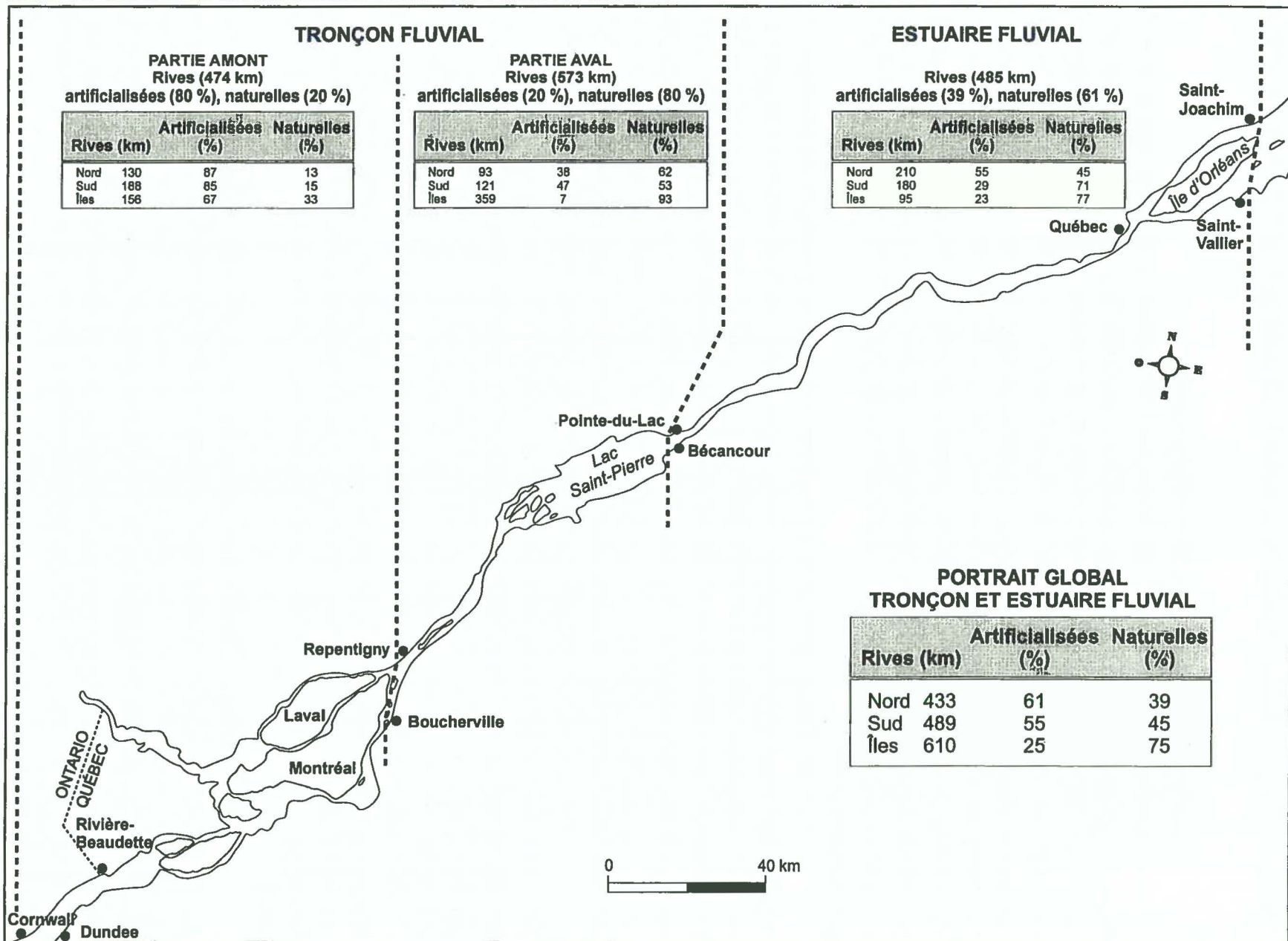
QUALITÉ DE L'EAU

Le Conseil d'étude de la Commission mixte internationale souligne qu'une saine gestion des ressources en eau exige la reconnaissance de l'interdépendance entre qualité de l'eau et quantité d'eau (CMI, 1993). Il est toutefois important de souligner que cette interdépendance se manifeste souvent localement. Par exemple, lors de bas niveaux printaniers, les masses de glace fondent sur place dans les baies et près des rives, et les eaux riveraines ne sont pas renouvelées. Ces eaux stagnantes sont de moins bonne qualité et peu fréquentées par les poissons (Mailhot, 1998).

Les extrêmes de niveaux d'eau (bas ou hauts niveaux) peuvent, pour des raisons différentes, altérer la qualité de l'eau. En effet, de faibles niveaux d'eau aggravent certains problèmes de pollution dans la région de Montréal et la qualité de l'eau peut devenir mauvaise car la dilution est alors réduite (Comité sur la régularisation des eaux, 1976; LAPEL, 1989). En période d'étiage d'été, les faibles profondeurs d'eau au-dessus des prises d'eau, combinées aux températures élevées de l'air, ont aussi pour conséquence d'augmenter les températures de l'eau à la prise, ce qui favorise la prolifération de bactéries et d'algues microscopiques. Celles-ci peuvent colmater les filtres plus rapidement et occasionner des problèmes de goût et d'odeur de l'eau potable, particulièrement pour les municipalités dont les prises d'eau sont en milieu lacustre. Dans le lac Saint-Louis, par exemple, le creusage de la Voie maritime du Saint-Laurent a modifié les conditions hydrodynamiques locales. Le débit du Saint-Laurent est maintenant concentré en grande partie dans le chenal de navigation. L'écoulement est donc plus lent près des rives, ce qui affecte la qualité de l'eau car l'effet de dilution est moins grand (Auclair, 1995b).

Des niveaux d'eau trop élevés peuvent aussi causer une détérioration de la qualité de l'eau. En effet, les eaux d'inondation peuvent être fortement contaminées par des excréments, des déchets, des débris et autres polluants, le reflux des égouts, le lessivage des contaminants présents dans le sol, etc. (Andrews, 1993). En règle générale, par contre, les secteurs d'eau rapide associés à de forts débits et à des niveaux d'eau élevés favorisent l'oxygénation de l'eau (Lagacé *et al.*, 1977).

FIGURE 2.11 État des rives du Saint-Laurent de Dundee à l'île d'Orléans en 1994



Sources : À partir des données de Gingras et al., 1997d; ARGUS, 1996.

MATIÈRES EN SUSPENSION ET SÉDIMENTS

L'ampleur de la charge sédimentaire transportée obéit à une relation directe entre la vitesse du courant et la disponibilité des particules de même que leur taille. Par exemple, environ 50 p. 100 de la charge sédimentaire mesurée à la hauteur de la ville de Québec est transportée lors de la crue printanière et le diamètre moyen des particules charriées par les courants est beaucoup plus grand que lors des périodes d'étiage (Barbeau *et al.*, 1993; Frenette *et al.*, 1989). En outre, la charge sédimentaire dans le tronçon fluvial diffère selon qu'on se trouve près des rives ou dans le couloir du chenal de navigation. En effet, le mélange incomplet des eaux des Grands Lacs avec celles des affluents de la rive sud, d'une part, et de la rive nord, d'autre part, délimite deux masses d'eau qui bordent celle formée, au centre, par les eaux des Grands Lacs (Verrette, 1990).

De bas niveaux d'eau sont susceptibles d'affecter la dynamique sédimentaire du tronçon fluvial autant près des berges que dans le tracé de la voie navigable. Il existe toutefois peu de données pour quantifier ces phénomènes. Dans les lacs fluviaux, Carignan *et al.* (1993) ont observé qu'il n'y avait pas de sédimentation à des profondeurs inférieures à 4,5 m, soit la hauteur d'action des vagues de tempête et des glaces. Ainsi, de bas niveaux d'eau auront comme conséquence d'exposer des zones, auparavant plus profondes et où il y avait sédimentation, à une remise en suspension des particules fines et des contaminants adsorbés.

Par ailleurs, on a aussi avancé l'hypothèse que les navires dont le tirant d'eau s'approche de la hauteur d'eau minimale de la voie navigable (11 m) seraient susceptibles de remettre en suspension une quantité importante de sédiments. Nul ne conteste le fait que des navires puissent à l'occasion remuer le fond de la voie navigable, mais l'ampleur de ce phénomène reste à vérifier. Compte tenu de la nature du fond, ces effets seraient limités à certains secteurs compris entre Varennes et le lac Saint-Pierre, à Bécancour et au niveau de la Traverse du Nord, près de l'île d'Orléans; de surcroît, la période critique serait limitée à quelques mois par année (Procéan *et al.*, 1996; Les Consultants Jacques Bérubé inc, 1997). Ces effets sont plus critiques durant les périodes prolongées de bas niveaux d'eau (Farid *et al.*, 1997).

Il est utile de préciser que les pilotes du Saint-Laurent appliquent des avis permanents à la navigation qui spécifient une distance minimale de dégagement sous la quille, laquelle augmente de 0,61 à 0,91 m en fonction de la vitesse du bâtiment (*Avis aux navigateurs 463 et 479*, émis en vertu de l'article 562.18 de la *Loi sur la marine marchande du Canada*). De manière à maintenir ce dégagement avec le fond pendant les périodes de bas niveaux d'eau, un navire devra être moins chargé et(ou) se déplacer plus lentement. Lors de sondages réalisés en travers de la voie navigable, on a observé que, dans certains secteurs, le plancher du chenal

s'était approfondi et que la pente de ses parois s'était affaiblie, indiquant par le fait même une érosion (McKenny, 1997). Cependant, en l'absence de données plus précises, il est impossible de déterminer dans quelle mesure cette érosion est attribuable aux processus naturels ou à l'action des hélices des navires.

Finalement, il existe un autre facteur d'érosion associé à de bas niveaux d'eau, soit l'action des glaces dans le tracé même de la voie navigable. Il a été mentionné précédemment que l'action des glaces se limitait à 4,5 m de profondeur (Carignan *et al.*, 1993); toutefois, le travail des brise-glaces dans le chenal de navigation ou dans les secteurs vulnérables aux embâcles a pour effet d'entraîner un empilement des glaces, de sorte que celles-ci peuvent à certaines occasions toucher le fond en périphérie du chenal (McKenny, 1997). On ne possède cependant aucune donnée pour quantifier ce phénomène.

2.2.2.3 Synopsis

TABLEAU 2.2
Effets des hautes et basses eaux extrêmes ou prolongées sur les usages du Saint-Laurent
et les composantes du milieu

	HAUTES EAUX	BASSES EAUX	SECTEURS SENSIBLES
USAGES			
Propriétés riveraines	Probabilité plus forte d'inondations des infrastructures riveraines (1,8,32) Menace à la sécurité publique (1) Augmentation des coûts d'indemnisation (assurances) (9,12) Réduction de la valeur commerciale et foncière des territoires riverains et diminution de la possibilité d'utilisation du sol (12)	Peu de problèmes pour les propriétés riveraines (1)	TF,EF,ME,EMG
Navigation commerciale	Transport de charges supérieures à la normale (3,8) Augmentation de la rentabilité de la navigation (3,24) Possibilité de courants dangereux (8,27)	Difficultés de navigation accrues (3,23) Perte de capacité de chargement des navires (3,8,23) Pertes économiques (33)	TF,EF,ME
Navigation de plaisance	Inondation des quais (8,16) Perte de revenus pour les marinas et les ports de plaisance (3,8,16) Possibilité de courants dangereux (8,27) Augmentation des superficies navigables (43)	Mise à sec des rampes de mise à l'eau (5,6,8) Navigation difficile ou impraticable et augmentation du nombre d'échouements (3,9,23,42) Perte de revenus pour les marinas et les ports de plaisance (3,8,16) Réduction de la superficie utilisable des plans d'eau à cause de la prolifération des plantes aquatiques (34)	TF,EF
Énergie hydroélectrique	Augmentation de la production d'énergie hydroélectrique (20)	Diminution de la production d'énergie hydroélectrique (20)	TF

	HAUTES EAUX	BASSES EAUX	SECTEURS SENSIBLES
USAGES (suite)			
Approvisionnement en eau	Aucun effet documenté	Approvisionnement en eau potable plus difficile et coûts supplémentaires de traitement (6,8,9) Possibilité d'obstruction des prises d'eau par le frasil en hiver (40) Détérioration de la qualité de l'eau et goût terreux de l'eau potable à certains endroits (3)	TF,EF
Activités récréatives	Diminution de la superficie des plages (3,9) Érosion accrue des plages (4,28)	Fermeture de certaines plages suite à une diminution de la qualité de l'eau et à la dégradation esthétique (22) Augmentation de la superficie des plages (3,43) Augmentation de la distance d'immersion (43) Baignade rendue difficile ou impossible en certains endroits (9,43)	TF,EF,ME,EMG
Usages fauniques	Limitation de la superficie des habitats de reproduction, de nidification et d'élevage des reptiles, du Rat musqué et de la sauvagine (13,18) Montaison facilitée pour plusieurs espèces de poisson (2,17,18,25,35)	Accès aux frayères plus difficile et diminution de la superficie des frayères (2,13,15,17) Déplacement vers l'amont du front de salinité, causant une perturbation du synchronisme entre l'éclosion, la dérive larvaire et le développement chez certaines espèces de poissons (17) Réduction de l'habitat de la sauvagine et du Rat musqué (2,13,23) Succès accru pour des espèces de poissons indésirables (2)	TF,EF
COMPOSANTES DU MILIEU			
Milieux humides	Pertes de superficie (8,21,36) Inondation de certains habitats (nids de canards, huttes de Rat musqué, sites de ponte de tortues, etc.) (2,13) Diminution du pourcentage de végétation aquatique émergente (19)	Pertes de superficie et d'habitats par l'assèchement des herbiers (8,13,16,21,23,27) Invasion facilitée d'espèces végétales agressives ou exotiques (19)	TF,EF,ME
Végétation riveraine	Dépérissement des forêts riveraines (2,7,8,11,21,28)	Aucun effet documenté	TF,EF,ME,EMG
Rivages et berges	Pertes de rivage accrues par l'érosion (4,7,8,11,13,26,28)	Diminution de l'érosion hydrique (9,13) Possibilité d'envahissement par la végétation terrestre ou par des développements anthropiques (13,18) Dégradation esthétique (rives à découvert) (18)	TF,EF,ME,EMG
Qualité de l'eau	Augmentation de l'effet de dilution et meilleure oxygénation (9,22,29) Risque de dégradation de la qualité de l'eau (reflux des égouts, débordement des bassins de rétention, lessivage des sols) (1,23)	Diminution de l'effet de dilution et détérioration de la qualité de l'eau, surtout en été lors de hautes températures (2,3,9,23,41)	TF,EF

HAUTES EAUX		BASSES EAUX	SECTEURS SENSIBLES
COMPOSANTES DU MILIEU (suite)			
Matières en suspension et sédiments	Augmentation de la quantité de matières en suspension charriées par le Saint-Laurent (16,37)	Remise en suspension des particules fines à cause de la profondeur d'eau réduite (31) Risque de remise en suspension de sédiments toxiques (30,38,39) Possibilité de remise en suspension de sédiments par les navires circulant dans la voie navigable (38,39)	TF,EF

Commentaires

- Les effets des niveaux d'eau extrêmes sont présentés dans une perspective globale et non de façon locale ou sectorielle. À un endroit donné, seulement une partie de ces effets sont réellement observés.
- C'est dans le tronçon fluvial et dans l'estuaire fluvial que les fluctuations des niveaux d'eau sont susceptibles d'affecter le plus grand nombre d'usages et de composantes du milieu.
- Les basses eaux et les hautes eaux peuvent avoir des effets négatifs ou positifs, selon l'usage ou la composante considérée.
- Pour un usage donné (ou une composante du milieu), des basses eaux ou des hautes eaux peuvent avoir des effets positifs ou négatifs, selon l'endroit considéré, la période de l'année ou d'autres facteurs extérieurs.
- Dans le cas de l'utilisation faunique du Saint-Laurent, ce ne sont pas uniquement les niveaux bas ou élevés qui influencent l'usage, mais aussi leur synchronisme avec certaines parties du cycle vital des espèces fauniques considérées. L'aspect temporel ou saisonnier est aussi important pour d'autres usages, en particulier pour certaines activités récréatives.
- Pour les milieux humides, l'alternance de bas niveaux et de niveaux élevés semble être une condition essentielle pour maintenir la diversité et la productivité de ces milieux.

TF : Tronçon fluvial; EF : Estuaire fluvial; ME : Moyen estuaire; EMG : Estuaire maritime et golfe.

Sources : 1. Andrews, 1993; 2. MEF, 1995; 3. Bergeron, 1995; 4. Bertrand, 1996; 5. Auclair et al., 1991; 6. Jourdain et al., 1994a; 7. IJC, 1989; 8. CMI, 1993; 9. Comité de régularisation des eaux, 1976; 10. Gouvernement du Canada, 1991; 11. Desrosiers et Bégin, 1992; 12. Éconosult, 1986; 13. Environnement Canada, 1996a; 14. Environnement Canada, 1996b; 15. Fortin et al., 1990; 16. Frenette et al., 1989; 17. Harvey et Mingelbier, 1997; 18. Hudon et Armellin, 1995; 19. Hudon, 1997a; 20. ICF, 1987 dans Bergeron, 1995; 21. Jean et al., 1992; 22. Lamarche, 1992; 23. LAPEL, 1989; 24. Lasserre, 1989; 25. Mailhot, 1984; 26. ARGUS, 1996; 27. Yee et al., 1995; 28. Robichaud et Bégin, 1997; 29. Lagacé et al., 1977; 30. Farid et al., 1997; 31. Carignan et al., 1993; 32. CICFSL, 1997b; 33. Paquin, 1997; 34. Hudon, 1997b; 35. Cotton, 1995; 36. Lyon et al., 1986; 37. Barbeau et al., 1993; 38. Procéan et al., 1996; 39. Les Consultants Jacques Bérubé inc. 1997; 40. Michel, 1976; 41. Auclair, 1995b; 42. MPO, 1996; 43. Secrétariat Archipel, 1986.

2.2.3 Facteurs influençant les niveaux d'eau du Saint-Laurent

Les variations des niveaux d'eau ont des impacts importants sur les usages et les composantes du milieu. Il est donc essentiel d'identifier les facteurs influençant ces fluctuations afin de développer des pistes d'action menant à des décisions appropriées.

Les fluctuations du niveau d'eau du Saint-Laurent résultent de l'influence combinée des facteurs « naturels » et des facteurs « anthropiques ». Il convient d'évaluer séparément l'importance des interventions humaines et celle des facteurs naturels pour expliquer les fluctuations présentes dans le système. Par ailleurs, le Saint-Laurent est intimement relié au système des Grands Lacs car plus de la moitié des eaux du Saint-Laurent proviennent de cette source. Les fluctuations des apports en eau du bassin des Grands Lacs influencent donc fortement celles des niveaux d'eau du Saint-Laurent.

2.2.3.1 Description des facteurs naturels

Il est possible de distinguer deux types de facteurs naturels; il y a d'une part les facteurs qui contribuent à l'apport en eau (précipitation, ruissellement, évaporation) et d'autre part les facteurs locaux qui modifient l'écoulement et les niveaux d'eau mais ne contribuent pas à l'apport en eau. Dans cette catégorie, on retrouve les facteurs à court terme (embâcles, herbiers aquatiques, vents et tempêtes, marées, pression atmosphérique) et les facteurs à long terme (le principal étant le soulèvement isostatique).

FACTEURS CONTRIBUANT À L'APPORT EN EAU

En un point donné du fleuve, les facteurs contribuant à l'apport en eau dépendent de l'intégration des conditions en amont. Dans le cas du bassin Grands Lacs–Saint-Laurent, l'alimentation nette en eau dépend essentiellement des facteurs naturels tels que la précipitation, le ruissellement et l'évaporation intégrés sur toute la superficie du bassin. Ainsi, les conditions hydrologiques des Grands Lacs sont intimement liées au climat et à ses variations (Hobbs *et al.*, 1993; Mörtsch et Mills, 1996). Situé en aval des quatre autres lacs, le lac Ontario est probablement celui dont la sensibilité à ces facteurs est la plus évidente; son niveau et son débit représentent une intégration des conditions hydrométéorologiques de chaque bassin de drainage des lacs en amont (Lee *et al.*, 1997). Par conséquent, les niveaux d'eau du Saint-Laurent (l'exutoire des Grands Lacs) sont grandement influencés par les conditions climatiques et hydrologiques de l'ensemble du bassin des Grands Lacs.

L'apport net en eau pour un bassin hydrologique ou un lac fluvial peut être exprimé par la relation suivante (Slivitzky, 1998) :

$$\text{APPORT NET EN EAU (ANE)} = Q_e - Q_s \pm \Delta E$$

où Q_e est le débit entrant, Q_s le débit sortant et ΔE , la variation de l'emmagasinage. Si l'apport net en eau est positif, le niveau d'eau monte; s'il est négatif, le niveau descend. Un apport net en eau égal à zéro signifie que le niveau demeure stable. Cette formulation quantitative est souvent utilisée au Québec pour le calcul de l'ANE de sous-bassins versants intermédiaires (Slivitzky, 1998). Cette relation permet aussi de mieux saisir la dynamique des fluctuations des niveaux d'eau si l'on utilise l'analogie suivante : supposons un récipient rectangulaire représentant le bassin Grands Lacs–Saint-Laurent ne subissant aucune variation de l'emmagasinage ($\Delta E = 0$; une hypothèse raisonnable en l'absence de milieux humides). S'il entre plus d'eau qu'il en sort (Q_e supérieur à Q_s), le niveau d'eau montera (causant possiblement un débordement) car l'apport net en eau augmente. Dans le cas inverse (Q_s supérieur à Q_e), une baisse de l'apport en eau survient et, conséquemment, une baisse du niveau d'eau. En pratique, la situation n'est pas aussi simple car la présence de milieux

humides peut induire une variation dans la capacité d'emmagasinage. Cependant, l'analogie aide à comprendre la dynamique des niveaux d'eau en termes d'apports en eau (variations des débits entrants et sortants).

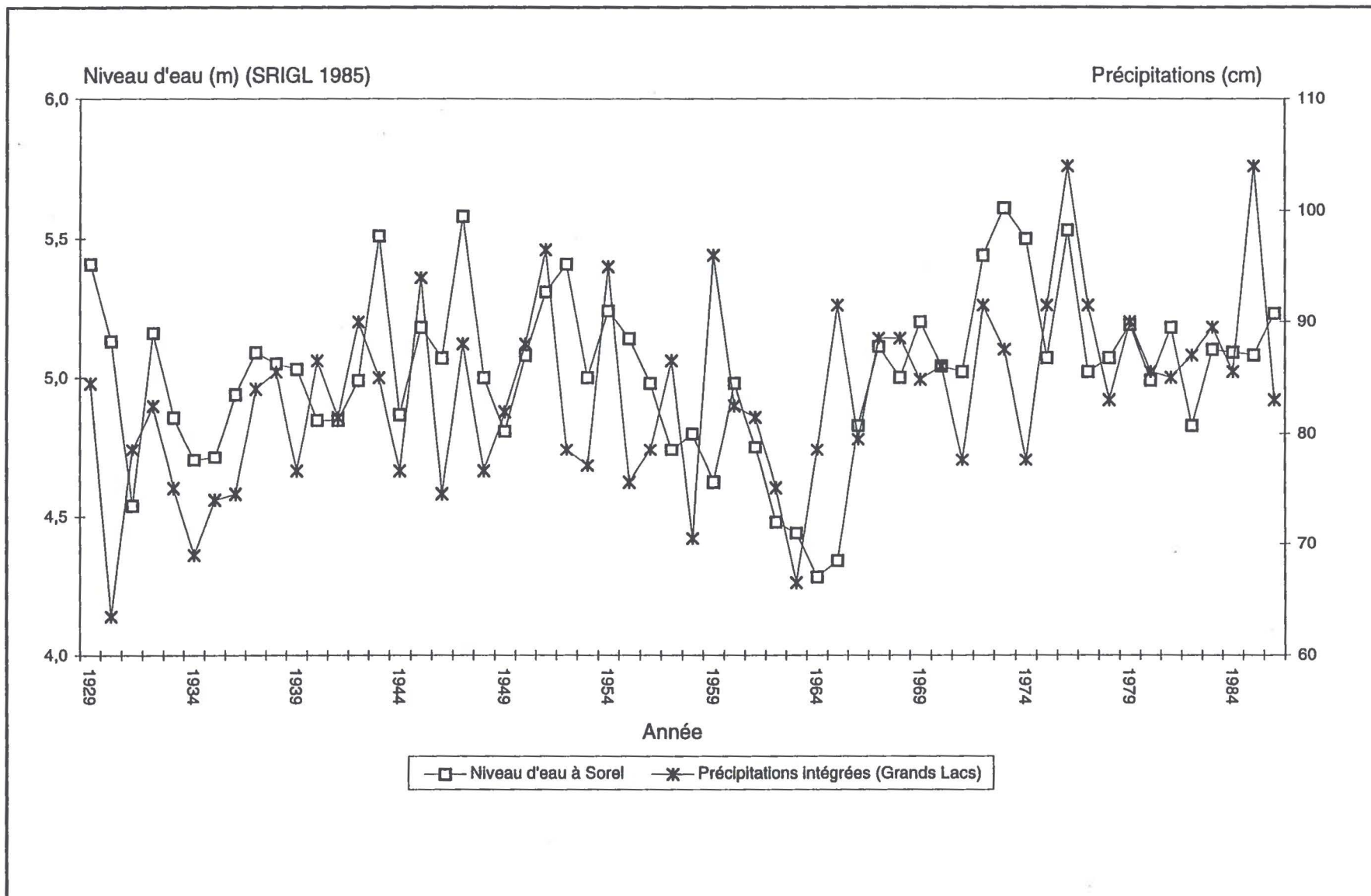
Dans cette section, chacun des facteurs naturels pouvant affecter les niveaux d'eau sera examiné individuellement, non seulement sur le Saint-Laurent, mais également dans l'ensemble du bassin Grands Lacs–Saint-Laurent. Ils sont présentés en ordre décroissant d'importance (localement, cet ordre d'importance pourrait être différent, selon la saison et le secteur du bassin Grands Lacs–Saint-Laurent).

PRÉCIPITATION

La précipitation est le facteur naturel le plus important pour l'alimentation en eau de l'ensemble du bassin Grands Lacs–Saint-Laurent (Sanderson, 1989; IJC, 1989; CMI, 1993; Koshida *et al.*, 1993; Changnon, 1994; Mortsch et Mills, 1996). En plus de contribuer directement à l'apport en eau aux cours d'eau, la précipitation influe sur le ruissellement de surface par l'entremise des affluents et sur le ruissellement souterrain. On observe cependant un certain décalage entre les précipitations reçues à un moment donné et les niveaux d'eau en aval. À titre d'exemple, des études ont montré que les précipitations intégrées dans les 18 à 36 mois précédents sont bien corrélées avec les niveaux des lacs Michigan et Huron (Changnon, 1994).

Les anomalies par rapport à la moyenne des précipitations reçues dans le bassin hydrographique du Saint-Laurent et des Grands Lacs sont donc considérées comme la cause ultime des variations extrêmes des niveaux d'eau du fleuve Saint-Laurent à moyen ou long terme (IJC, 1989; CMI, 1993; Béland, 1996). Par exemple, le déficit en précipitations du bassin du lac Ontario durant l'hiver 1994-1995 et le printemps 1995, combiné à un débit inférieur à la normale pour la rivière des Outaouais, explique les bas niveaux historiques de l'année 1995 au Port de Montréal (Environnement Canada, 1995; Yee, 1997). De la même façon, les hauts niveaux des années 1970 (en particulier des années 1972, 1973, 1974 et 1976) ont été causés par des précipitations nettement au-dessus de la normale dans l'ensemble du bassin Grands Lacs–Saint-Laurent (CMI, 1993; IJC, 1989; Comité sur la régularisation des eaux, 1976). Finalement, le début des années 1960 a été marqué par une période de sécheresse s'étendant sur l'ensemble du bassin des Grands Lacs (Comité sur la régularisation des eaux, 1976), et les répercussions se sont fait sentir sur tout le Saint-Laurent qui a connu des bas niveaux à toutes les stations du tronçon fluvial au début des années 1960, plus particulièrement en 1963 et 1964 (figures 2.4 à 2.7). Le même scénario s'applique dans le cas des bas niveaux des années 1930. La figure 2.12 montre les fluctuations des précipitations intégrées des Grands Lacs, ainsi que le niveau d'eau à une station du tronçon fluvial (Sorel) durant la même période.

FIGURE 2.12 Précipitations intégrées (Grands Lacs) et niveau d'eau à Sorel entre 1929 et 1986



Sources : À partir des données de CMI, 1989; MPO, 1997.

De façon générale, les séries chronologiques de précipitation au-dessus des Grands Lacs et les séries temporelles des niveaux d'eau (moyennes annuelles) du tronçon fluvial du Saint-Laurent (figures 2.4 à 2.7) présentent plusieurs similarités dans le régime des fluctuations, nonobstant un certain décalage temporel allant de quelques mois à quelques années.

À titre d'information, la pluviosité moyenne sur le Saint-Laurent est de l'ordre de 1 mètre par année alors qu'elle est de 0,93 m sur le lac Ontario. Quant à la pluviosité moyenne des lacs Michigan, Huron, Sainte-Claire et Érié, elle est de l'ordre de 0,80 à 0,85 m (section 1.1.3). En ce qui concerne le cycle annuel des précipitations, on constate que l'accumulation mensuelle moyenne des précipitations est maximale en été et minimale en hiver pour plusieurs sites du bassin des Grands Lacs et la portion sud du Saint-Laurent (Hare et Thomas, 1979). De plus, les précipitations qui tombent sur le bassin versant n'influencent pas de façon immédiate l'écoulement dans le système Grands Lacs–Saint-Laurent. En effet, une partie est stockée dans les milieux humides et les cours d'eau, une autre s'accumule dans la nappe phréatique.

RUISSELLEMENT

Le volume de ruissellement est directement influencé par la superficie du bassin, mais aussi par la précipitation et par plusieurs caractéristiques physiographiques du bassin, notamment la composition, la structure et le degré d'humidité du sol. Certaines activités humaines comme le déboisement et l'urbanisation peuvent également entraîner une augmentation du volume de ruissellement. Au lac Ontario, le ruissellement contribue à une hausse annuelle de 1,69 mètre (Lee *et al.*, 1997). Aucune donnée précise n'existe pour le Saint-Laurent.

Il existe deux grands types de ruissellement : le ruissellement de surface et le ruissellement souterrain. Dans le cas du Saint-Laurent, le ruissellement de surface via les rivières tributaires est de loin le plus important (CENTREAU, 1974; Llamas et Triboulet, 1977). Entre Sorel et Québec, l'écoulement saisonnier des rivières tributaires est le facteur le plus significatif pouvant affecter les fluctuations des niveaux d'eau (Langlais et Bégin, 1993). L'apport des affluents au débit du Saint-Laurent passe d'ailleurs de 20 à 40 p. 100 entre Montréal et Québec.

ÉVAPORATION

L'évaporation est plus forte à l'automne et au début de l'hiver lorsque l'eau des cours d'eau est chaude comparativement à l'air. Inversement, l'évaporation est faible et même négative (condensation) au printemps, l'eau étant plus froide que l'air à cette période. L'évaporation est également plus importante si le plan d'eau est peu profond. Le vent et l'humidité relative de l'air sont d'autres variables météorologiques influençant aussi le taux

d'évaporation (Sanderson, 1989; Yee *et al.*, 1995; Environnement Canada, 1996a). Enfin, l'accroissement de l'évaporation en raison de l'activité biologique de la flore du bassin (évapotranspiration) est aussi susceptible de contribuer, du moins théoriquement, à une baisse des niveaux d'eau.

Même si l'évaporation a un effet direct négligeable sur le Saint-Laurent, on doit en tenir compte en ce qui concerne l'ensemble du bassin de drainage Grands Lacs–Saint-Laurent (Morstch et Mills, 1996). Au lac Ontario, l'évaporation annuelle fait baisser le niveau du lac d'environ 0,65 m (Lee *et al.*, 1997).

Les changements du niveau du fleuve Saint-Laurent sont donc, à toute fin pratique, dus à l'apport des rivières tributaires et à l'écoulement sortant du lac Ontario; l'apport direct des précipitations *locales* sur le fleuve et celui de l'évaporation *locale* sont considérés comme des facteurs négligeables²⁵. Le débit d'un point à un autre du fleuve est donné par la somme des apports des rivières tributaires à laquelle on doit ajouter le ruissellement souterrain. Cependant, la précision des données disponibles ne nous permet pas d'évaluer la contribution de ce dernier phénomène.

AUTRES FACTEURS

Embâcles

Le débit d'un cours d'eau peut être modifié si des embâcles se forment, provoquant une accumulation d'eau et des inondations. En présence d'embâcles, le niveau d'eau diminue en aval et augmente en amont. La région du Saint-Laurent comprise entre Montréal et Québec est potentiellement une zone à risque en ce qui concerne les embâcles de glace. La région du lac Saint-Pierre, le port de Montréal et le goulot d'étranglement du fleuve à la hauteur de Québec sont des endroits très propices à la formation d'embâcles (Michel, 1976). Les forts vents en provenance du nord-est (orientés selon la vallée du Saint-Laurent) sont la principale cause de la formation des embâcles en hiver. Les vents poussent alors les glaces dans le sens contraire du courant et créent des accumulations importantes de blocs de glace (Bergeron, 1995). L'un des embâcles les plus spectaculaires à se produire sur le Saint-Laurent fut celui de janvier 1968 près du pont de Québec; la glace fut alors refoulée jusqu'à Trois-Rivières et il a fallu les efforts combinés de neuf brise-glaces pour le détruire (Michel, 1976; Andrews, 1993).

L'influence des embâcles sur les niveaux d'eau du Saint-Laurent est beaucoup moins considérable depuis une trentaine d'années. En effet, la Garde côtière canadienne utilise

²⁵ Il est cependant important de rappeler que la précipitation constitue la source ultime de tous les apports en eau à l'échelle du bassin versant Grands Lacs–Saint-Laurent.

maintenant des brise-glaces qui veillent à ce que le chenal de navigation reste ouvert à l'année jusqu'à Montréal, ce qui limite de façon importante les embâcles.

Herbiers aquatiques

La période du 15 juin au 15 septembre correspond à la période de croissance maximale des macrophytes, alors que celle du 15 septembre au 15 décembre constitue leur période de sénescence (Lorrain, 1994 dans Loiselle *et al.*, 1998). C'est donc au cours de l'été que la présence de macrophytes peut ralentir le courant par friction et affecter le niveau d'eau des lacs fluviaux et de certains cours d'eau alimentant le Saint-Laurent. Par exemple, les variations annuelles moyennes du niveau du lac Saint-François, entre 1963 et 1990, sont d'environ 10 cm à Coteau-Landing alors qu'elles sont de 20 cm à Cornwall. Cette différence de variation de niveau entre l'amont et l'aval est attribuable à la friction due aux plantes aquatiques en été et à la glace en hiver (Morin *et al.*, 1994).

Vents et tempêtes

Lorsque des vents forts et soutenus soufflent dans la même direction pendant un certain temps au-dessus d'un lac, ils produisent une inclinaison de surface appelée « dénivellation due au vent »²⁶. Bien que ce phénomène soit moins important pour les lacs fluviaux du Saint-Laurent que pour les lacs Ontario et Érié, il peut devenir non négligeable si le vent souffle fortement et de façon constante dans la même direction pendant plusieurs heures. Dans l'estuaire maritime et le golfe du Saint-Laurent, des vents élevés conjugués aux marées hautes entraînent l'érosion des rives. Les grands vents déterminent des changements du niveau des eaux de courte durée, mais qui peuvent être importants dans cette région.

L'influence des vents dépend de l'étendue et de la profondeur du plan d'eau, ainsi que de l'orientation et de la forme de celui-ci par rapport à la direction, la vitesse et la durée du vent (Yee *et al.*, 1995; CMI, 1993; Environnement Canada, 1996a). D'après le manuel canadien des marées (Forrester, 1983), le changement de niveau d'eau dû au vent, H (en mètres), est donné par la relation suivante :

$$H = 4,5 \times 10^{-7} V^2 L/P$$

où V est la vitesse du vent (en m/s), L, la longueur du lac (en mètres) et P, la profondeur moyenne du lac (en mètres). La différence d'élévation du niveau d'eau entre les deux extrémités d'un lac, causée par un vent soufflant dans le sens de la longueur, est

²⁶ Ce phénomène ne doit pas être confondu avec le phénomène de « seiche » qui est une oscillation libre de l'eau dans un bassin fermé ou semi-fermé correspondant à la période naturelle d'oscillation du plan d'eau (Forrester, 1983).

proportionnelle au carré de la vitesse du vent et à la longueur du lac, mais inversement proportionnelle à sa profondeur. La dénivellation due au vent revêt donc une importance particulière dans les nappes d'eau peu profondes et très étendues, comme les lacs fluviaux du Saint-Laurent. Dans le cas du lac Saint-François ($L = 30$ km, $P = 5$ m), par exemple, on obtient une valeur de H égale à 18,6 cm sous un vent de 30 km/h (8,3 m/s), ce qui représente une hausse significative du niveau d'eau. Pour le lac Saint-Pierre ($L = 30$ km, $P = 2,7$ m), on obtient $H = 34,4$ cm pour un vent de 30 km/h, ce qui constitue une hausse encore plus importante. Dans les lacs fluviaux du Saint-Laurent, cependant, les forts débits peuvent modifier grandement ces valeurs théoriques.

Marées

À toute fin pratique, les marées ne jouent un rôle sur les niveaux d'eau du Saint-Laurent que dans les secteurs en aval de Trois-Rivières. En effet, on s'entend généralement pour dire que la marée a une influence jusqu'à Pointe-du-Lac, localité située à la sortie du lac Saint-Pierre, même si le cycle de 15 jours de l'amplitude de la marée (vives-eaux–mortes-eaux) influence les niveaux jusqu'à Montréal (Godin, 1979). La dynamique des marées se manifeste par un ralentissement du courant net et une surélévation du plan d'eau pendant la phase ascendante et une augmentation de la vitesse du courant de jusant (Frenette *et al.*, 1989). Les secteurs où les rives se rétrécissent sont ceux où les marées sont les plus fortes. Par exemple, des marées hautes de 4 à 6 m sont enregistrées dans la région de Québec alors qu'à Pointe-au-Père, elles atteignent environ 3 à 5 m (Forrester, 1983).

La marée est un facteur important, qui domine les fluctuations des niveaux d'eau dans le Saint-Laurent marin (estuaire et golfe). Les marées pénètrent dans le golfe en passant par le détroit de Cabot (et dans une moindre mesure par le détroit de Belle-Isle) et se propagent dans le sens contraire aux aiguilles d'une montre autour du golfe. La composante dominante de la marée dans l'estuaire ainsi que dans le nord-est et le nord-ouest du golfe est la composante lunaire semi-diurne (deux marées basses et deux marées hautes par jour). Dans le sud du golfe, la composante solaire-lunaire diurne (une marée basse et une marée haute par jour) est prépondérante, en particulier près des deux points amphidromiques²⁷ situés à l'ouest des îles de la Madeleine et près de l'extrémité ouest du détroit de Northumberland. Les composantes semi-diurne et diurne sont toutes les deux fortes dans le nord et le centre du golfe (Koutitonsky et Bugden, 1991; White et Johns, 1997).

²⁷ Un point amphidromique est un endroit où aucun effet de la marée n'est perceptible.

Pression atmosphérique

L'effet de la pression atmosphérique sur le niveau de l'eau est souvent appelé effet de « baromètre renversé » car lorsque la pression est basse, le niveau d'eau est plus élevé et vice-versa. Les variations de pression atmosphérique peuvent parfois atteindre plusieurs dizaines de millibars par rapport à la pression atmosphérique moyenne²⁸. Or, on reconnaît qu'un changement de pression de 1 millibar peut faire changer le niveau d'eau d'environ 1 cm (Ouellet et Maltais, 1986). L'influence de la pression atmosphérique est donc non négligeable sur les plans d'eau.

Une basse pression atmosphérique sur le golfe du Saint-Laurent induit un niveau d'eau moyen plus élevé diminuant suffisamment la pente dans l'axe amont-aval pour ralentir l'écoulement du Saint-Laurent. Ainsi, les changements de pression atmosphérique peuvent avoir un impact important et contribuent, en partie, à expliquer les variations saisonnières des niveaux d'eau dans le golfe du Saint-Laurent (El-Sabh et Murty, 1993).

Mouvement de l'écorce terrestre (soulèvement isostatique)

Les Grands Lacs et le Saint-Laurent se sont formés il y a environ 10 000 ans, durant la déglaciation. Au fur et à mesure que la calotte glaciaire se retirait, l'eau de fonte a créé les Grands Lacs et la mer de Champlain, l'ancêtre de la portion sud du Saint-Laurent. Écrasée par le poids de la glace, la croûte terrestre a alors commencé à se relever longtemps après la déglaciation. Ce phénomène persiste toujours et est connu sous le nom de soulèvement ou redressement isostatique (Pagé, 1992).

Ce processus graduel et inégal du mouvement de la croûte terrestre continue à changer lentement la surface du bassin et influe sur les mesures des niveaux d'eau. Le système de mesure comprend des repères situés à différents endroits sur les Grands Lacs et le Saint-Laurent et le mouvement graduel de la croûte terrestre modifie l'exactitude de ces repères au point qu'il faut procéder à une mise à jour périodique du système servant à mesurer les niveaux d'eau (CMI, 1993). Par exemple, le système de référence international des Grands Lacs (SRIGL 1985), utilisé pour exprimer les élévations, a été modifié en 1992 pour tenir compte des mouvements de la croûte terrestre depuis l'introduction de ce système de mesure (CMI, 1993).

Le taux de soulèvement isostatique est d'environ 0,27 m/siècle à la sortie du lac Ontario, 0,20 m/siècle dans le secteur de Montréal et de 0,05 m/siècle à Pointe-au-Père. L'inclinaison du Saint-Laurent (pente longitudinale entre l'amont et l'aval), qui peut changer lentement, n'affecte pas la quantité d'eau provenant des Grands Lacs mais pourrait avoir des impacts hydrauliques à long terme (Yee, 1997).

²⁸ La pression atmosphérique moyenne au niveau de la mer est de 1013,25 millibars ou 101,3 kilo Pascal.

En résumé, les facteurs naturels pouvant influencer les niveaux d'eau sont nombreux et leur influence respective dépend de l'échelle spatio-temporelle considérée. Ainsi, le soulèvement isostatique est infime si l'on considère une période de quelques jours ou quelques semaines, alors qu'il peut être non négligeable sur une période de 100 ans. Sur une durée de quelques jours, cependant, d'autres facteurs, comme un vent soufflant toujours dans la même direction, peuvent causer un empilement de l'eau ou des glaces à certains endroits sur le fleuve et affecter le niveau d'eau de plusieurs dizaines de centimètres et même de l'ordre du mètre dans le cas des embâcles. De façon générale, on peut affirmer que la précipitation constitue le facteur naturel qui influence le plus les niveaux d'eau du bassin Grands Lacs–Saint-Laurent, en particulier dans le secteur du tronçon fluvial (IJC, 1989; CMI, 1993; Changnon, 1994, Yee *et al.*, 1995) et ce, même si leur influence sur les niveaux d'eau peut être négligeable localement.

2.2.3.2 Description des facteurs anthropiques

Les facteurs anthropiques constituent les « pressions » dans le modèle PER (figure 2.1). En effet, plusieurs activités humaines sont susceptibles d'affecter les niveaux d'eau du Saint-Laurent, notamment la régularisation et le contrôle de l'écoulement (barrages hydroélectriques, barrages de contrôle, digues, etc.), le dragage des chenaux, la consommation d'eau dans l'ensemble du bassin Grands Lacs–Saint-Laurent (prélèvements à des fins domestiques, industrielles et agricoles) et les dérivations d'eau. Ainsi, à la suite de l'aménagement de la Voie maritime du Saint-Laurent et des installations hydroélectriques (principalement le barrage Moses-Saunders), les vitesses d'écoulement ont augmenté dans le fleuve Saint-Laurent, on a enregistré une baisse des fluctuations saisonnières des niveaux d'eau et une hauteur d'eau minimale est garantie partout dans le chenal de navigation.

Depuis le siècle dernier, le Saint-Laurent, exutoire naturel du lac Ontario, a subi des modifications importantes. Les travaux de dragage des chenaux et la construction d'ouvrages d'ingénierie hydraulique ont été réalisés pour favoriser la navigation et la production hydroélectrique. Le tableau 2.2 présente un historique non exhaustif des facteurs anthropiques ou travaux d'ingénierie ayant contribué à modifier de façon plus ou moins importante l'écoulement naturel des eaux du Saint-Laurent au cours du vingtième siècle.

RÉGULARISATION ET CONTRÔLE DES NIVEAUX D'EAU

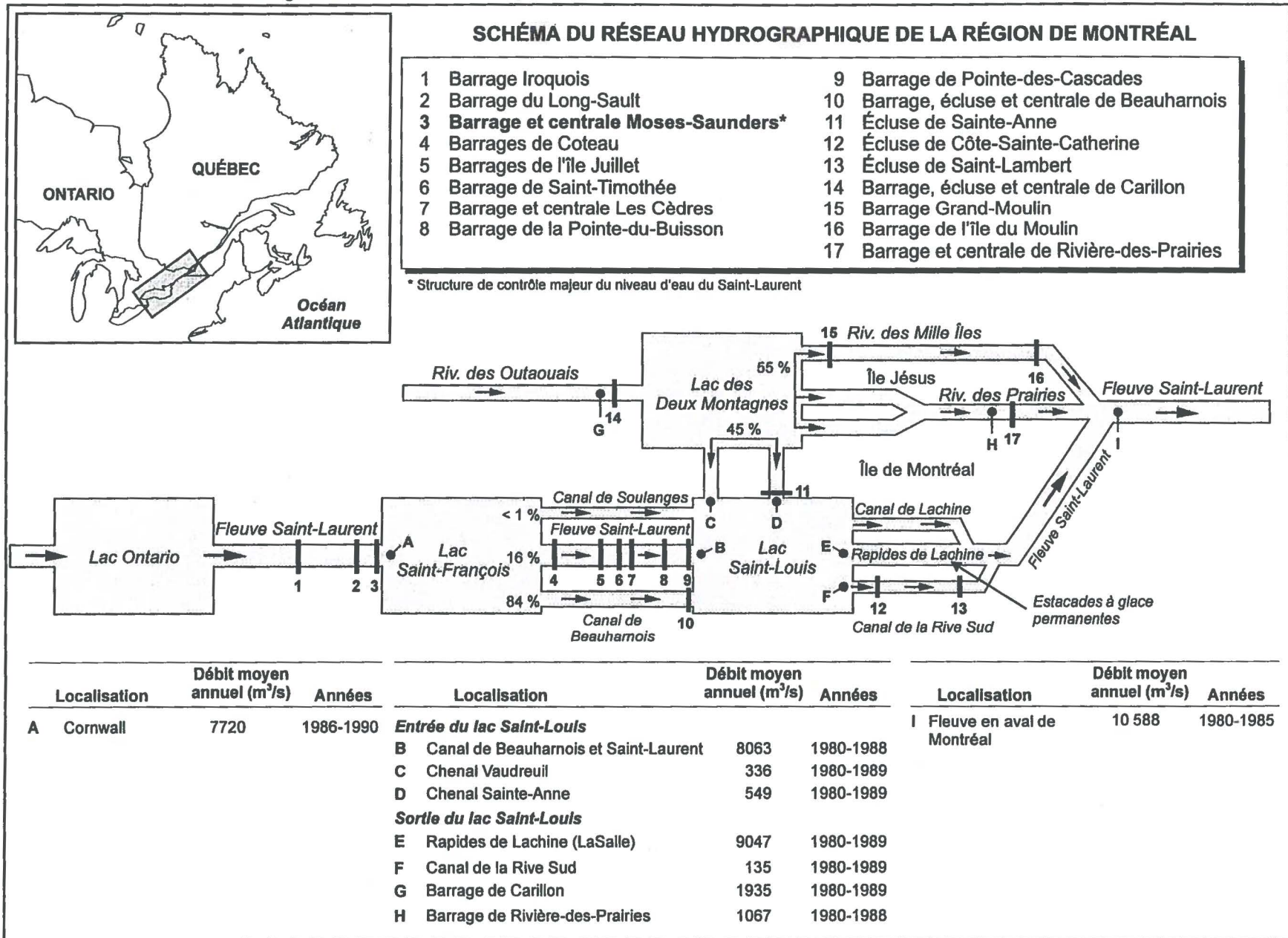
La régularisation d'un cours d'eau signifie l'ajustement ou la variation de son débit sortant selon certaines règles, afin obtenir des niveaux ou des débits plus désirables pour les différents intérêts concernés. Les facteurs anthropiques agissent tout le long du Saint-Laurent mais c'est dans le tronçon fluvial que la régularisation des eaux est la plus appréciable. La

figure 2.13 montre un schéma du réseau hydrologique du Saint-Laurent, du lac Ontario jusqu'en aval de Montréal. Ce schéma indique le débit annuel moyen correspondant à différents sites du tronçon fluvial. Les barrages Moses-Saunders et Beauharnois sont les deux ouvrages qui contrôlent le niveau d'eau du lac Saint-François. Il est important de souligner qu'il n'y a pas de possibilité d'emmagasinage d'eau au lac Saint-François car le débit en aval (au barrage de Beauharnois) est ajusté en fonction du débit en provenance de l'amont, au barrage Moses-Saunders (Morin *et al.*, 1994). Par ailleurs, il est difficile de préciser le rôle exact du Saint-Laurent et celui de la rivière des Outaouais lors des épisodes de hauts niveaux du lac Saint-Louis, étant donné la complexité du réseau hydraulique du Saint-Laurent dans la région de Montréal (Comité de régularisation des eaux, 1976; Cantin, 1998).

En dépit du grand nombre d'ouvrages hydrauliques présents dans le tronçon fluvial, on considère que le barrage de Moses-Saunders, qui traverse le Saint-Laurent entre Cornwall (Ontario) et Massena (État de New York), constitue le seul véritable mécanisme de contrôle et d'ajustement du débit de la partie fluviale du Saint-Laurent (Béland, 1996; Carpentier et Pelletier, 1981). Un deuxième barrage situé près de Long Sault (Ontario) sert de déversoir lorsque les débits sortant du lac Ontario sont supérieurs à la capacité du barrage hydroélectrique (9 500 m³/s). Toutefois, ce barrage n'a été utilisé que trois fois en trente ans (Morin *et al.*, 1994). Finalement, une troisième structure située à Iroquois (Ontario), à environ 50 km en amont de Cornwall, agit principalement dans le but d'aider la formation d'une couverture de glace stable en hiver et d'empêcher les niveaux d'eau de trop s'élever dans le lac Saint-Laurent, situé en amont du barrage Moses-Saunders. Chaque année, au début du gel, on réduit le débit du Saint-Laurent pour faciliter la formation d'une couche de glace stable et réduire le risque d'embâcles. Dès que la glace est prise, on augmente le débit (CICFSL, 1997a).

Suite au détournement de la majeure partie des eaux du lac Saint-François dans le canal de Beauharnois au début des années 1930, le lit du fleuve a été presque asséché, affectant localement la navigation de plaisance et les riverains. Le régime hydrologique a donc été significativement modifié dans ce secteur. Afin de rétablir des niveaux acceptables pour les différents usages, Hydro-Québec a érigé des ouvrages compensateurs dans ce secteur, entre les municipalités de Coteau-Landing et Pointe-des-Cascades. Cependant, ces ouvrages peuvent difficilement supporter la présence des glaces, ce qui implique que les bassins sont vidés à l'automne, entraînant ainsi des contraintes d'usages (Jourdain, 1998).

FIGURE 2.13 Le Saint-Laurent : la régularisation des eaux de la région de Montréal



Sources : À partir des données de Gingras et al., 1997e; Carpentier, 1998.

TABLEAU 2.3
 Historique des ouvrages hydrauliques du tronçon fluvial au cours du 20^e siècle

ANNÉE	OUVRAGES
1907	La profondeur du chenal maritime passe de 8,4 m à 9,1 m et la largeur passe de 90 m à 140 m
1924	Barrage et centrale Les Cèdres
1929	Barrage et centrale Rivière-des-Prairies
1931	Digues submergées entre les îles de Sorel
1933	Barrage et centrale de Beauharnois
1941	Barrages régulateurs de l'île Juillet
1943	Barrage des Rapides-des-Coteau
1952	La profondeur du chenal de navigation passe de 9,1 m à 10,7 m et la largeur passe de 140 m à 150 m
1958	Barrage et centrale Moses-Saunders (Ontario)
1959	Voie maritime du Saint-Laurent
1964	Barrage de Carillon (rivière des Outaouais)
1965	Barrage de Saint-Timothée
1967	Fin de l'aménagement des îles d'Expo 67
1967	Estacade de protection contre les glaces au Bassin de la Tortue (La Prairie)
1968	Début de la navigation commerciale permanente en hiver sur le Saint-Laurent
1970	La largeur du chenal de navigation passe de 150 m à 245 m
1979	Barrage de l'île du Moulin (restauration)
1986	Barrage Grand-Moulin, rivière des Mille Îles
1992	La profondeur du chenal de navigation entre Deschailons et Montréal passe de 10,7 m à 11,0 m

Remarque. – Deschailons est situé approximativement à mi-chemin entre Trois-Rivières et Québec.

Sources : Hydro-Québec, 1993; Bergeron, 1995; Procéan et al., 1996; Carpentier, 1998.

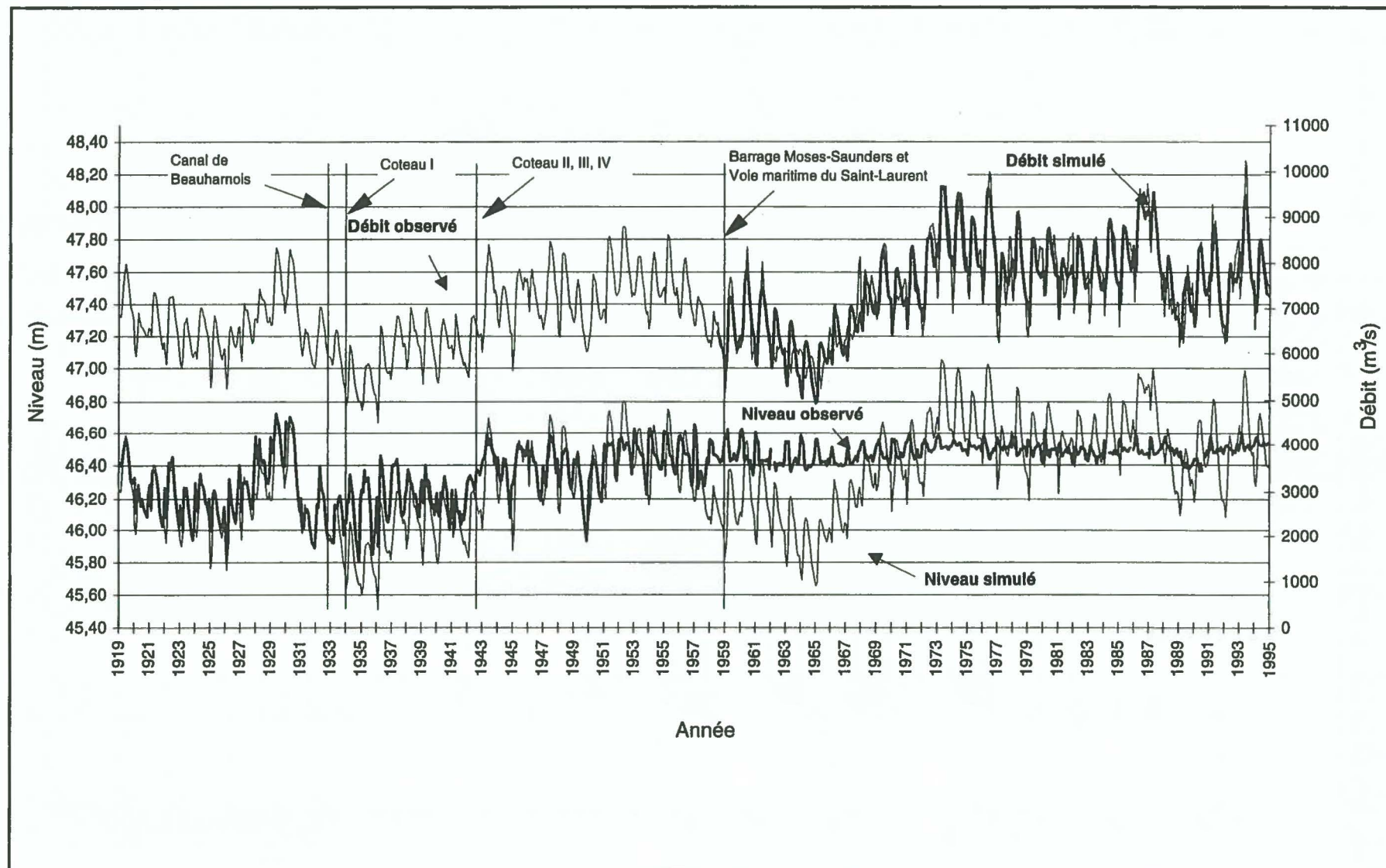
Tous les ouvrages d'ingénierie cités au tableau 2.3 ont été conçus, à l'origine, dans le but de favoriser la navigation, permettre la production d'énergie hydroélectrique, et limiter les risques d'inondation. Ces ouvrages ont modifié les niveaux d'eau du Saint-Laurent à différentes échelles et de façon plus ou moins durable. Cependant, la plupart de ces infrastructures n'altèrent que localement les conditions hydrologiques (barrages de Saint-Timothée, Les Cèdres, Rapides-des-Coteau, Île Juillet) ou constituent des barrages « au fil de l'eau » n'ayant qu'un impact mineur (barrages de Rivière-des-Prairies et Carillon) ou local (barrage du Grand Moulin) sur les niveaux d'eau. Seul le barrage de Moses-Saunders affecte de façon importante les niveaux d'eau et les débits sur une grande échelle. Dans une étude récente, Morin et Leclerc (1997) ont reconstruit les conditions de débits et de niveaux d'eau au lac Saint-François observées avant la construction du complexe de Beauharnois (conditions supposées « naturelles ») et les ont comparées aux conditions réellement observées, qui sont influencées par les facteurs anthropiques (barrages de Beauharnois, de Rapides-des-Coteau, Moses-Saunders, Voie maritime du Saint-Laurent, etc.) (figure 2.14). Cette comparaison fait ressortir les faits suivants :

- avant 1933 (avant la présence du barrage de Beauharnois), on considère que l'écoulement naturel n'a pratiquement pas été influencé par les activités de l'homme;
- entre 1933 et 1957 (effets du barrage de Beauharnois et des barrages de Coteau I,II,III et IV), les écarts entre les niveaux observés et naturels sont significatifs mais demeurent relativement mineurs;
- depuis 1958 (construction du barrage Moses-Saunders et mise en place de la Voie maritime du Saint-Laurent), ces écarts sont majeurs et indéniables au lac Saint-François.

Ces résultats confirment que l'ajout du barrage Moses-Saunders constitue le véritable mécanisme de régularisation des niveaux d'eau du lac Saint-François. Cependant, le complexe Les Cèdres-Beauharnois aide à régulariser les niveaux d'eau et à maintenir un niveau d'eau stable au lac Saint-François. Par ailleurs, selon une étude de Carpentier et Pelletier (1981), la régularisation a eu également un effet sur les variations saisonnières des débits (figure 2.15). En effet, les crues régularisées présentent des débits moins élevés au printemps et des étiages moins prononcés à l'automne, avec un décalage des débits maximums et minimums de un à deux mois par rapport au cycle saisonnier des débits naturels (période 1860-1954). Ce changement de régime hydrologique est valide à la sortie du lac Ontario, mais ne s'applique pas nécessairement en aval sur le Saint-Laurent.

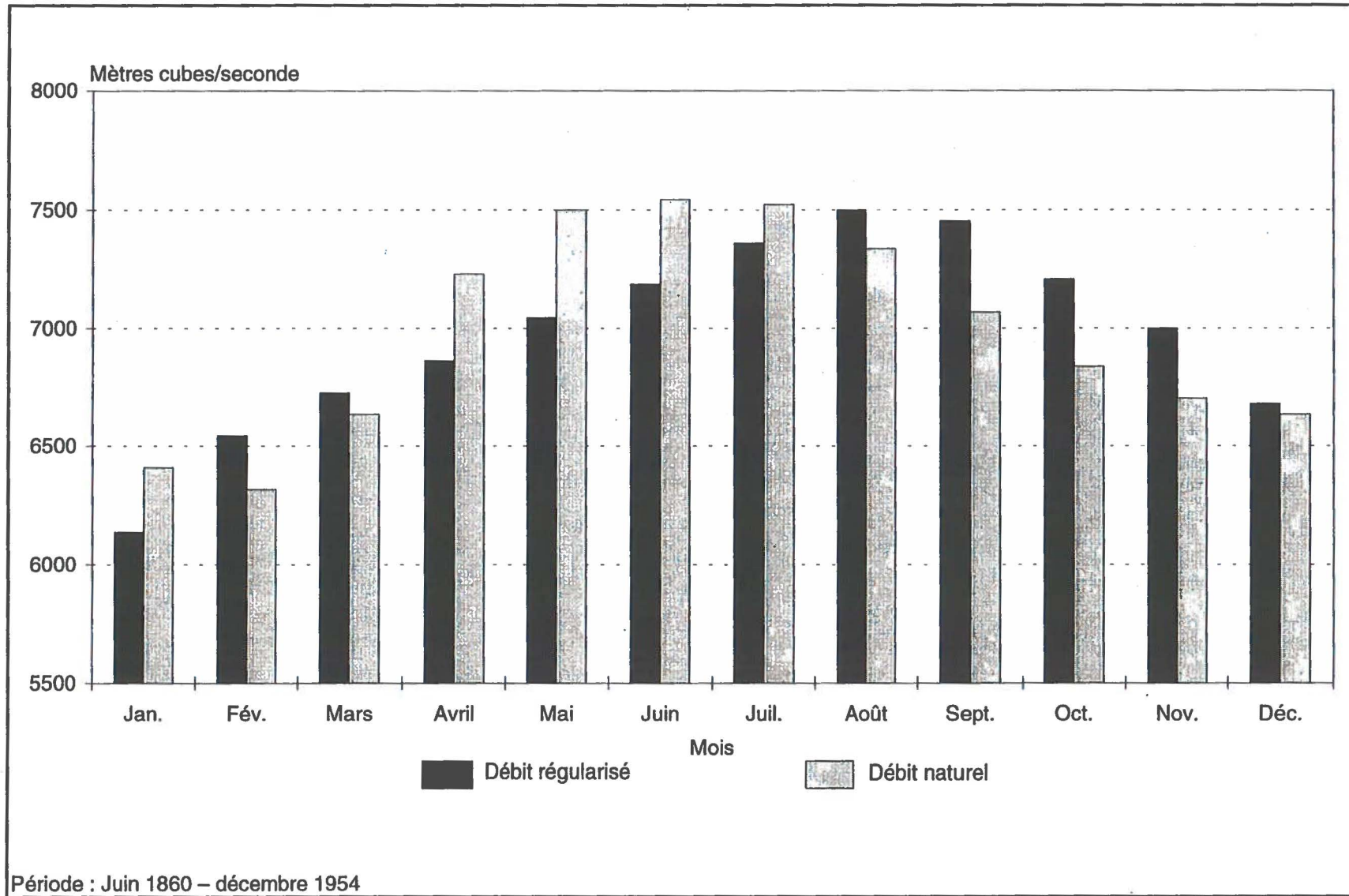
Enfin, les ouvrages de régularisation situés sur la rivière des Outaouais constituent un autre réseau hydraulique d'importance visant à limiter les inondations tout en optimisant la production hydroélectrique de la rivière des Outaouais. En effet, cette rivière est caractérisée par une double crue. La première, à la mi-avril, est surtout associée au dégel et à la fonte des neiges dans la partie sud du bassin, où aucune possibilité de régularisation n'existe. À cet égard, il faut rappeler que le barrage de Carillon est un ouvrage au fil de l'eau dont le réservoir situé en amont n'a pas de capacité d'emmagasinage (Carpentier, 1998). Il n'est donc pas possible d'atténuer les risques provenant de la première crue qui, en raison de la présence de glaces et d'embâcles, peut causer des dégâts importants. La deuxième crue est généralement plus forte et survient en mai. Elle résulte principalement de la fonte et du dégel dans la partie supérieure du bassin, où sont situés les réservoirs et les ouvrages de régularisation. Cependant, cette crue n'est que partiellement régularisée (CPRRO, 1984).

FIGURE 2.14 Comparaison entre les débits observés et reconstitués et les niveaux observés et reconstitués au lac Saint-François entre 1919 et 1995



Source : Morin et Leclerc, 1997.

FIGURE 2.15 Comparaison entre le débit naturel et le débit régularisé (simulé selon le Plan 1958-D) à la sortie du lac Ontario



Source : Carpentier et Pelletier, 1981.

OUVRAGES MODIFIANT LA SECTION TRANSVERSALE DU FLEUVE

En plus des ouvrages de contrôle, on retrouve d'autres facteurs anthropiques affectant les niveaux d'eau par une modification de la section transversale du fleuve. Le dragage du chenal maritime et des hauts-fonds est un exemple de travaux permettant d'augmenter la profondeur d'eau au centre du chenal et pouvant la diminuer près des rives originales²⁹. En effet, des travaux de dragage majeurs favorisent la concentration du débit dans le canal principal et une réduction des vitesses du courant dans les parties peu profondes.

Les activités d'entretien du chenal de navigation sont effectuées régulièrement sur 200 km, soit 170 km entre Montréal et Québec et 30 km en aval de Québec. Par ailleurs, la création d'îlots de dragage et des îles d'Expo 67, l'implantation d'estacades et de déversoirs, de même que les travaux de remblayage réalisés lors de la construction du tunnel Louis-Hyppolyte-LaFontaine, ont aussi eu une influence sur les niveaux d'eau, les vitesses de courant et d'autres aspects hydrodynamiques. Cependant, la description plus détaillée des impacts de ces ouvrages dépasse le cadre du présent rapport, car les modifications des niveaux d'eau sont locales et les impacts réels sur le Saint-Laurent sont davantage liés à la perte d'habitats fauniques qu'aux variations du niveau d'eau.

CONSOMMATION ET DÉRIVATION D'EAU

La consommation totale d'eau dans le Saint-Laurent, que ce soit à des fins domestiques, commerciales, institutionnelles ou industrielles, s'élevait à 2 930 288 m³/jour (33,9 m³/s) en 1994, dont plus de 67 p. 100 provenaient du lac Saint-Louis (Bernier *et al.*, 1998). Au Québec, les besoins en eau des municipalités sont presque trois fois moindres que les besoins pour la production industrielle. Les industries demeurent de ce fait les principales sources de pression sur la quantité d'eau prélevée, du moins dans la région du lac Saint-Louis (Jourdain *et al.*, 1994a; Bergeron, 1995). En ce qui concerne l'agriculture, l'approvisionnement en eau à partir du fleuve semble plutôt marginal (Auclair *et al.*, 1991; Jourdain *et al.*, 1994a), la pratique privilégiée dans ce domaine étant l'irrigation à partir des eaux souterraines.

²⁹ Toutefois, selon une étude récente (Procéan *et al.*, 1996), des travaux de dragage mineurs ou sélectifs, comme ceux proposés pour augmenter la profondeur garantie de 1 à 11,3 mètres, n'auraient aucune influence significative sur les niveaux d'eau près des rives.

Au total, on estime que la consommation nette d'eau du Saint-Laurent représentait, en 1989, environ 9 m³/s, soit 0,1 p. 100 du débit moyen mesuré à Lachine³⁰ (CMI, 1993). Cette valeur est minime, ce qui laisse croire que la pression sur le Saint-Laurent a peu d'importance. Cependant, une inquiétude demeure du fait que la consommation d'eau dans le bassin des Grands Lacs pourrait augmenter rapidement d'ici quelques décennies, ce qui aurait un effet cumulatif non négligeable sur le Saint-Laurent au cours du prochain siècle (CMI, 1993). De plus, les prélèvements d'eau pour l'irrigation (parfois considérables dans les Grands Lacs) et les travaux mineurs de dérivation ne sont pas sujets à réglementation comme le sont les dérivations à large échelle³¹.

L'absence de réglementation sur cet aspect pourrait générer un déficit important pour les Grands Lacs et le Saint-Laurent au cours des prochaines décennies. En effet, des études récentes indiquent que les pressions sur l'eau exercées par les habitants de la région des Grands Lacs augmenteront dans le futur en raison d'une demande accrue. Une augmentation de 326 à 755 p. 100 de la consommation nette en eau (par rapport à la consommation de 1975) est prévue pour l'an 2035 dans le bassin des Grands Lacs (IJC, 1997). À elle seule, cette augmentation pourrait provoquer une diminution de 8,6 p. 100 du débit du Saint-Laurent à la hauteur de Cornwall (Farid *et al.*, 1997). De plus, cette estimation ne tient pas compte de l'effet des changements climatiques, qui assécheront les états du Mid-West et les états riverains des Grands Lacs. Cette situation entraînera selon toute vraisemblance des pressions politiques accrues de la part des États-Unis pour augmenter la quantité d'eau dérivée à partir des Grands Lacs ou la construction de nouveaux canaux de dérivation (ouvrages permettant de transférer une quantité d'eau vers des cours d'eau adjacents comme le Mississippi), faisant diminuer davantage le débit du Saint-Laurent (IJC, 1997; Farid *et al.*, 1997).

2.2.3.3 *Influence relative des facteurs naturels et anthropiques*

Les niveaux d'eau du Saint-Laurent peuvent changer rapidement (de quelques heures à quelques jours) et de façon significative (de quelques centimètres à plusieurs mètres).

³⁰ La consommation nette d'eau tient compte du volume d'eau retourné au fleuve et est donc plus petite que les prélèvements totaux. Les données de 1994 n'indiquaient que la consommation totale, ce qui explique pourquoi l'année 1989 est utilisée pour le calcul.

³¹ La *Charte des Grands Lacs*, signée en 1985 par les États américains et les provinces faisant partie du bassin Grands Lacs-Saint-Laurent, limite les dérivations d'eau à large échelle mais n'empêche pas la construction de canaux de dérivation mineurs. Cette charte a également le mandat d'évaluer les demandes futures en eau, de promouvoir la coopération et d'établir un cadre de référence de durabilité en évaluant les données relatives à l'utilisation des Grands Lacs (Farid *et al.*, 1997).

L'influence relative des facteurs naturels et anthropiques dépend du secteur considéré. L'analyse est donc effectuée selon les différentes régions du Saint-Laurent.

SECTION FLUVIALE

Les données présentées à la section 2.2.1 montrent que le lac Saint-François est passé d'un état naturel durant la première moitié du vingtième siècle à un bassin artificiel dont les fluctuations des moyennes mensuelles (crues et étiages) sont limitées à moins de 20 cm (figures 2.3 et 2.9A; tableau 2.4). Avant la construction de la Voie maritime du Saint-Laurent, du barrage Moses-Saunders et du complexe Beauharnois-Les Cèdres, les facteurs naturels constituaient les causes majeures des modulations des niveaux d'eau du lac Saint-François. Les variations des niveaux d'eau étaient alors synchrones avec la pluviosité combinée des Grands Lacs (Michigan, Huron, Sainte-Claire et Érié; voir figure 2.12). Ce lien entre la pluviosité des Grands Lacs et les niveaux d'eau du lac Saint-François a été altéré après la construction du barrage de Beauharnois (1932) et est complètement disparu avec la stabilisation des niveaux d'eau du lac suite à l'implantation du barrage Moses-Saunders et de la Voie maritime du Saint-Laurent³².

À d'autres stations du tronçon fluvial, la corrélation demeure encore présente aujourd'hui. Par exemple, aux stations de Pointe-Claire (figure 2.4) et de Sorel (figure 2.6), les minimums de pluviosité des Grands Lacs (1930, 1935, 1963) et les maximums (entre 1926 et 1929, de 1945 à 1956 et de 1970 à 1986) correspondent grosso modo (avec un décalage de 0 à 3 ans) avec les épisodes de bas et de hauts niveaux enregistrés à ces stations. Une étude plus élaborée serait toutefois nécessaire pour tenter d'établir un lien statistique précis entre la pluviosité des Grands Lacs et les niveaux d'eau du Saint-Laurent, en l'absence et en présence des mécanismes de régularisation anthropique.

Dans ce qui suit, certaines statistiques de base pour quatre stations du tronçon fluvial ont été examinées pour deux périodes distinctes : 1919-1946 et 1968-1995. La première période représente une époque antérieure à la construction de la Voie maritime du Saint-Laurent et des barrages Moses-Saunders et Carillon, alors que la seconde période constitue une époque où l'écoulement du Saint-Laurent est fortement modifié par les travaux d'ingénierie et le plan de régularisation 1958-D. De plus, l'année 1968 marque le début de la navigation permanente en hiver sur le Saint-Laurent, et aucune variation majeure des infrastructures de régularisation et de contrôle n'a été entreprise depuis. En effectuant des statistiques de façon

³² En ce qui concerne le lac Saint-François, on doit aujourd'hui utiliser la courbe naturelle reconstituée des niveaux d'eau (figure 2.14) pour établir un lien avec la pluviosité des Grands Lacs.

individuelle pour les deux périodes (d'une durée identique de 28 ans chacune)³³, il est possible d'évaluer l'effet des ouvrages hydrauliques et des mécanismes de gestion et de régularisation sur les niveaux d'eau du Saint-Laurent.

Le tableau 2.4 présente, pour les deux périodes, les niveaux moyens, l'amplitude annuelle moyenne³⁴, l'écart type à la moyenne et le coefficient de variation. La comparaison de l'amplitude annuelle moyenne des deux périodes donne une indication de l'effet des facteurs anthropiques sur les fluctuations saisonnières alors que la comparaison de l'écart type et celle du coefficient de variation renseignent sur les fluctuations interannuelles avant et après la mise en œuvre des ouvrages de régularisation.

Les changements dans les moyennes calculées (niveau moyen et amplitude annuelle moyenne) pour les deux périodes (tableau 2.4) sont tous significatifs à un niveau de confiance supérieur à 95 p. 100 selon le test-*t* de Student, sauf pour le niveau moyen à Sorel. Par ailleurs, seule la station de Coteau-Landing a connu une différence statistiquement significative (niveau de confiance supérieur à 95 p. 100) en ce qui concerne les changements de l'écart type d'une période à l'autre³⁵.

L'effet de la régularisation est particulièrement important au lac Saint-François (Coteau-Landing), qui a connu une réduction de l'amplitude annuelle moyenne d'un facteur de 3. Par ailleurs, l'écart type des niveaux moyens annuels a largement diminué (d'un facteur d'environ 5) à cet endroit. Ces changements témoignent de l'influence des ouvrages hydrauliques et des mécanismes de régularisation et de contrôle dans ce secteur du Saint-Laurent. La station du Port de Montréal a également connu une baisse substantielle de l'amplitude annuelle moyenne des niveaux d'eau. Aux autres stations du tronçon fluvial, la diminution de l'amplitude annuelle moyenne dans la seconde période est moins marquée mais est statistiquement significative.

La différence entre les écarts types de la moyenne des niveaux d'eau des deux périodes étudiées (1919-1946 par rapport à 1968-1995) est statistiquement significative à Coteau-Landing. La différence observée à Pointe-Claire et au port de Montréal est moins grande et n'est pas statistiquement significative, alors qu'elle devient nulle à Sorel. Ceci suggère que la variabilité interannuelle (également évaluée par le coefficient de variation) a été

³³ La période choisie, d'une durée de 28 ans, correspond approximativement à la longueur des cycles naturels mesurés dans le système Grands Lacs-Saint-Laurent (section 2.2.1.3).

³⁴ Écart entre la moyenne mensuelle maximale et la moyenne mensuelle minimale.

³⁵ Un test de Fisher a été utilisé pour comparer les variances et les résultats ont été appliqués à l'écart type (Scherrer, 1984).

modifiée de façon importante à Coteau-Landing et de façon mineure à Pointe-Claire et au port de Montréal (tableau 2.4). À Sorel, on n'observe plus aucune variation.

Les figures 2.16A à 2.16D montrent les changements du cycle saisonnier (ou annuel) survenus au cours des deux périodes, ce qui confirme les modifications majeures dues à l'action humaine à Coteau-Landing (figure 2.16A) et au port de Montréal (figure 2.16C). À Pointe-Claire et à Sorel (figures 2.16B et 2.16D), la baisse de l'amplitude annuelle moyenne suite à l'installation des ouvrages de régularisation est moins évidente et elle est peut-être masquée par d'autres facteurs, notamment une augmentation possible de la variabilité des facteurs hydrométéorologiques du bassin Grands Lacs–Saint-Laurent. La mise en place des ouvrages anthropiques a donc eu une influence moins forte à ces deux dernières stations.

Le comportement des niveaux d'eau au port de Montréal mérite des explications supplémentaires. En effet, cette station est située en aval de Pointe-Claire, où la régularisation a eu moins d'effets sur les niveaux d'eau, comparativement à Coteau-Landing. On pourrait donc s'attendre à ce qu'il en soit ainsi au port de Montréal. Or, des changements importants de l'amplitude annuelle moyenne sont observés d'une période à l'autre (1919-1946 par rapport à 1968-1995) à la station du Port de Montréal. Ces changements pourraient être liés à l'absence de couvert de glace hivernal depuis 1968, aux travaux de dragage et à la construction des îles d'Expo 67 qui ont modifié la section transversale du fleuve (Yee, 1997). Les pratiques découlant du plan de régularisation 1958-D (atténuation des débits de crue et augmentation des débits d'étiage) ont également eu un impact. D'après Bergeron (1995), cependant, la baisse du niveau moyen au port de Montréal résulterait principalement d'un abaissement des niveaux maxima depuis 1958. D'autres explications sont fournies par certains intervenants. Selon Slivitzky (1998), les changements à long terme dans les moyennes annuelles sont probablement liés à une augmentation de la profondeur du chenal de navigation par dragage, ce qui pourrait expliquer des maximums plus faibles dans la période 1968-1995 que dans la période antérieure à 1946 au port de Montréal. De plus, la construction de « déversoirs » pourrait, en grande partie, expliquer la hausse des minimums enregistrés à cet endroit au cours de la période 1968-1995.

TABLEAU 2.4

Statistiques des niveaux d'eau pour les périodes 1919-1946 et 1968-1995*

STATION	PÉRIODE (1919-1946)				PÉRIODE (1968-1995)			
	Niveau d'eau (m)**			Amplitude annuelle moyenne (m)	Niveau d'eau (m)			Amplitude annuelle moyenne (m)
Moyenne	Écart type	CV*** (%)	Moyenne		Écart type	CV (%)		
Coteau-Landing (lac Saint-François)	46,25 ^a	0,14 ^b	0,30	0,34 ^a	46,50 ^a	0,03 ^b	0,06	0,11 ^a
Pointe-Claire (lac Saint-Louis)	20,96 ^a	0,25	1,19	0,98 ^a	21,48 ^a	0,20	0,93	0,80 ^a
Port de Montréal (Jetée n° 1)	7,37 ^a	0,43	5,83	4,07 ^a	6,83 ^a	0,32	4,69	1,61 ^a
Sorel (lac Saint-Pierre)	4,99	0,25	5,01	1,84 ^a	5,07	0,25	4,93	1,50 ^a

* Statistiques calculées à partir de moyennes mensuelles.

** Les niveaux sont exprimés selon le système de référence SRIGL 1985.

*** CV : coefficient de variation. Il s'agit du rapport entre l'écart type et la moyenne, exprimé en pourcentage. Il est utilisé comme mesure de la variabilité interannuelle. Aucun test statistique n'a été effectué sur le coefficient de variation.

^a Différence significative entre les deux périodes (niveau de confiance supérieur à 95 p. 100 selon le test *t* de Student).

^b Différence significative entre les deux périodes (niveau de confiance supérieur à 95 p. 100 selon le test de Fisher appliqué sur la variance).

Source : À partir des données de MPO, 1997.

Des études plus poussées seraient nécessaires pour départager plus précisément l'effet des facteurs anthropiques et des facteurs naturels sur les variations des niveaux d'eau. Entre autres, une synthèse statistique de toutes les données de niveau d'eau sur le Saint-Laurent (banque de données du Service de données sur le milieu marin de Pêches et Océans Canada, HYDAT, etc.) devrait être réalisée afin de préciser l'effet des modes de gestion et celui des fluctuations naturelles des précipitations, ainsi que leurs liens avec les fluctuations interannuelles des débits d'eau.

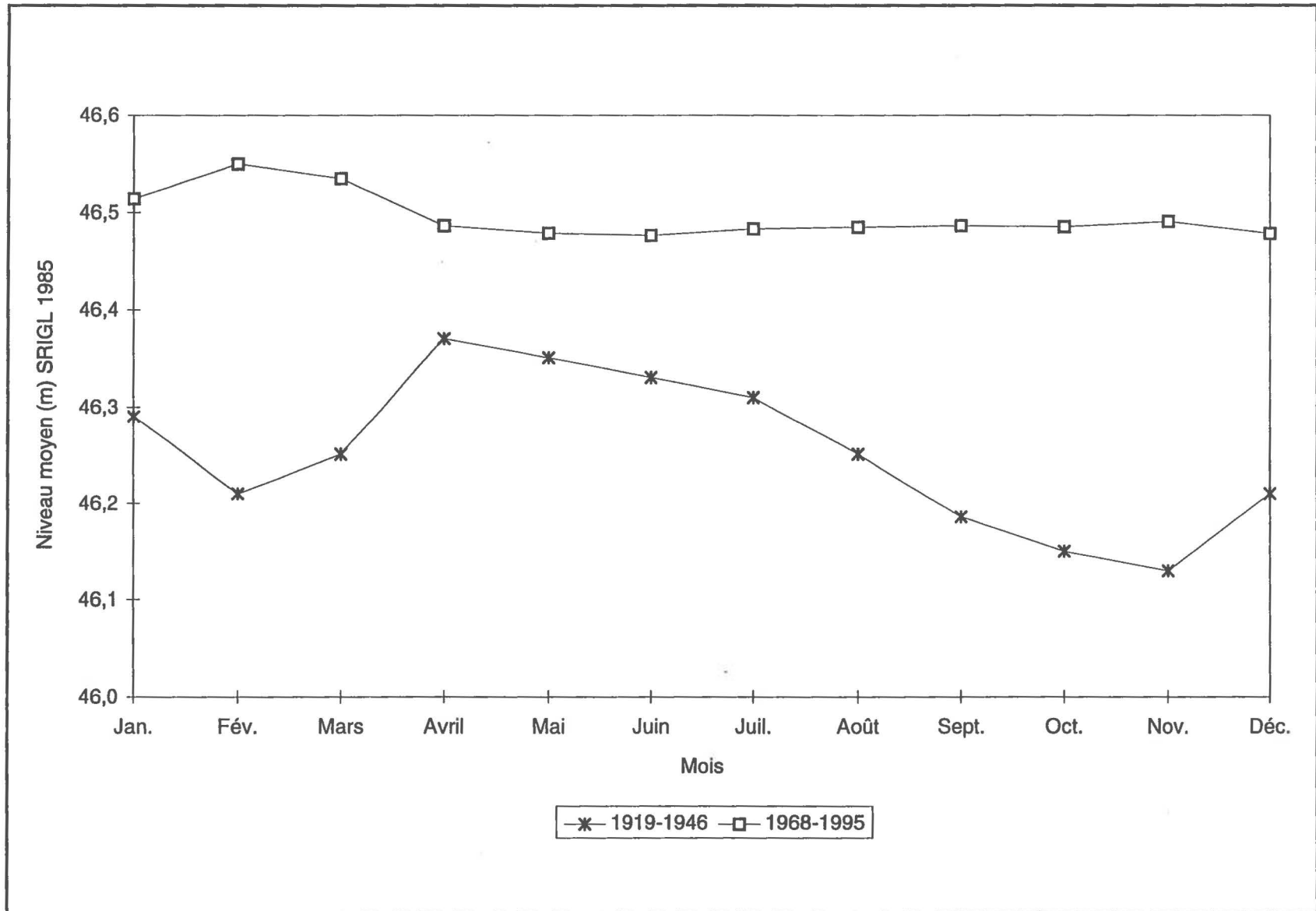
On peut néanmoins tirer certaines conclusions sur l'effet des mécanismes de régularisation des niveaux d'eau dans le tronçon fluvial :

- à toutes les stations du tronçon fluvial, l'amplitude annuelle moyenne des niveaux d'eau a été réduite de façon plus ou moins importante par les mécanismes de contrôle de débit du Saint-Laurent et probablement par les activités liées au maintien d'un chenal de navigation. Ces effets sont surtout évidents au lac Saint-François et au port de Montréal;
- la régularisation des niveaux d'eau a diminué la variabilité interannuelle dans la partie ouest du tronçon fluvial (lac Saint-François et lac Saint-Louis); son effet diminue rapidement à mesure que l'on s'éloigne vers l'aval. Dans la partie est du tronçon fluvial, l'effet est moins évident ou même absent, possiblement masqué par une augmentation de la variabilité des précipitations. Selon Slivitzky (1997), les débits des 25-30 dernières années sont les plus élevés depuis 1860, ce qui est consistant avec cet énoncé.

SECTION MARITIME

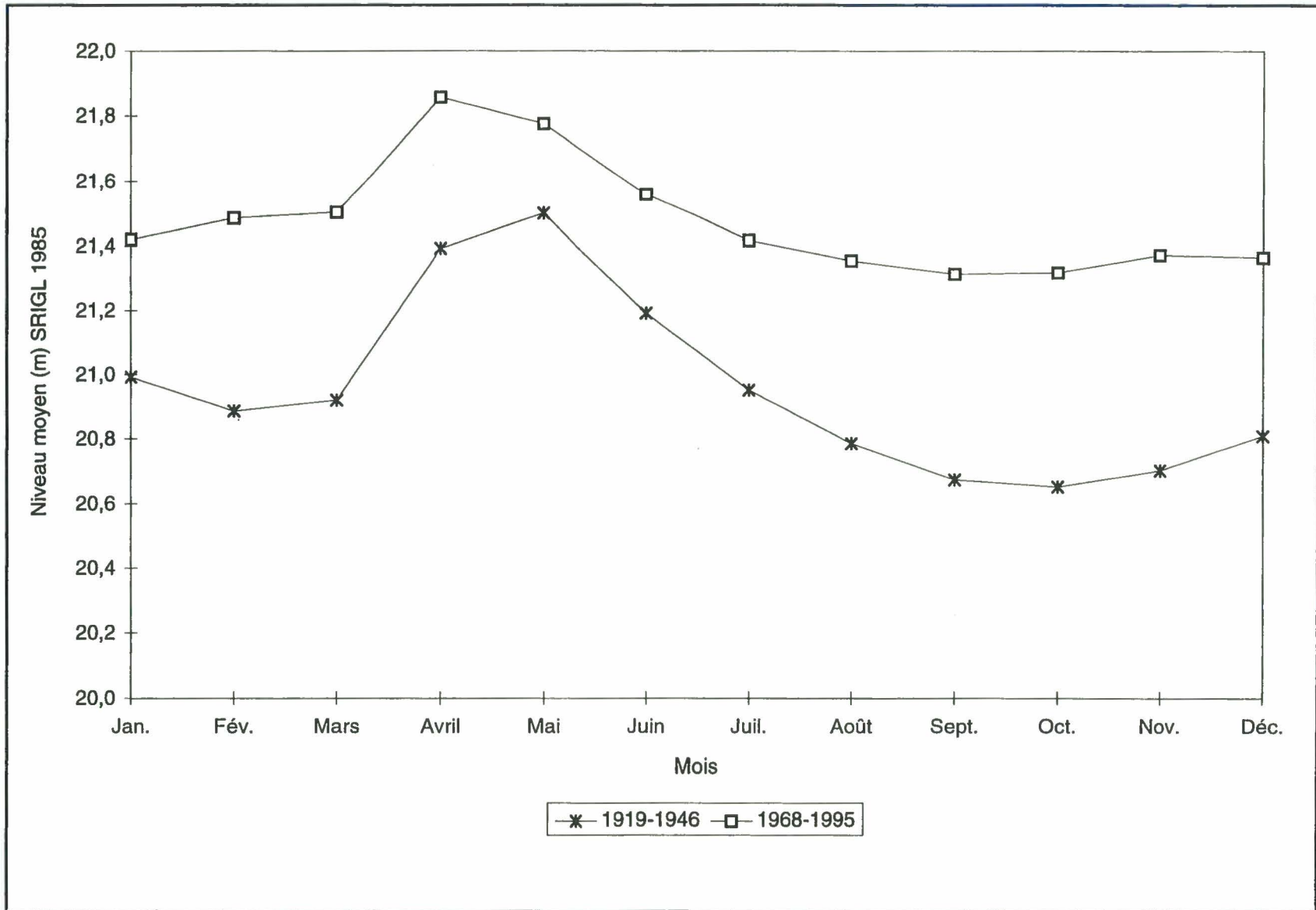
Dans les autres secteurs du Saint-Laurent (moyen estuaire, estuaire maritime et golfe), les changements entre les deux périodes sont faibles et attribuables à des facteurs naturels. Dans le moyen estuaire, les effets des mécanismes de régularisation sont largement masqués par le régime de marées (à court terme), l'apport des rivières tributaires et la montée du niveau des océans (à long terme). À partir de l'estuaire maritime, l'impact de la régularisation anthropique est négligeable car les variations des niveaux d'eau de ces secteurs sont davantage influencées par les grandes marées, les vents forts et les systèmes dépressionnaires que par les apports d'eau provenant de la partie supérieure du Saint-Laurent, des rivières tributaires ou des précipitations (Bergeron, 1995).

FIGURE 2.16A Comparaison du cycle annuel des niveaux d'eau à la station de Coteau-Landing entre les périodes 1919-1946 et 1968-1995



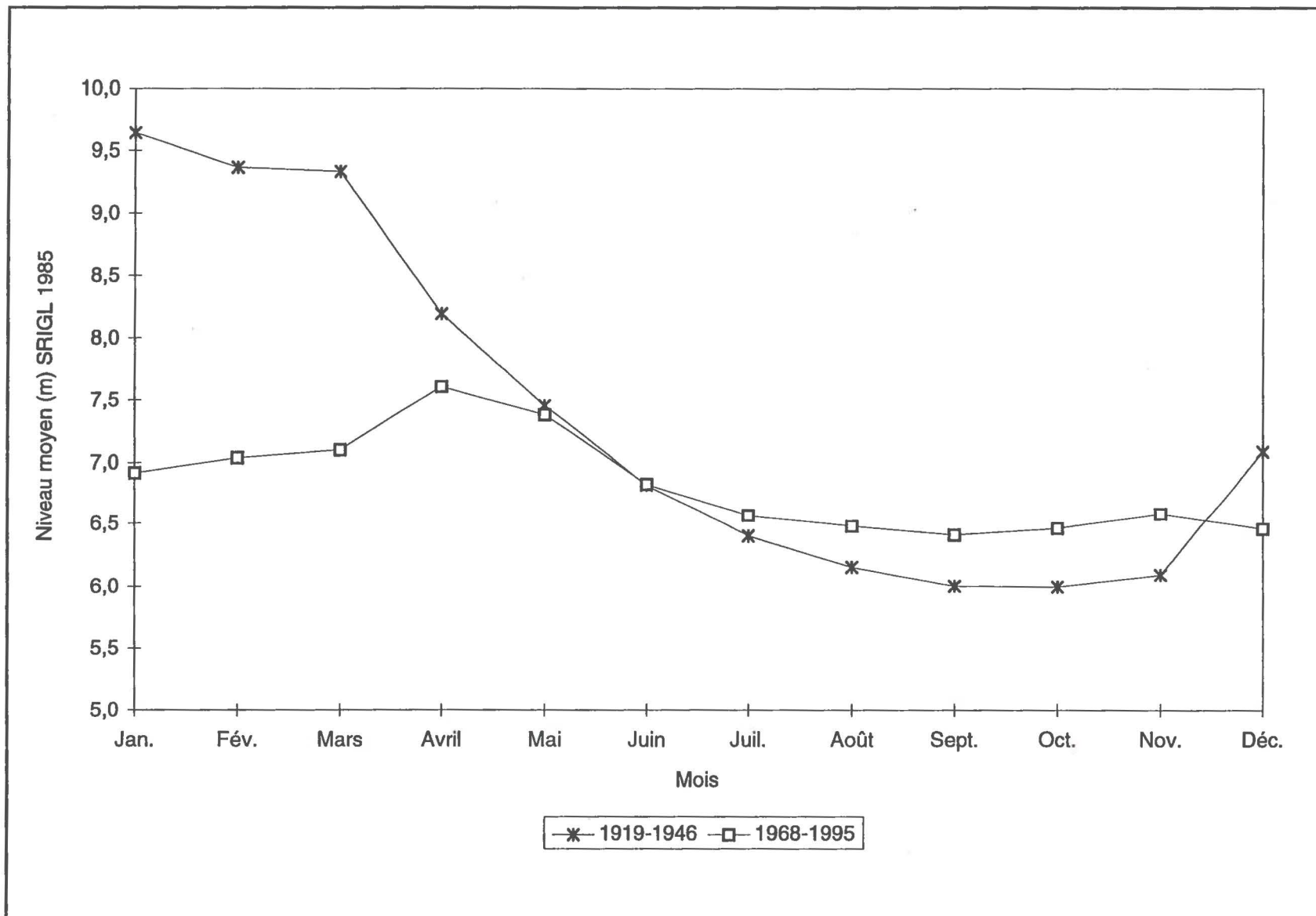
Source : À partir des données de MPO, 1997.

FIGURE 2.16B Comparaison du cycle annuel des niveaux d'eau à la station de Pointe-Claire entre les périodes de 1919-1946 et 1968-1995



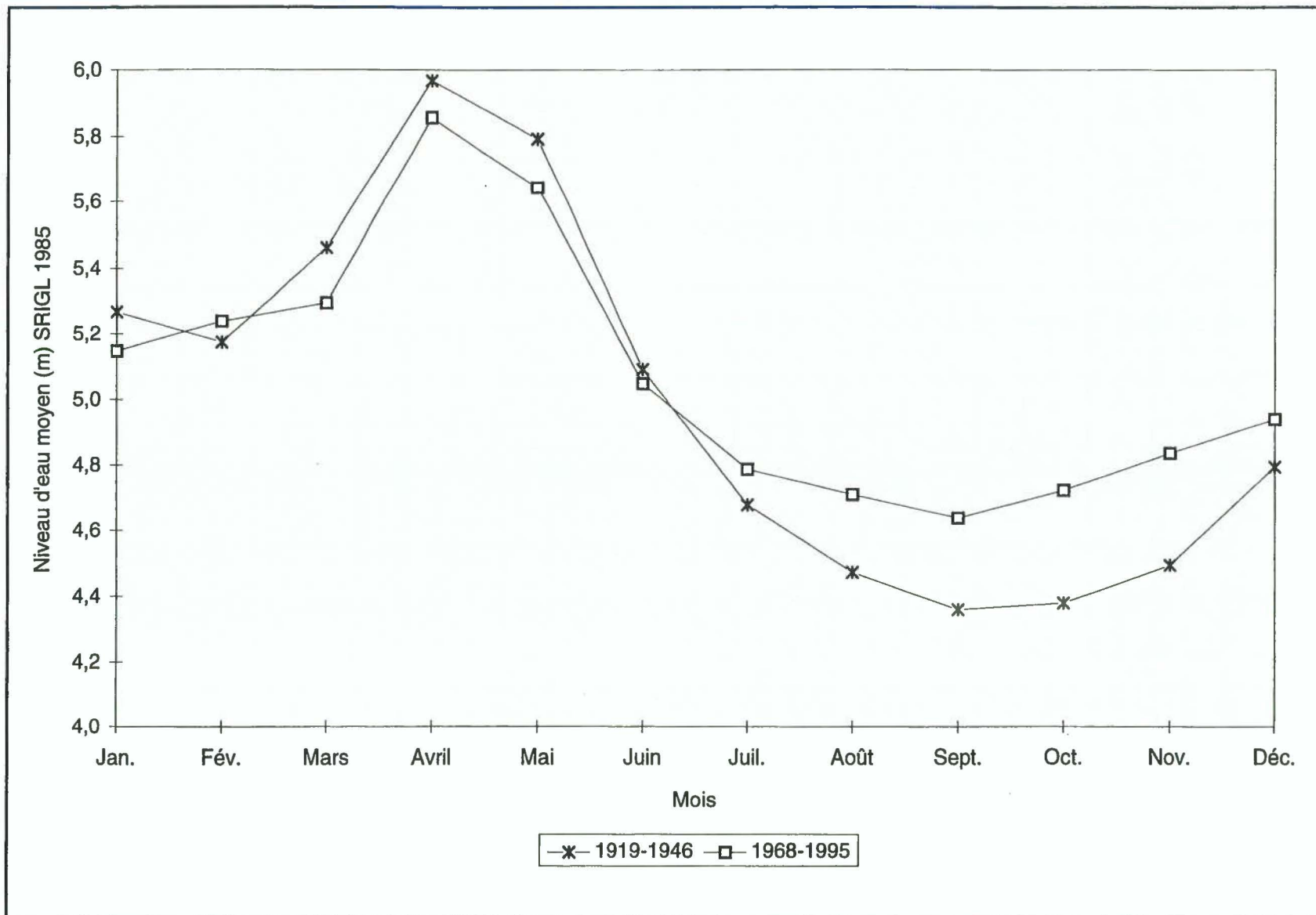
Source : À partir des données de MPO, 1997.

FIGURE 2.16C Comparaison du cycle annuel des niveaux d'eau à la station du Port de Montréal entre les périodes 1919-1946 et 1968-1995



Source : À partir des données de MPO, 1997.

FIGURE 2.16D Comparaison du cycle annuel des niveau d'eau à la station de Sorel entre les périodes 1919-1946 et 1968-1995



Source : À partir des données de MPO, 1997.

FACTEURS DÉTERMINANT LES NIVEAUX D'EAU

Les ouvrages de régularisation sont donc responsables, en grande partie, de la baisse de l'amplitude des *fluctuations saisonnières* des niveaux d'eau dans le tronçon fluvial. Cependant, les fluctuations des apports en eau (précipitation) dans le bassin Grands Lacs-Saint-Laurent jouent un rôle de premier plan dans les *fluctuations interannuelles* des niveaux d'eau dans le tronçon fluvial du Saint-Laurent. Par conséquent, les facteurs déterminants du niveau d'eau dans le tronçon fluvial sont, par ordre d'importance, les fluctuations des apports nets en eau (précipitation) dans le bassin des Grands Lacs, les infrastructures de régularisation et l'apport des rivières tributaires (l'ordre d'importance de ces facteurs peut varier d'un endroit à un autre, de façon locale ou régionale). En aval, les facteurs naturels deviennent de plus en plus importants. Ainsi, dans l'estuaire fluvial, les marées et les conditions atmosphériques (vent et pression atmosphérique) prennent de l'importance. Enfin, dans l'estuaire et le golfe, les niveaux d'eau sont principalement déterminés par les vents et les systèmes dépressionnaires (à court terme), ainsi que par la montée du niveau des océans (à long terme).

Le tableau 2.5 identifie les facteurs explicatifs des fluctuations du niveau d'eau pour chaque station analysée le long du Saint-Laurent.

TABLEAU 2.5

Facteurs explicatifs des fluctuations des niveaux d'eau

STATION	FACTEURS DÉTERMINANTS DES FLUCTUATIONS DES NIVEAUX D'EAU	COMMENTAIRES
Coteau-Landing (tronçon fluvial)	Régularisation (barrages Moses Saunders et Beauharnois) Précipitation récente dans le bassin des Grands Lacs	Le lac Saint-François est un bassin fortement régularisé.
Pointe-Claire (tronçon fluvial)	Précipitation récente dans le bassin des Grands Lacs Régularisation du débit sortant du lac Ontario Débit de la rivière des Outaouais	Les fluctuations des niveaux d'eau sont moins sensibles aux facteurs anthropiques qu'aux stations de Coteau-Landing et du Port de Montréal.
Port de Montréal (tronçon fluvial)	Précipitation récente dans le bassin des Grands Lacs Régularisation du débit sortant du lac Ontario Débit de la rivière des Outaouais	Historiquement, la présence de glaces favorisait des niveaux plus élevés à cette station en hiver.
Sorel (tronçon fluvial)	Précipitation récente dans le bassin des Grands Lacs Régularisation du débit sortant du lac Ontario Apport des rivières tributaires	L'influence des mécanismes de régularisation est de moindre importance.

STATION	FACTEURS DÉTERMINANTS DES FLUCTUATIONS DES NIVEAUX D'EAU	COMMENTAIRES
Neuville (estuaire fluvial)	Marées Précipitation récente dans le bassin des Grands Lacs Apport des rivières tributaires Conditions météorologiques locales (vent, pression atmosphérique) Élévation du niveau de la mer	Influence presque exclusive des facteurs naturels dans ce secteur et plus en aval.
Pointe-au-Père (estuaire maritime)	Marées Précipitation récente dans le bassin des Grands Lacs Apport des rivières tributaires Conditions météorologiques locales (vent, pression atmosphérique) Élévation du niveau de la mer	
Sept-Îles (golfe)	Marées Conditions météorologiques locales (vent, pression atmosphérique) Apport des rivières tributaires Élévation du niveau de la mer	On observe une tendance à la hausse des niveaux d'eau, à long terme, dans le golfe du Saint-Laurent.

2.2.3.4 Synopsis

TABLEAU 2.6

Sommaire des facteurs influençant les niveaux d'eau du Saint-Laurent

SECTEUR	STATIONS ANALYSÉES	FACTEURS DÉTERMINANTS DES FLUCTUATIONS DES NIVEAUX D'EAU
Tronçon fluvial	Coteau-Landing, Pointe-Claire, Port de Montréal, Sorel	<p>Dans l'ensemble du tronçon fluvial, les facteurs déterminants du niveau d'eau sont, par ordre d'importance :</p> <ul style="list-style-type: none"> • les fluctuations naturelles des précipitations (bassin des Grands Lacs et de la rivière des Outaouais); • les infrastructures de régularisation; • l'apport des rivières tributaires. <p>À toutes les stations, l'amplitude moyenne annuelle des niveaux d'eau a été réduite par les mécanismes de régularisation. La régularisation a diminué la variabilité interannuelle dans la partie ouest du tronçon fluvial. Dans sa partie est, l'effet est moins évident ou même absent, possiblement masqué par les fluctuations des facteurs naturels. L'influence de la régularisation diminue rapidement à mesure que l'on s'éloigne de Beauharnois vers l'aval pour devenir non significative dans l'estuaire fluvial.</p> <p>Le cycle saisonnier présente un maximum au printemps (cru) et un minimum à la fin de l'été (étiage).</p>
Estuaire fluvial	Neuville	<p>Dans ce secteur, les marées et les conditions météorologiques (tempêtes, précipitation dans l'ensemble du bassin, embâcles, etc.) sont les principaux facteurs déterminant les niveaux d'eau. L'apport des rivières tributaires a aussi plus d'impact que la régularisation. L'effet des infrastructures de régularisation est faible.</p> <p>Le cycle saisonnier est semblable à celui du tronçon fluvial.</p>

SECTEUR	STATIONS ANALYSÉES	FACTEURS DÉTERMINANTS DES FLUCTUATIONS DES NIVEAUX D'EAU
Moyen estuaire	Aucune station n'a enregistré des données sur une période suffisante pour analyser les fluctuations de niveaux d'eau	Les principaux facteurs déterminants du niveau d'eau sont les marées et les conditions météorologiques locales et régionales (vents et systèmes dépressionnaires). L'effet des infrastructures de régularisation est négligeable.
Estuaire maritime et golfe	Pointe-au-Père, Sept-Îles, Harrington Harbour	Les principaux facteurs déterminants du niveau d'eau sont les marées et les conditions météorologiques locales et régionales (vents et systèmes dépressionnaires). L'effet des infrastructures de régularisation est négligeable. Le cycle saisonnier est très différent de celui de la section fluviale : à Harrington Harbour, les maximums mensuels sont enregistrés en hiver et les minimums au printemps.

Commentaires

- Les facteurs naturels pouvant influencer les niveaux d'eau sont nombreux et leur influence respective dépend de l'échelle spatio-temporelle considérée. De façon générale, on peut affirmer que la précipitation dans le bassin Grands Lacs-Saint-Laurent constitue le facteur naturel le plus influant sur les niveaux d'eau de la partie fluviale du Saint-Laurent. Les autres facteurs naturels à considérer sont : le ruissellement, l'évaporation, les embâcles, les herbiers aquatiques, les vents, les marées, la pression atmosphérique et, à plus long terme, le soulèvement isostatique.
- Les principaux facteurs anthropiques susceptibles de modifier le niveau d'eau du Saint-Laurent sont la régularisation et le contrôle des débits (Moses-Saunders et Beauharnois), le dragage des chenaux, la consommation d'eau et les dérivations d'eau.
- Plusieurs des conclusions présentées ci-haut découlent d'une analyse des niveaux d'eau réalisée en considérant deux périodes distinctes, 1919-1946 et 1968-1995. La première période représente une époque antérieure à la construction de la Voie maritime du Saint-Laurent, des barrages, des plans de régularisation et des travaux majeurs d'aménagement sur le Saint-Laurent. La deuxième période représente une époque où aucune modification importante des infrastructures anthropiques n'a été entreprise (ère moderne). En comparant les statistiques des deux périodes, on peut donc faire ressortir certains aspects de l'effet de l'établissement des mécanismes de contrôle et de régularisation sur les niveaux d'eau du Saint-Laurent.
- Une étude plus élaborée serait nécessaire pour établir des liens précis entre les facteurs naturels et les niveaux d'eau du Saint-Laurent, en l'absence et en présence des mécanismes de régularisation anthropique. Par ailleurs, une analyse statistique poussée de l'ensemble des données de niveau d'eau le long du Saint-Laurent aiderait à préciser l'effet des modes de gestion et celui des fluctuations naturelles de l'apport en eau sur les fluctuations interannuelles des niveaux d'eau et des débits.

2.2.4 Les réponses

Dans le cadre d'analyse PER, une « réponse » est une action d'un agent de la société ayant pour but d'améliorer la composante « État » (aider à maintenir un usage ou une composante naturelle). La réduction des mécanismes de pression est souvent le moyen employé pour atteindre ce but. En ce qui concerne les niveaux d'eau, cependant, l'amélioration de la composante « État » est un concept difficile à définir car : a) les critères quant au maintien des usages sont dans la plupart des cas inexistant³⁶ et b) elle dépend des facteurs climatiques naturels (sur lesquels aucun contrôle n'est possible) dans une mesure variable, mais significative. De plus, une réponse donnée peut contribuer au maintien d'un usage spécifique mais nuire à un autre usage. C'est le cas de l'établissement de la Voie maritime du Saint-Laurent, qui a donné un essor à la navigation commerciale mais qui a contribué à limiter

³⁶ Les deux seules exceptions concernent le transport maritime (hauteur d'eau garantie de 11,0 m dans le chenal de navigation) et les risques d'inondation des propriétés riveraines (zones inondables de récurrence de 2, 5, 10, 100 ans).

la fourchette des fluctuations des niveaux d'eau du lac Saint-François, fluctuations qui étaient bénéfiques aux milieux humides et à certains usages fauniques.

En ce qui concerne les niveaux d'eau, deux grands types de réponses ont été identifiés : les programmes de gestion et de régularisation des niveaux d'eau et les programmes d'adaptation face aux fluctuations des niveaux d'eau.

2.2.4.1 Programmes de gestion et de régularisation des niveaux d'eau

PROGRAMME DE GESTION DU COMPLEXE BEAUHARNOIS-LES CÈDRES

En vertu d'une entente Ontario-Québec, le fonctionnement de la centrale Moses-Saunders est harmonisé avec celui de la centrale de Beauharnois afin d'assurer le maintien du niveau du lac Saint-François. La gestion du complexe Beauharnois-Les Cèdres, situé à la décharge du lac Saint-François, s'effectue de pair avec celle du barrage Moses-Saunders de sorte que le débit relâché soit à peu près égal au débit entrant. L'influence du complexe Beauharnois-Les Cèdres sur les niveaux d'eau du Saint-Laurent est donc mineure par rapport à celle du barrage Moses-Saunders. Par ailleurs, selon une autre entente liant les États-Unis, le Canada et la Beauharnois Light, Heat and Power Company, le niveau du lac Saint-François doit se situer en été entre 46,58 m et 46,63 m, cette dernière cote constituant aussi le niveau normal du lac en hiver (Jourdain, 1998).

Le débit à la sortie du lac Saint-François est contrôlé en grande partie par le barrage de Beauharnois qui relâche environ 84 p. 100 du débit total. Le débit résiduel est contrôlé par les quatre barrages de Coteau-du-Lac et varie entre 283 m³/s et 3000 m³/s selon le mode d'exploitation (SNC-Lavalin, 1994). Les niveaux d'eau du segment compris entre Coteau et Pointe-des-Cascades présentent des problèmes de fluctuations rapides qui originent essentiellement de l'étroite dépendance hydraulique de la centrale Les Cèdres vis-à-vis celle de Beauharnois (Environnement Illimité, 1987). Des ouvrages compensateurs ont donc été construits par Hydro-Québec de Coteau-Landing à Pointe-des-Cascades afin de régulariser les débits et maintenir les niveaux d'eau constants, notamment pour répondre aux besoins récréatifs et esthétiques locaux. Malgré tout, les résidents riverains, ainsi que l'ancien ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche du Québec (MLCP), se plaignaient fréquemment avant 1989 des impacts sur les usages et la faune ichtyenne (mortalité des poissons). Hydro-Québec a donc fait réaliser une étude dont l'objectif principal était de proposer un mode d'exploitation amélioré des ouvrages compensateurs du tronçon résiduel du complexe Beauharnois-Les Cèdres, répondant d'une part aux besoins et aux contraintes de production hydroélectrique et de gestion des ouvrages et d'autre part, aux préoccupations écologiques et à l'utilisation polyvalente et sécuritaire des bassins (Environnement Illimité, 1987). Depuis 1989, un nouveau

mode d'exploitation est en vigueur. Il a été adopté suite à une consultation auprès des différents intervenants impliqués. Ce nouveau mode d'exploitation aurait fait disparaître la mortalité chez certaines espèces de poissons mais suscite encore des préoccupations chez les riverains (Robert, 1997).

RÉGULARISATION DE LA RIVIÈRE DES OUTAOUAIS

La région de Montréal est très sensible aux crues de la rivière des Outaouais à sa confluence avec le Saint-Laurent. En effet, la rivière des Outaouais a une influence importante sur les niveaux d'eau du lac des Deux Montagnes, de la rivière des Prairies et de la rivière des Mille Îles, surtout au printemps. En contrepartie, la gestion des barrages Moses-Saunders et Beauharnois a moins d'impact sur les niveaux d'eau de ce secteur car l'eau de la rivière des Outaouais agit comme un bouchon empêchant les eaux du Saint-Laurent de pénétrer dans le lac des Deux Montagnes. Les inondations dans le secteur nord de la région de Montréal sont donc principalement dues aux crues de la rivière des Outaouais et sont peu influencées par les crues du lac Saint-François (Comité sur la régularisation des eaux, 1976).

La *Commission de planification de la régularisation de la rivière des Outaouais (CPRRO)* constitue une tentative de réponse aux problèmes d'inondations du bassin de la rivière des Outaouais et de sa zone de confluence avec le Saint-Laurent. À la suite des recommandations du Comité sur la régularisation des eaux, une étude a été entreprise en 1977 par divers organismes des gouvernements du Canada, du Québec et de l'Ontario, et a mené à la création de cette Commission. L'objectif de la Commission est de réduire les effets néfastes de débits trop élevés ou trop bas sur les riverains et de maximiser, dans la mesure du possible, les avantages de la régularisation (CPRRO, 1984). Cet organisme, composé de sept représentants (trois du gouvernement du Canada, deux du gouvernement de l'Ontario et deux du gouvernement du Québec), a pour mandat d'établir des principes généraux, des priorités et des politiques de régularisation pour les principaux réservoirs du bassin et de les mettre en œuvre. Un comité de régularisation gère l'exploitation des principaux réservoirs du bassin et s'assure que cette exploitation se fasse en conformité avec les politiques, directives et critères établis par la Commission.

Tel que mentionné précédemment, la rivière des Outaouais est caractérisée par une double crue. La première est généralement la moins forte des deux et elle survient tôt au printemps. Cette crue est surtout associée au dégel et à la fonte des neiges dans la partie sud du bassin, où les possibilités de régularisation sont moindres. Malgré les nombreux aménagements présents, la rivière des Outaouais n'est pas considérée comme un cours d'eau véritablement contrôlé (CSL, 1996a). Le barrage de Carillon est un ouvrage « au fil de l'eau » qui n'a pas de contrôle sur les débits. Même vide, son réservoir se remplirait en seulement

quelques heures en présence d'une crue, alors que la durée moyenne des crues est de 10 à 20 jours (Comité sur la régularisation des eaux, 1976). Quant aux 30 réservoirs de stockage situés dans la partie supérieure du bassin de la rivière des Outaouais, ils peuvent emmagasiner les eaux de crues de la rivière et de ses affluents, et ils réussissent à régulariser la deuxième crue lors des années dites sèches (CPPRO, 1984). Par contre, lorsque les conditions environnementales augmentent l'ampleur de la crue, les ouvrages n'ont qu'un effet limité sur la régularisation du débit.

Ainsi, la régularisation de la rivière des Outaouais permet de limiter les risques d'inondation dans la région de Montréal, mais surtout ceux associés à la deuxième pointe de crue printanière. Son influence est plus limitée quant aux risques provenant de la première crue qui, bien qu'elle soit généralement plus faible, peut aussi causer des dégâts en raison de la présence de glace et d'embâcles au moment où elle survient. De plus, lors des années de fortes crues, des inondations se produisent en divers endroits du bassin (CPPRO, 1984). Par exemple, les hauts niveaux des années 1972 à 1976 n'ont pu être contrôlés efficacement par les ouvrages de régularisation sur la rivière des Outaouais. De nouvelles périodes de hauts niveaux produiraient vraisemblablement encore des inondations dans le même secteur.

Le problème de contrôle des inondations de la rivière des Outaouais dans la zone de confluence avec le Saint-Laurent n'est pas un phénomène récent. Cependant, la solution tarde à venir en raison de la complexité des facteurs impliqués, notamment la situation géographique des régions sinistrées, la nature des phénomènes hydrologiques, la capacité limitée des réservoirs existants, le coût prohibitif des mesures correctrices, et le partage des responsabilités entre trois niveaux de gouvernement comportant eux-mêmes différents paliers (CPPRO, 1984).

Dans l'ensemble, l'efficacité de la régularisation de la rivière des Outaouais n'est donc que partielle. Une surveillance constante des conditions hydrométéorologiques dans le bassin s'avère nécessaire afin de prévoir l'ampleur des inondations et des étiages. À cet effet, un modèle de prévision des apports en eau reproduit les effets des conditions hydrométéorologiques sur l'ensemble du réseau hydrologique de la rivière des Outaouais. Un modèle d'optimisation est ensuite utilisé pour guider la prise de décision et permettre l'exploitation intégrée des réservoirs ainsi que la réduction du débit en période de pointe. Cet outil de gestion facilite la tâche des gestionnaires des divers ouvrages de contrôle lors de la détermination des débits à relâcher pour tenter de prévenir les inondations, tout en respectant les intérêts des autres utilisateurs et du public (CPPRO, 1984).

En résumé, la régularisation de la rivière des Outaouais permet de limiter le risque d'inondation, mais il n'existe aucune garantie contre les inondations dans le secteur nord de l'île de Montréal lors d'épisodes hydrométéorologiques extrêmes.

RÉGULARISATION DES NIVEAUX D'EAU DE LA SECTION INTERNATIONALE DU SAINT-LAURENT

En 1952, la Commission mixte internationale (CMI) a émis une ordonnance d'approbation³⁷ en réponse aux demandes du Canada et des États-Unis de construire des installations hydroélectriques dans la portion internationale du Saint-Laurent, qui s'étend du lac Ontario jusqu'à Cornwall en Ontario et Massena dans l'État de New York. En 1956, durant la construction du projet, la CMI a modifié son ordonnance pour y inclure des critères de régularisation conçus pour réduire l'amplitude des fluctuations des niveaux d'eau du lac Ontario, de façon à fournir une protection aux riverains et autres usagers en aval dans la province de Québec tout en permettant des niveaux suffisamment élevés pour la navigation commerciale. Le Conseil international de contrôle du fleuve Saint-Laurent (CICFSL) a commencé à siéger lors de l'achèvement des travaux, en 1960. Il est aujourd'hui l'organisme responsable de la régularisation des débits sortant du lac Ontario.

La gestion des niveaux d'eau de la section internationale du Saint-Laurent est susceptible d'engendrer de nombreux conflits d'usages. Plusieurs groupes d'usagers, représentant des secteurs géographiques et des champs d'intérêt variés, défendent leurs positions auprès de la CMI. Chaque année, le Conseil international de contrôle du fleuve Saint-Laurent tient au moins une audience publique, ce qui permet l'expression de points de vue souvent divergents. En effet, chaque groupe d'usagers a ses propres préférences et perceptions relatives à la régularisation du lac Ontario et du Saint-Laurent. Par exemple, les propriétaires riverains préfèrent des niveaux d'eau constants et plutôt bas afin de minimiser les risques d'inondations, alors que les groupes environnementaux et les groupes d'intérêt sur la faune et la pêche réclament pratiquement le contraire, soit des niveaux élevés avec de larges fluctuations. Pour leur part, la navigation commerciale et l'industrie hydroélectrique sont bien desservies lorsque les niveaux sont élevés et constants. Malgré ces divergences fondamentales, tout changement important du niveau d'eau peut avoir des conséquences considérables pour chacun de ces groupes. L'application de critères de régularisation doit viser à satisfaire autant que possible l'ensemble des intérêts, aussi bien en aval qu'en amont du barrage, ce qui rend la gestion particulièrement difficile. En pratique, aucune mesure ne peut

³⁷ Ordre légal émanant de la CMI qui spécifie les conditions à remplir pour l'implantation d'actions affectant les niveaux et les débits des eaux transfrontalières.

satisfaire pleinement tous les groupes d'utilisateurs, puisque leurs intérêts sont souvent inconciliables (CMI, 1993).

L'exploitation des infrastructures est dictée par le plan de régularisation 1958-D entériné le 25 juillet 1963 par les gouvernements du Canada et des États-Unis. Prévue principalement pour les intérêts du lac Ontario, cette régularisation présente des incidences tantôt favorables, tantôt désavantageuses pour le Saint-Laurent (Carpentier et Pelletier, 1981). D'après le Plan 1958-D, les intérêts considérés dans le processus de régularisation sont, par ordre de priorité (CICFSL, 1997b; Carpentier, 1998) :

- la navigation commerciale;
- la production hydroélectrique;
- la protection des propriétés riveraines (érosion et inondation);
- l'alimentation en eau et les égouts;
- la navigation de plaisance.

Cet ordre de priorité peut changer selon les saisons. En période de crue, par exemple, on portera peu d'attention à la navigation commerciale puisqu'il y a suffisamment d'eau. Par contre, la protection des propriétés riveraines contre les inondations et l'érosion seront alors des facteurs déterminants dans la gestion des niveaux d'eau.

Dans le cadre du Plan 1958-D, le débit de sortie du lac Ontario vers le Saint-Laurent est déterminé chaque semaine en fonction des apports en eau actuels et prévus et des conditions du niveau du lac Ontario, ce qui permet de réagir aux fluctuations naturelles des niveaux. Par exemple, les débits sortant du lac Ontario sont diminués de façon significative durant la période de crues de la rivière des Outaouais. Cette diminution printanière suppose l'augmentation, durant l'hiver précédent, de l'évacuation des eaux du lac Ontario, de façon à pouvoir retenir les eaux des Grands Lacs durant la période de crue de la rivière des Outaouais. Cette modalité d'exploitation se fait sans inconvénient majeur pour les riverains du lac Ontario, étant donné la courte période de pointe des crues de la rivière des Outaouais.

Par ailleurs, une entente Québec-Ontario régit le niveau d'eau du lac Saint-François afin de maintenir les variations de ce plan d'eau à l'intérieur d'une limite stricte fixée à 0,30 m (SLRAPT, 1992). Les figures 2.3 et 2.14 montrent que cet objectif est atteint. Cependant, la marge de manœuvre est limitée par la capacité de stockage du lac Ontario, elle-même limitée par des contraintes climatiques et physiques. Cette capacité de stockage est utilisée durant la saison hivernale en augmentant les débits de sortie du lac Ontario après la formation du couvert de glace et après la crue de la rivière des Outaouais. De cette façon, les débits d'étiage peuvent être augmentés en période de bas niveaux, afin de maintenir la hauteur d'eau nécessaire aux navires, alléger les problèmes d'alimentation en eau et assurer une dilution adéquate des

effluents (Carpentier et Pelletier, 1981). Au Québec, la navigation commerciale a profité d'évacuations augmentées du lac Ontario lors des périodes d'étiage très sévères du milieu des années 1960, notamment en été et au cours de l'automne 1963 et 1964, de même que durant l'été 1995 (CICFSL, 1997a).

En vertu de pouvoirs discrétionnaires, le Conseil international de contrôle du fleuve Saint-Laurent a reçu l'autorité de dévier des débits prévus au plan de régularisation 1958-D pour faire face à des conditions particulières : situations d'urgence, opérations en hiver, risque élevé d'inondation, etc. Ce pouvoir lui permet d'apporter des changements au débit spécifié par le plan en vue d'aider certains intérêts, sans toutefois léser les autres et sans enfreindre les dispositions de l'ordonnance. En particulier, le critère *k* du plan de régularisation 1958-D laisse au Conseil une grande flexibilité lorsque surviennent des situations extrêmes en période de crue et d'étiage. Ce critère stipule que lorsque les débits sont trop élevés, la priorité est donnée aux riverains en aval et en amont alors que lorsque les débits sont trop faibles, la priorité est donnée à la navigation maritime et à l'hydroélectricité. Il est important de souligner que la décision d'invoquer ou de révoquer le critère *k* appartient à la CMI et non pas au CICFSL.

De façon générale, il y a lieu d'émettre certaines nuances quant à l'efficacité de la régularisation des niveaux d'eau du Saint-Laurent. En effet, même si des mécanismes de régularisation existent, aucune garantie n'est donnée quant à leur efficacité car les principaux facteurs modifiant l'apport en eau dans le bassin Grands Lacs–Saint-Laurent sont des facteurs météorologiques qui ne peuvent être contrôlés ni prédits à long terme de façon précise. Les inondations récentes au Saguenay (1996) et les nombreuses inondations le long du Saint-Laurent dans les années 1970 et 1980 montrent que les mécanismes de régularisation actuels ne peuvent empêcher les inondations lorsque survient une combinaison particulière de phénomènes climatiques. Cela ne signifie pas que les mécanismes en place sont défectueux ou inutiles. Dans plusieurs cas, ils peuvent limiter la probabilité d'inondations. Par exemple, on rapporte qu'au cours de l'hiver 1986-1987, le débit sortant à Cornwall a été très élevé à cause du temps très doux et des conditions de glace favorables dans le Saint-Laurent (Yee *et al.*, 1995). Cependant, les stations hydrométriques de la région de Montréal n'ont enregistré aucune élévation importante du niveau de l'eau, ce qui indique une certaine efficacité des mécanismes de régularisation.

Néanmoins, selon Carpentier et Pelletier (1981), la régularisation du fleuve par le barrage Moses-Saunders (à la sortie du lac Ontario) n'offre pour le Saint-Laurent aucun soulagement appréciable en période de crue extrême. Au contraire, pour certaines récurrences il en résulterait de légers désavantages sur le plan des débits et niveaux pour la région de

Montréal. En période d'étiage, les apports régularisés sont plus faibles que les apports naturels, ce qui peut créer des problèmes en cas de sécheresse prolongée.

Vu l'impossibilité de prédire avec exactitude les apports en eau du lac Ontario, la régularisation du lac Ontario et du Saint-Laurent a donc des limites dont il faut être conscient. Des périodes prolongées de faible apport en eau vont provoquer des débits faibles et de bas niveaux dans le système. Par ailleurs, des inondations vont encore se produire lorsque les apports en eau dépasseront la capacité du système. Le contrôle des niveaux d'eau dans le but d'empêcher les inondations n'est pas toujours réalisable lors de situations extrêmes, contrairement aux idées souvent véhiculées dans la population. Les audiences publiques tenues régulièrement par la CMI et celles réalisées par le Gouvernement du Québec dans le cadre de la commission scientifique et technique sur la gestion des barrages (Commission Nicolet, 1997) démontrent que la population a une faible connaissance des contraintes opérationnelles limitant l'efficacité des ouvrages de régularisation, de l'importance des facteurs naturels dans les fluctuations des niveaux d'eau et des risques réels d'inondation du milieu riverain. Dans ce contexte, l'éducation et l'information du public sont des aspects très importants à considérer (Lee *et al.*, 1997; CMI, 1993).

Par ailleurs, la CMI étudie de nouveaux plans qui tentent d'améliorer la régularisation pour mieux satisfaire les intérêts du lac Ontario et du fleuve Saint-Laurent. Une révision complète des critères est revendiquée par plusieurs intervenants car les impacts des fluctuations des niveaux d'eau sur les usages fauniques et les composantes naturelles du milieu peuvent être très importants, tel que démontré à la section 2.2.2. Plusieurs ministères souhaitent que des critères additionnels visant la préservation des écosystèmes naturels soient inclus dans le plan de régularisation du Saint-Laurent (Hudon et Armellin, 1995; MEF, 1995; MPO, 1996). À titre d'exemple, le ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec a déposé, à la fin de l'année 1995, un mémoire auprès du CICFSL ayant pour but de faire reconnaître les intérêts de la ressource faunique lors de la régularisation de l'eau du fleuve (MEF, 1995). Ce document expose l'importance des fluctuations des niveaux d'eau sur la faune, les habitats, les usagers et les plans de restauration. Il propose aussi le développement de courbes de satisfaction faunique³⁸ qui pourraient être incluses dans le plan de régularisation du Saint-Laurent. Il existe cependant un manque flagrant d'information au niveau des connaissances de base nécessaires pour mener à terme un tel projet. En effet, on n'a réussi à

³⁸ Une courbe de satisfaction faunique est une représentation du pourcentage de satisfaction des besoins fauniques en fonction des niveaux d'eau. Un tel outil pourrait contribuer à l'intégration des considérations écologiques aux plans de régularisation des eaux du Saint-Laurent.

établir, jusqu'à présent, que peu de liens quantitatifs entre les fluctuations des conditions hydrologiques (niveaux d'eau, débits, vitesses d'écoulement) et les usages fauniques. De plus, les besoins essentiels varient d'une espèce à l'autre, ce qui augmente la complexité de cet exercice. Pêches et Océans Canada et Environnement Canada ont également déposé des mémoires auprès du CICFSL qui soulignent l'importance de considérer les ressources fauniques et l'intégrité de leurs habitats dans le plan de régularisation du Saint-Laurent (MPO, 1996; Hudon et Armellin, 1995). Lee *et al.* (1997) proposent aussi une révision des critères de régularisation afin de tenir compte des conditions climatiques changeantes au cours des dernières décennies. En effet, la régularisation actuelle est basée sur les données hydrométéorologiques de la période 1860-1954, données qui devaient représenter toute la gamme des conditions possibles. Cependant, les deux dernières décennies ont donné lieu à des situations jamais rencontrées auparavant, d'où le fréquent recours au critère *k* du Plan 1958-D.

Un projet de mise à jour du plan de régularisation du lac Ontario et du fleuve Saint-Laurent a récemment été proposé par le Conseil. Le plan envisagé est basé sur une variante dénommée Plan 35P, qui avait été mise au point lors de l'*Étude concernant les fluctuations du niveau des eaux*, achevée en 1993, et qui a fait l'objet de recommandations à cette époque. Ce nouveau plan, rebaptisé Plan 1998, ne modifierait pas les caractéristiques physiques du réseau du lac Ontario et du Saint-Laurent en termes de capacité des chenaux ou des ouvrages de régularisation des débits sortants. Il n'apporterait donc que des changements minimes dans le régime des niveaux d'eau et des débits. Sur le plan de l'exploitation, toutefois, le Conseil estime que le Plan 1998 résulterait en une amélioration des prévisions de niveaux et de débits comparativement au Plan 1958-D. On prévoit également que la fréquence des dérogations au plan imposé par le Conseil sera moins grande dans le cadre du Plan 1998 qu'elle ne l'était selon le Plan 1958-D, car les facteurs opérationnels nécessitant le fréquent recours au critère *k* dans le cadre du Plan 1958-D ont été incorporés au Plan 1998 (Eberhardt, 1997; CICFSL, 1997a). Ce plan n'inclut toutefois aucune nouvelle considération faunique ou environnementale.

CONVENTION CANADA-QUÉBEC POUR LA RIVIÈRE DES MILLE ÎLES

Suite au rapport final, en 1976, sur la régularisation des eaux (région de Montréal), le Gouvernement du Québec a entrepris la planification d'un ouvrage de régularisation de la rivière des Mille Îles. Au cours des années 1982 et 1983, des rencontres entre représentants des gouvernements du Canada et du Québec ont abouti à la signature de la *Convention Canada-Québec* visant la réduction des dommages d'inondation de la rivière des Mille Îles (Comité de mise en œuvre de la Convention Canada-Québec pour la rivière des Mille Îles, 1987). C'est ainsi qu'en octobre 1986, un ouvrage de contrôle, le barrage du Grand Moulin, était inauguré. Cette structure est localisée à l'entrée de la rivière des Mille Îles et relie les

municipalités de Laval et de Deux-Montagnes. L'ouvrage, d'une longueur totale d'environ 500 mètres, comprend au total dix vannes de 18 mètres de largeur. Ces vannes, de « type à bascule », sont les éléments mobiles qui permettent de limiter le débit de la rivière des Mille Îles à quelque 700 m³/s, seuil au-delà duquel surviennent presque tous les dommages sur la rivière des Mille Îles³⁹ (Comité de mise en œuvre de la Convention Canada-Québec pour la rivière des Mille Îles, 1987; Carpentier, 1998). L'exploitation de cet ouvrage (géré et opéré par le MEF) représente une réponse « directe » à la lutte contre les inondations et est faite en coordination avec la *Commission de planification de la régularisation de la rivière des Outaouais* et le *Conseil international de la rivière des Outaouais*, en vue d'une exploitation optimale. Bien qu'il assure une meilleure protection de la rivière des Mille Îles, cet ouvrage ne diminue en aucun cas le risque d'inondation pour la rivière des Prairies et le lac des Deux Montagnes (Carpentier, 1998).

LUTTE CONTRE LA FORMATION D'EMBÂCLES EN HIVER

La Garde côtière canadienne utilise des brise-glaces afin de maintenir le chenal de navigation ouvert à l'année et éviter les embâcles majeurs sur le Saint-Laurent. Les brise-glaces sont utilisés depuis 1953 afin d'assurer un passage ouvert dans le chenal de navigation, mais ce n'est que depuis 1968 que le chenal de navigation est maintenu ouvert à l'année jusqu'à Montréal. Ceci constitue une mesure de régularisation des niveaux d'eau pour la navigation durant la période hivernale et une mesure de protection contre les inondations causées par les embâcles printaniers.

Par ailleurs, l'installation d'estacades⁴⁰ de protection contre les glaces à travers le Saint-Laurent à proximité du pont Champlain et dans le bassin de La Prairie a été rendue nécessaire suite à l'aménagement du site d'Expo 67. En effet, ces travaux de construction ont entraîné une réduction significative de la largeur du fleuve dans la région de Montréal, augmentant les possibilités d'embâcles de glace. En l'absence d'estacades en amont, la glace serait transportée jusqu'au port de Montréal où elle pourrait provoquer des embâcles à partir du couvert de glace qui progresse à contre courant depuis le lac Saint-Pierre (Comité sur la régularisation eaux, 1976). La Garde côtière canadienne installe également des estacades à glace saisonnières entre Montréal et Trois-Rivières.

³⁹ Les conditions naturelles sont maintenues jusqu'à ce que le débit atteigne ce seuil.

⁴⁰ Ouvrages flottants en bois qui favorisent la formation d'une couverture de glace stable et la diminution des risques d'embâcles en hiver.

2.2.4.2 Programmes d'adaptation aux fluctuations des niveaux d'eau PROTOCOLE D'ENTENTE DE 1992

Le dragage constitue une mesure d'adaptation aux fluctuations des niveaux d'eau, visant à maintenir une hauteur d'eau garantie pour la navigation commerciale dans le chenal de navigation. La Garde côtière canadienne est l'organisme responsable de l'entretien du chenal en toute saison. Pour l'ensemble du Saint-Laurent entre le lac Saint-François et l'île d'Orléans, les activités de dragage consistent en l'entretien annuel dans les zones d'accumulation, afin d'assurer une hauteur d'eau minimale garantie qui est passée de 10,7 à 11,0 m avec le *Protocole d'Entente de 1992*⁴¹ entre la Garde côtière canadienne et les intervenants du secteur maritime, en particulier les compagnies de transport maritime et les autorités portuaires. Cette mesure a été rendue nécessaire afin de maintenir la navigation commerciale dans le Saint-Laurent car, depuis 1950, les porte-conteneurs sont passés d'une capacité de 500 EVP à 4500 EVP à l'échelle mondiale (Bergeron, 1995). Avant 1992, le port de Montréal et la Voie maritime du Saint-Laurent ne pouvaient accueillir des transporteurs dont la charge était supérieure à 1800 EVP. L'établissement de ce protocole a sûrement favoriser des résultats bénéfiques sur le transport maritime, mais on s'interroge quant aux impacts réels sur l'environnement. En effet, des travaux majeurs de creusage du chenal dans les portions peu profondes du fleuve ont pour effet de « canaliser » la masse d'eau dans le chenal, ce qui peut réduire les niveaux d'eau près des rives. Des impacts sur les milieux naturels ou sur d'autres usages sont donc appréhendés.

En vertu du *Protocole d'entente de 1992*, on a aussi procédé à l'installation d'un réseau de manomètres servant à mesurer et à communiquer en tout temps les niveaux d'eau aux transporteurs, afin de permettre le chargement des navires à pleine capacité. À cet effet, le Service hydrographique du Canada (SHC) a mis en place depuis 1992 un réseau numérique d'enregistreurs de niveaux d'eau (réseau SINECO : système d'information sur les niveaux d'eau côtière et océanique). Ce réseau est constitué de 18 stations distribuées entre Montréal et Sept-Îles. Les données sont accessibles en temps réel pour les abonnés du réseau. Ce réseau offre en outre deux modules de prévision des niveaux d'eau pouvant servir autant à la navigation qu'aux alertes d'inondation : le premier donne les prévisions à court terme (jusqu'à 48 heures) et le second, à long terme (2-30 jours). Ce réseau de mesure en temps réel, combiné à de nouveaux modèles hydrologiques et atmosphériques, a pour objectif d'optimiser l'efficacité du transport maritime. Cet outil permet également d'effectuer un meilleur contrôle et d'émettre des avertissements d'inondation et de déversements plus rapidement (Labrecque, 1997). D'après le

⁴¹ Selon cette entente, on a effectué des travaux de dragage des haut-fonds du Saint-Laurent pour augmenter la profondeur du chenal de navigation à 11,0 mètres, ce qui permet maintenant d'accueillir dans le port de Montréal les navires dont la capacité atteint jusqu'à 2500 EVP.

faible nombre d'abonnés au réseau SINECO, il semble que les compagnies de transport maritime ne profitent pas au maximum de ces informations.

Le succès de cette « réponse » a donc été mitigé jusqu'à maintenant et un effort devrait être fait afin d'harmoniser davantage l'information entre les utilisateurs, les responsables des installations portuaires et les différents ministères. En effet, le chargement maximum d'un navire est une donnée contrôlée par les inspecteurs de la Garde côtière canadienne, alors que la connaissance des conditions réelles des niveaux d'eau sur une base quotidienne pourrait permettre d'utiliser davantage les profondeurs du chenal (Paquin, 1997). Il y a donc place à l'amélioration afin de tirer parti de façon plus optimale des hauteurs d'eau disponibles, sur une base journalière et hebdomadaire.

Par ailleurs, la Société du Port de Montréal a proposé le dragage sélectif des hauts-fonds dans la voie navigable du Saint-Laurent entre Montréal et Cap à la Roche, de façon à réduire les coûts du transport maritime et optimiser le chargement des navires à fort tirant d'eau. La hauteur d'eau minimale du chenal passerait ainsi de 11,0 à 11,3 m, ce qui devrait aider, selon les promoteurs du projet, à maintenir la voie navigable du Saint-Laurent compétitive à l'échelle internationale (Procéan *et al.*, 1996).

PROGRAMMES D'AIDE AUX SINISTRÉS ET DE RÉDUCTION DES DOMMAGES CAUSÉS PAR LES INONDATIONS

Suite aux nombreuses inondations du début des années 1970 dans la région de Montréal, le Comité fédéral-provincial de régularisation des eaux (secteur de Montréal) a été créé en mai 1974, suivi en 1975 par le programme PRDCI (*Programme de réduction des dommages causés par les inondations*) applicable à l'échelle du Canada. Le Conseil exécutif du Gouvernement du Québec a aussi mis sur pied un bureau d'aide financière. Ce bureau a d'ailleurs accordé des compensations financières de l'ordre de 23 millions de dollars après les inondations de 1974 pour l'ensemble du sud du Québec.

Quelques années plus tard, des solutions ont été envisagées afin de régulariser les débits du lac des Deux Montagnes, du lac Saint-Louis et des rivières des Mille Îles et des Prairies. Dans le cadre du Projet Archipel (une initiative visant à redonner l'accès au fleuve aux usagers de l'archipel de Montréal), l'un des volets avait pour objectif de réduire les inondations par une meilleure utilisation des ressources hydrauliques de l'archipel de Montréal (Hydro-Québec, 1983; Éconosult, 1986). Ce projet a été abandonné car l'étude de faisabilité a démontré que le contrôle des eaux de l'archipel de Montréal par la construction de nouvelles infrastructures comportait des contraintes socio-économiques et environnementales trop importantes. En particulier, la rentabilité de la centrale hydroélectrique devant contrôler les débits n'était pas garantie.

TABLEAU 2.7

Sommaire des principales mesures concernant les niveaux d'eau du Saint-Laurent

NOM DU PROGRAMME	TYPE	DATE	COMMENTAIRES
Régularisation des niveaux d'eau de la section internationale du Saint-Laurent	R	1963	Le Conseil international de contrôle du fleuve Saint-Laurent est responsable de la régularisation des débits d'eau. Les mécanismes de régularisation ont une efficacité limitée car les principaux facteurs modifiant l'apport en eau dans le bassin ne peuvent être contrôlés ni prédits avec précision. Le plan de régularisation 1958-D repose sur des considérations principalement axées sur la navigation commerciale, la production hydroélectrique et la protection des propriétés riveraines. Le débit de sortie du lac Ontario vers le Saint-Laurent est déterminé chaque semaine en fonction des apports en eau actuels et prévus et des conditions du niveau du lac Ontario. Le Conseil peut modifier les débits prévus par le Plan 1958-D pour faire face à des conditions extrêmes. La priorité est alors donnée aux riverains lorsque les débits sont élevés et elle est donnée à la navigation et à la production hydroélectrique lorsque les débits sont trop faibles. Un nouveau plan de régularisation appelé Plan 1998 a récemment été proposé à la Commission mixte internationale. Il se veut une amélioration au niveau de l'exploitation par rapport au Plan 1958-D, mais il apporte des changements minimes dans le régime des niveaux d'eau et des débits.
Lutte contre la formation d'embâcles en hiver	R	1968	Depuis 1953, les brise-glaces de la Garde côtière canadienne sont utilisés afin d'assurer un passage en hiver dans le chenal de navigation. Cependant, le chenal est maintenu ouvert à l'année jusqu'à Montréal depuis 1968 seulement. Par ailleurs, des structures de contrôle des glaces ont été construites à travers le Saint-Laurent à proximité du pont Champlain et dans le bassin de La Prairie. Ces mesures permettent de réduire les risques d'inondation dues aux embâcles. D'autres estacades sont aussi installées, de façon saisonnière, entre Montréal et Trois-Rivières.
Programme de réduction des dommages causés par les inondations (PRDCI)	A	1975	Ce programme national cherche à limiter les dégâts plutôt qu'à octroyer des indemnités aux sinistrés. La Convention entre le Gouvernement du Canada et le Gouvernement du Québec tente donc de limiter la construction dans les zones inondables. Pour chaque zone désignée, les deux paliers de gouvernement conviennent des mesures suivantes : a) ils ne feront aucune construction, ni n'approuveront ou ne financeront aucun aménagement dans les zones désignées; b) ils ne verseront aucun dédommagement pour des dégâts causés par des inondations, pour tout aménagement construit après qu'une zone ait été désignée vulnérable; et c) les provinces encourageront les autorités locales à faire le zonage de leur territoire en tenant compte des risques d'inondation.
Plan de régularisation de la rivière des Outaouais	R	1977	Ce plan vise à limiter les inondations tout en optimisant la production hydroélectrique sur de la rivière des Outaouais. Il a pris naissance avec la mise sur pied de la Commission de planification de la régularisation de la rivière des Outaouais. La régularisation de la rivière des Outaouais est partielle et ne permet de limiter efficacement le risque d'inondation que pour la deuxième pointe de crue printanière de la rivière. De plus, elle ne fournit aucune garantie de protection contre des hauts niveaux comme ceux observés de 1972 à 1976.
Convention Canada-Québec pour la rivière des Mille Îles	R	1986	Cette convention vise la réduction des dommages d'inondation de la rivière des Mille Îles. Elle a mené à la construction, en 1986, d'un ouvrage de contrôle à l'entrée de la rivière, le barrage Grand Moulin. Celui-ci permet de limiter le débit de la rivière à 700 m ³ /s, seuil au-delà duquel surviennent presque tous les dommages sur la rivière des Mille Îles. Le barrage Grand Moulin assure une meilleure protection de la rivière des Mille Îles, mais ne diminue en aucun cas le risque d'inondation pour la rivière des Prairies et le lac des Deux Montagnes.

NOM DU PROGRAMME	TYPE*	DATE	COMMENTAIRES
Programme de gestion du complexe Beauharnois-Les Cèdres	R	1989	La gestion du complexe Beauharnois-Les Cèdres, situé à la décharge du lac Saint-François, s'effectue de pair avec la gestion du barrage Moses-Saunders, de sorte que le débit relâché soit à peu près égal au débit entrant. L'influence du complexe sur les niveaux d'eau du Saint-Laurent est donc mineure par rapport à celle du barrage Moses-Saunders. Par ailleurs, les niveaux d'eau entre Coteau et Pointe-des-Cascades présentent des problèmes de fluctuations rapides. Des ouvrages compensateurs ont donc été construits par Hydro-Québec afin de régulariser les débits et maintenir les niveaux d'eau constants, notamment pour répondre aux besoins récréatifs et esthétiques locaux. Malgré tout, on se plaignait fréquemment, avant 1989, des impacts sur les usages et la faune ichthyenne (mortalité des poissons). Depuis 1989, un nouveau mode d'exploitation est en vigueur suite à des études réalisées pour le compte d'Hydro-Québec. Ce mode d'exploitation a été adopté suite à une consultation auprès des différents intervenants impliqués. Il aurait fait disparaître la mortalité chez certaines espèces de poissons, mais suscite encore des préoccupations chez les riverains.
Protocole d'entente de 1992	A	1992	Le dragage vise à maintenir une hauteur d'eau garantie pour les navires dans le chenal de navigation. Cette hauteur d'eau garantie est passée de 10,7 m à 11,0 m avec le Protocole d'entente de 1992 entre la Garde côtière canadienne et les intervenants du secteur maritime. On a aussi procédé à l'installation d'un réseau de manomètres servant à mesurer et à communiquer en tout temps les niveaux d'eau aux transporteurs afin de permettre le chargement des navires à pleine capacité. Ce réseau permet également d'émettre des avertissements d'inondation plus rapidement. D'après le faible nombre d'abonnés au réseau, il semble que les compagnies de transport maritime ne profitent pas au maximum de ces informations.

* On distingue deux types de programmes : les programmes de régularisation des niveaux d'eau (R) et les programmes d'adaptation face aux fluctuations des niveaux d'eau (A).

Le PRDCI représente une approche alternative à la régularisation des eaux. Il se veut plutôt un programme de prévention qui cherche avant tout à limiter les dégâts plutôt qu'à empêcher les inondations ou octroyer des indemnités aux sinistrés. En bref, le programme vise à aider les gens à rester hors de portée du danger, ce qui constitue une mesure plus efficace et moins coûteuse que de les aider une fois la propriété envahie par l'eau. En vertu de ce programme, des ententes de cartographie des zones inondables ont été signées avec toutes les provinces, à l'exception de l'Île-du-Prince-Édouard. Au Québec, le contrôle du développement des plaines inondables a fait l'objet d'une Convention entre les gouvernements du Canada et du Québec, selon laquelle les zones inondables doivent être identifiées, cartographiées et protégées afin de minimiser ou de prévenir les incidences écologiques et socio-économiques qui découlent du développement incontrôlé des plaines d'inondation (MENVIQ et Environnement Canada, 1987). Cette convention a aussi comme objectif la mise en œuvre d'une politique d'intervention. Dans cette optique, toute construction est interdite dans la zone 0 à 20 ans (zone de grand courant) à moins d'obtenir une dérogation et de prévoir des mesures de protection. Quant à la zone 20 à 100 ans (zone de faible courant), seuls certains types de construction sont tolérés. La Convention a pris fin en mars 1997 en ce qui a trait au programme d'activités et se poursuit jusqu'au 31 mars 2002 pour l'application de la politique d'intervention.

Pour chaque zone désignée, les deux paliers de gouvernement ont convenu des mesures suivantes (Andrews, 1993) :

- ils ne feront aucune construction, ni n'approuveront ou ne financeront aucun aménagement dans les zones désignées;
- ils ne verseront aucun dédommagement pour des dégâts causés par des inondations, pour tout aménagement construit après qu'une zone ait été désignée vulnérable (excepté pour les aménagements protégés contre les inondations situés dans la zone périphérique);
- les provinces encourageront les autorités locales à faire le zonage de leur territoire en tenant compte des risques d'inondation.

L'un des volets importants du PRDCI est la réalisation de cartes présentant le risque d'inondation à l'échelle des municipalités. Au printemps 1997, une cartographie officielle des zones à risque d'inondation avait été réalisée pour 75 municipalités riveraines dont 57 dans le tronçon fluvial, 5 dans l'estuaire fluvial, 6 dans le moyen estuaire, 4 le long du Saguenay, 2 dans l'estuaire maritime et une dans le golfe (Gingras *et al.*, 1997c). Les zones inondables désignées en vertu de cette convention le long du Saint-Laurent sont identifiées à la figure 2.10. Par ailleurs, certaines municipalités n'ont pas encore intégré les cartes à leur réglementation. Au moment d'écrire ces lignes, un document de sensibilisation est prévu à l'intention des intervenants municipaux et du grand public (Bernier, 1998). Le programme PRDCI devra être

examiné dans son ensemble avant d'effectuer une évaluation de son efficacité et déterminer les modalités d'une éventuelle suite au programme.

2.3 Les changements climatiques globaux et le Saint-Laurent

2.3.1 Les changements climatiques globaux (COMPOSANTES DE PRESSION)

Selon des sondages, les changements climatiques ne constituaient pas un enjeu environnemental prioritaire aux yeux du public canadien en 1996⁴². Ceci contraste avec le fait que les spécialistes considèrent le phénomène comme étant une préoccupation environnementale importante (Lagacé, 1997). En effet, les experts s'accordent à dire que le réchauffement de la planète est une réalité et on s'attend à ce qu'il s'accélère si aucune action n'est prise pour réduire les concentrations de gaz à effet de serre (IPCC, 1995; Environnement Canada, 1990b; Hengeveld, 1991; Gouvernement du Canada, 1991; U.S. Office of Technology Assessment, 1993). L'Organisation météorologique mondiale va même plus loin et a déclaré que *« peu importe l'envergure des initiatives entreprises pour diminuer les émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, le réchauffement de la planète dans lequel nous sommes déjà engagés sera réalité d'ici cinquante à cent ans »* (OMM, 1990). En vertu du « principe de précaution », des mesures visant l'adaptation aux changements climatiques doivent donc être prises dès maintenant, même s'il existe encore des incertitudes sur plusieurs aspects des changements climatiques. L'approche préventive ou « principe de précaution » constitue l'un des principes fondamentaux appuyant le développement durable et est de plus en plus adoptée sur la scène internationale (Cameron et Abouchar, 1991; VanderZwaag, 1994). Sa pertinence face aux changements climatiques a déjà été reconnue. Par exemple, on stipule dans la Déclaration 1990 de Bergen⁴³ que *« pour servir le développement durable, les politiques doivent reposer sur le principe de précaution »* et que *« s'il existe un risque de dommages graves ou irréversibles, l'absence de certitude scientifique absolue ne doit pas servir de prétexte pour reporter les mesures visant à prévenir la dégradation de l'environnement »*.

⁴² Un sondage réalisé par Synergistics Consulting en 1996 indique que la priorité accordée aux changements climatiques par la population canadienne vient au dernier rang parmi une liste de huit grands enjeux environnementaux, se classant loin derrière les sept autres enjeux (Lagacé, 1997). Cette perception pourrait cependant évoluer compte tenu des récents bouleversements climatiques à travers le Canada.

⁴³ Tenue en mai 1990, la Conférence de Bergen sur le développement durable regroupait les Ministres de l'Environnement de 34 pays et était parrainée par l'Organisation des Nations Unies. Les changements climatiques constituaient l'enjeu central de la Conférence. La Déclaration de Bergen supporte explicitement le principe de précaution.

2.3.1.1 Scénarios plausibles de changement climatique sur le bassin Grands Lacs–Saint-Laurent

Si les teneurs en dioxyde de carbone (CO₂) venaient à doubler, on assisterait à un réchauffement moyen annuel d'environ 3 °C le long du Saint-Laurent d'ici 50 ans, un premier gel retardé de 9 à 14 jours, une fonte hâtée de 13 à 16 jours (LAPEL, 1989) et une précipitation augmentée d'environ 5 à 20 p. 100 en hiver et d'environ 10 p. 100 au printemps⁴⁴ (Bergeron *et al.*, 1997). Dans la région des Grands Lacs, un tel phénomène produirait, selon le scénario le plus probable, une hausse des températures de l'air de l'ordre de 3,4 à 9,1 °C en hiver et de 2,7 à 8,6 °C en été alors que les changements attendus dans les précipitations annuelles montrent une augmentation dans la portion septentrionale du bassin et une diminution dans sa partie méridionale (Mortsch et Mills, 1996). Toutefois, il est important de souligner que les modèles de circulation générale atmosphérique (MCGA) utilisés pour élaborer les scénarios les plus plausibles fournissent des indications ou des tendances, mais qu'il ne s'agit pas de prévisions climatiques. Leur interprétation à l'échelle locale ou régionale est très difficile.

Par ailleurs, on ne peut trouver, à partir des scénarios élaborés grâce aux MCGA actuels, d'indications sur la fréquence, la durée et l'intensité prévue des extrêmes climatiques, ni sur les modifications apportées à la trajectoire moyenne des systèmes météorologiques affectant le Québec. Cependant, les premières ébauches de recherche, particulièrement aux États-Unis, dénotent que les phénomènes climatiques violents pourraient augmenter dans un climat plus chaud (Bergeron *et al.*, 1997). Dans le même ordre d'idée, Galloway (1997) affirme que les 25 dernières années, et en particulier les années 1990, ont donné lieu à un nombre record d'inondations sévères au Canada, aux États-Unis et dans plusieurs autres pays.

Malgré l'incertitude qui entoure les différents scénarios possibles, il est clair que les changements climatiques appréhendés agiraient comme des mécanismes de pression sur l'environnement et affecteraient les composantes physiques, biologiques et socio-économiques du bassin Grands Lacs–Saint-Laurent.

2.3.2 Les changements de l'état des niveaux d'eau (COMPOSANTES D'ÉTAT)

À la section 2.2.3, il a été mentionné que les facteurs naturels, notamment la précipitation et l'évaporation dans le bassin des Grands Lacs, jouent un rôle très important sur les fluctuations du niveau du lac Ontario, la source du Saint-Laurent. Selon plusieurs études, les changements climatiques devenus plus perceptibles durant les deux dernières décennies

⁴⁴ Dans le cas de l'été et de l'automne, il est difficile de définir des tendances réelles à la hausse ou à la baisse en ce qui concerne les précipitations (section 1.6.1).

(Phillips, 1996; Gullett et Skinner, 1992; Hengeveld, 1991) constituent l'élément premier ayant contribué à la fluctuation des niveaux des Grands Lacs (Environnement Canada, 1990a). En effet, les hauts niveaux des années 1970 et du début des années 1980 sont le résultat de précipitations au-dessus des moyennes durant une période de vingt ans qui a pris fin vers 1986 (figure 2.12).

Le changement climatique qui s'accroîtra au cours des 50 prochaines années pourrait donc avoir une profonde influence sur l'alimentation en eau des Grands Lacs et du Saint-Laurent et, par conséquent, sur les niveaux d'eau et les débits (IJC, 1997; CMI, 1993). Par ailleurs, on ne peut supposer, en raison des changements climatiques, que les fluctuations des niveaux d'eau des Grands Lacs et du Saint-Laurent au cours du prochain siècle ressembleront à ce que l'on a observé lors des 100 dernières années (Sanderson, 1989; Lee *et al.*, 1997).

Un changement climatique modifiant le régime des précipitations et de l'évaporation du bassin hydrographique Grands Lacs–Saint-Laurent aurait donc un effet significatif sur le débit de l'ensemble des rivières tributaires du bassin. L'impact principal sur le Saint-Laurent serait la variation du niveau de l'eau et du débit (LAPEL, 1989; Mortsch et Mills, 1996; Farid *et al.*, 1997). Les scénarios des MCGA correspondant à une atmosphère dont la concentration de dioxyde de carbone serait doublée, couplés à des modèles hydrologiques, montrent que le débit d'eau provenant du lac Ontario pourrait être réduit de 23 à 51 p. 100⁴⁵ (Croley, 1990; Koshida *et al.*, 1993; Slivitzky, 1995). D'autres sources indiquent une réduction autour de 40 p. 100 (CMI, 1993; MEF, 1995; Mortsch et Mills, 1996). Récemment, des spécialistes faisaient état d'une diminution de 21 p. 100 du débit à la hauteur de Montréal, ce qui réduirait la largeur du Saint-Laurent d'environ un tiers dans le tronçon Repentigny-Sorel (*Symposium binational sur la capacité d'adaptation aux changements climatiques dans le bassin Grands Lacs–Saint-Laurent, mai 1997, Toronto*).

En utilisant un scénario de réduction de 40 p. 100 à la sortie des Grands Lacs, le débit actuel du Saint-Laurent, évalué à 7300 m³/s à la hauteur du port de Montréal, tomberait à 5100 m³/s, valeur inférieure au minimum record de 5900 m³/s des 90 dernières années (Slivitzky, 1993). De plus, sous ce même scénario, le niveau des Grands Lacs baisserait de 1 à 2 mètres et on assisterait à une élévation de température d'environ 5 °C à la surface de l'eau (Mortsch et Mills, 1996).

⁴⁵ Une fois un modèle hydrologique calibré et vérifié sur des séries climatologiques chronologiques, on applique les scénarios de changements climatiques prévus par les MCGA. Le modèle hydrologique recalcule alors le nouveau régime hydrologique.

Enfin, dans une étude qui s'intéressait à l'ensemble du Saint-Laurent et qui date déjà de plusieurs années (LAPEL, 1989), on a montré que le principal impact de l'effet de serre sur le Saint-Laurent serait de favoriser une baisse du niveau de l'eau dans la partie ouest de celui-ci (tronçon fluvial et estuaire fluvial) et une augmentation du niveau d'eau, par rapport à la normale, dans sa partie est (moyen estuaire, estuaire maritime et golfe). La baisse du niveau de l'eau, surtout notable dans le tronçon fluvial, peut s'expliquer par la réduction du débit des Grands Lacs, elle-même due à une augmentation de l'évaporation et une diminution des précipitations au-dessus de cette région. Quant à la hausse prévue du niveau de la mer affectant l'estuaire et le golfe, elle s'explique par la fonte partielle des glaces des régions polaires et par l'expansion thermique des océans associées au réchauffement planétaire (Gouvernement du Canada, 1991; LAPEL, 1989; Hengeveld, 1991; IPCC, 1990), auxquelles s'ajoute le phénomène de subsidence de la croûte terrestre (El-Sabh et Murty, 1993). Selon certaines estimations, la hausse locale prévue pour l'an 2050 serait d'environ 16 cm dans l'estuaire du Saint-Laurent et pourrait atteindre 30 cm dans le golfe (annexe 2).

2.3.3 Les effets sur les usages et les composantes naturelles du Saint-Laurent

L'effet combiné de la baisse de débit du Saint-Laurent et de la montée du niveau de la mer amènerait une augmentation des intrusions salines dans l'estuaire fluvial. On s'interroge quant à l'impact de ces intrusions salines sur les milieux humides et l'ensemble des écosystèmes entre l'île d'Orléans et le lac Saint-Pierre. En effet, les écosystèmes d'eau douce seraient profondément modifiés par une exposition à des eaux saumâtres et à des marées importantes. De plus, la pénétration de l'eau salée dans les embouchures des rivières, dans les nappes phréatiques superficielles et même dans les aquifères pourrait entraîner des modifications dans les écosystèmes aquatiques et riverains (LAPEL, 1989).

Par ailleurs, une baisse des débits et des niveaux d'eau pourrait causer l'assèchement des milieux humides et une perte de leur superficie, ce qui représente une menace pour les communautés biologiques qui verraient décroître leurs aires de nidification, de repos ou d'alimentation (Tangley, 1988), en particulier dans la partie ouest du tronçon fluvial. Malgré les incertitudes qui demeurent nombreuses, certains scénarios peuvent être imaginés. Ainsi, dans l'hypothèse d'une réduction significative du débit du Saint-Laurent, il est plausible qu'un grand nombre d'herbiers aquatiques et de marais disparaîtraient au profit des marécages et des prairies humides. Le débit résultant coulerait en grande partie dans l'actuel chenal de navigation en bordure duquel on ne retrouverait qu'une frange réduite d'herbiers et de marais. La superficie des habitats productifs pour la faune aquatique serait réduite et la productivité

ainsi que la diversité biologique des grands systèmes lacustres comme le lac Saint-Pierre et le lac Saint-Louis pourraient diminuer considérablement (Mailhot, 1998).

La définition des impacts d'un changement climatique sur les usages fauniques demeure toutefois très imprécise. Les connaissances doivent être approfondies afin de mieux cerner cette problématique, en particulier en ce qui concerne les interactions biologiques entre les différentes espèces, la distribution des proies, les compétiteurs, les prédateurs et les organismes parasites (Sibley et Strickland, 1985).

Une baisse du débit et du niveau d'eau dans le tronçon fluvial aurait également un impact sur la navigation. Les infrastructures côtières et maritimes (quais, chenaux, digues, ports) devront probablement être modifiées suite à un changement climatique important (LAPEL, 1989; Environnement Canada, 1990a; U.S. Office of Technology Assessment, 1993). Elle agirait également sur la capacité de chargement des navires, et rendrait de ce fait les ports du Saint-Laurent moins compétitifs sur le marché mondial. Les activités de dragage devront pour leur part s'intensifier afin de maintenir la hauteur d'eau garantie pour la navigation. Finalement, les risques d'accidents maritimes et d'échouements de navires seraient accrus.

La gestion des niveaux d'eau des Grands Lacs et du Saint-Laurent est aussi concernée par les changements climatiques, car on ne peut supposer que les fluctuations « naturelles » des niveaux d'eau du prochain siècle ressembleront aux fluctuations observées lors des 100 dernières années. Or, le plan de régularisation 1958-D est basé sur les données hydrométéorologiques de la période 1860-1954, données qui devaient représenter toute la gamme des conditions possibles. En réalité, ce n'est pas le cas, car depuis une trentaine d'années, le Saint-Laurent a connu des fluctuations supérieures à celles de la période ci-haut mentionnée. Une révision des critères de régularisation est donc souhaitable dans le contexte des changements climatiques.

Par ailleurs, dans un scénario de réchauffement climatique, l'épuration des eaux usées de sources urbaines, industrielles et agricoles deviendrait plus problématique vu que la capacité de dilution des cours d'eau serait réduite. Les municipalités devront appliquer un traitement plus élaboré de l'eau pour que celle-ci soit bonne à la consommation humaine. Cette situation sera davantage critique en période d'étiage estival, lorsque les températures sont plus chaudes et que la consommation d'eau est à son maximum (LAPEL, 1989). On s'attend aussi à une plus grande demande en eau dans le bassin des Grands Lacs, ce qui entraînerait vraisemblablement des prélèvements plus importants et des dérivations potentielles vers les États-Unis, qui exercent déjà des pressions politiques en ce sens (Cohen, 1990; Farid *et al.*, 1997; IJC, 1997). Cette situation pourrait faire chuter davantage le niveau d'eau du Saint-Laurent.

En ce qui concerne l'estuaire maritime et le golfe, les conséquences d'une élévation du niveau de la mer sont les suivantes : érosion du littoral, modification du coin salé et intrusion d'eau de mer dans les rivières et les nappes phréatiques réduisant les ressources en eau potable (Lane, 1988; Titus et Barth, 1984). Les marais seraient également influencés ainsi que toute la faune qu'ils supportent. Une hausse des niveaux d'eau entraînerait aussi des problèmes aux infrastructures portuaires et riveraines ainsi qu'aux réseaux d'égouts domestiques et pluviaux (Lane, 1988; Martec, 1987). Enfin, une élévation significative du niveau de la mer implique une fréquence et une sévérité accrues des inondations avec, en plus, une hausse des niveaux extrêmes (Martec, 1987).

En résumé, les impacts les plus probables des changements climatiques sur le Saint-Laurent, en relation avec les niveaux d'eau, sont les suivants (LAPEL, 1989; Jean, 1990; Environnement Canada, 1992) :

Tronçon fluvial et estuaire fluvial :

- dragage et entretien plus fréquents du chenal de navigation;
- accroissement du risque à la navigation et augmentation des interventions d'assistance et de sauvetage par la Garde côtière canadienne;
- capacité de chargement des bateaux amoindrie en raison d'une diminution de la hauteur d'eau dans les des voies de navigation;
- détérioration de la qualité de l'eau;
- pertes accélérées de productivité et perte de superficies des milieux humides;
- intrusions salines plus fréquentes et plus importantes dans l'estuaire fluvial (possibilité de contamination des nappes phréatiques).

Estuaire moyen, estuaire maritime et golfe :

- érosion accrue des plages et des rives;
- dépérissement des forêts riveraines;
- possibilité d'accueillir des navires à plus fort tirant d'eau.

Les changements climatiques sont susceptibles d'engendrer d'autres impacts, qui ne sont pas en relation avec l'enjeu de la variation des niveaux d'eau. Nous les mentionnons à titre d'information (Environnement Canada, 1992; LAPEL, 1989) :

- saison de navigation dans la Voie maritime du Saint-Laurent prolongée en raison du réchauffement (glace de moins en moins présente);
- augmentation des concentrations de dioxyde de carbone dissous dans l'eau, entraînant une acidification de l'eau;
- augmentation de la contamination bactérienne des Grands Lacs et du Saint-Laurent sous l'effet combiné de la réduction du débit et d'une hausse de la température de l'eau.

2.3.4 Les actions entreprises face aux changements climatiques (COMPOSANTES DE RÉPONSE)

2.3.4.1 *Programme d'action national concernant les changements climatiques au Canada*

Le Canada fait partie du groupe de 150 pays et plus qui ont signé la Convention-cadre sur les changements climatiques lors de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement tenue à Rio de Janeiro en juin 1992. Le Programme d'action national concernant les changements climatiques au Canada trace la voie que doit suivre le Canada pour respecter ses engagements dans les domaines suivants : atténuation des changements climatiques, adaptation, recherche, éducation et coopération internationale. Ce programme, qui a vu le jour en 1995, se veut un plan dynamique qui fixe les orientations, prévoit l'examen des progrès accomplis et permet les réajustements. En outre, il fournit des indications sur les mesures à prendre pour atteindre les objectifs de réduction des gaz à effet de serre. L'élaboration de ce programme a nécessité une coopération étroite des gouvernements fédéral, provincial et territorial, ainsi que l'apport d'un vaste éventail d'intervenants représentant les municipalités, l'industrie, la communauté environnementale et d'autres groupes.

Au niveau global, les mesures de réduction constituent un objectif important commun à tous les pays du monde. En décembre 1997, suite à d'intenses négociations internationales, le *Protocole de Kyoto* a été adopté. En signant ce protocole, le Canada s'est engagé à appliquer des mesures pour réduire de 6 p. 100 (par rapport aux niveaux de 1990) les émissions de gaz à effet de serre sur son territoire d'ici la période 2008-2012.

Des mesures d'adaptation doivent également être mises en place pour atténuer les dommages causés par un changement climatique probablement inévitable selon les experts. L'adaptation désigne, dans le présent contexte, les mesures qu'il faut prendre pour s'ajuster aux variations futures dans le but de réduire la vulnérabilité des systèmes naturels et socio-économiques face aux changements climatiques (U.S. Office of Technology Assessment, 1993; Gouvernement du Canada, 1995; Mortsch et Mills, 1996).

2.3.4.2 *Projet Bassin Grands Lacs–Saint-Laurent (BGLSL)*

Le bassin Grands Lacs–Saint-Laurent sera probablement touché de façon importante par les changements climatiques. Le projet d'adaptation aux impacts du changement et de la variabilité climatique du bassin Grands Lacs–Saint-Laurent (BGLSL) est un exemple concret du désir de contribuer au développement durable en tenant compte du climat changeant (Mortsch et Mills, 1996; Koshida et Mortsch, 1991). Ce projet, d'une durée de cinq ans, a été

initié en 1992 par Environnement Canada⁴⁶ pour améliorer la compréhension des interactions complexes entre le climat, l'environnement et la société. Il a aussi pour but de développer des stratégies et des mécanismes efficaces d'adaptation régionale en réponse à un changement climatique et une augmentation de la variabilité du climat dans le bassin Grands Lacs–Saint-Laurent. Les intérêts du projet s'orientent autour de thèmes sensibles au climat tels que la gestion de l'eau, l'utilisation du sol, l'état des écosystèmes et la santé humaine (Mortsch et Mills, 1996).

L'augmentation des fluctuations des niveaux d'eau, reliée à une plus grande variabilité climatique, nécessite des mesures de protection qu'il faut planifier dès maintenant (Environnement Canada, 1992; U.S. Office of Technology Assessment, 1993; Mortsch et Mills, 1996). Les responsables du projet BGLSL considèrent donc qu'il est important de développer des mécanismes d'adaptation et d'atténuation avant que des situations extrêmes deviennent incontrôlables. L'adaptation ne peut empêcher les situations climatiques extrêmes, mais elle peut limiter leurs impacts sur la société en rendant celle-ci moins vulnérable face à la variabilité climatique. Ceci est particulièrement important en ce qui concerne le Saint-Laurent. En effet, le fleuve traverse différentes zones climatiques (section 1.1.3), ce qui le rend particulièrement vulnérable aux changements climatiques (Burton, 1997).

2.3.4.3 *Étude pancanadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement du climat*

Dans le but de favoriser l'adaptation aux changements climatiques que l'on juge inévitables, une étude pancanadienne a été initiée en 1996. Elle vise à dresser l'état des connaissances actuelles sur les impacts possibles des changements climatiques projetés et sur les mesures d'adaptation à ces changements (Maxwell *et al.*, 1997). Cette étude couvre six régions géographiques (Colombie-Britannique et Yukon, Arctique, Prairies, Ontario, Québec et Maritimes) et 12 secteurs stratégiques d'intérêt national (agriculture, assurances et finances, écosystèmes, énergie, foresterie, infrastructures, milieux humides, pêcheries, ressources en eau, santé, tourisme, transport). L'étude est parrainée par Environnement Canada et se divise en deux étapes. La première étape (phase I), terminée à l'automne 1997, présente une revue et une évaluation la plus exhaustive possible de la littérature existante traitant des répercussions et de l'adaptation à la variabilité et au changement climatique au Canada. Les lacunes actuelles sont identifiées et des recommandations traitant des avenues de recherche future pour combler

⁴⁶ Groupe de recherche en adaptation environnementale, Direction de l'environnement atmosphérique, Environnement Canada.

ces lacunes sont proposées pour une éventuelle phase II qui est prévue s'étendre sur une période de cinq ans (Bergeron *et al.*, 1997). Le tome V de l'Étude pancanadienne est consacré spécifiquement au Québec. L'identification de plusieurs lacunes et la formulation d'un grand nombre de recommandations dans ce document a permis de pousser plus loin la connaissance des impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement du climat au Québec. Par ailleurs, Hofman et Mortsch (1997) présentent, dans le cadre de l'Étude pancanadienne, des résultats spécifiques au bassin Grands Lacs–Saint-Laurent en ce qui concerne les ressources en eau.

2.3.4.4 Synopsis

TABLEAU 2.8

Sommaire des changements climatiques globaux et le Saint-Laurent

PRESSION	ÉTAT	RÉPONSE
<p>Le bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent a connu un réchauffement de 0,7 °C au cours du dernier siècle. Les statistiques nationales de température montrent que c'est dans l'ouest du Canada que le réchauffement actuel est le plus évident alors que dans l'est, on assiste possiblement à une augmentation de la variabilité climatique.</p> <p>On prévoit que la teneur en dioxyde de carbone doublera par rapport à celle de l'ère préindustrielle, au cours du prochain siècle si aucune mesure de réduction des gaz à effet de serre n'est prise. Selon les modèles de circulation générale atmosphérique (MCGA), un tel doublement produirait un réchauffement moyen de 3 °C le long du Saint-Laurent d'ici 50 ans, un premier gel retardé de 9 à 14 jours, une fonte hâtée de 13 à 16 jours, une hausse de 5 à 20 p. 100 de la précipitation en hiver et d'environ 10 p. 100 au printemps.</p>	<p>Effets sur les débits et les niveaux d'eau du Saint-Laurent</p> <p>Le principal impact appréhendé sur le Saint-Laurent est la variation du niveau de l'eau, plus spécifiquement la réduction probable du débit du Saint-Laurent. En effet, selon les scénarios des MCGA correspondant à une atmosphère dont la teneur en dioxyde de carbone est doublée, le débit d'eau provenant du lac Ontario pourrait diminuer de 21 à 51 p. 100.</p> <p>En considérant un scénario de 40 p. 100 de réduction, le débit actuel du Saint-Laurent, évalué à 7300 m³/s à la hauteur du port de Montréal, baisserait à 5100 m³/s, ce qui représente une valeur inférieure au minimum record de 5900 m³/s des 90 dernières années.</p> <p>Effets sur les usages et les composantes du milieu naturel</p> <p>Le principal impact de l'effet de serre sur le Saint-Laurent serait de favoriser une baisse du niveau de l'eau dans la partie ouest (tronçon et estuaire fluvial) et une augmentation du niveau d'eau, par rapport à la normale, dans l'estuaire maritime et le golfe. Les conséquences les plus probables seraient les suivantes :</p> <p>Tronçon fluvial et estuaire fluvial</p> <ul style="list-style-type: none"> • augmentation du dragage; • accroissement du risque à la navigation et augmentation des interventions d'assistance et de sauvetage; • capacité de chargement des bateaux amoindrie; • détérioration de la qualité de l'eau; • perte de superficie des milieux humides; • intrusions salines plus fréquentes dans l'estuaire fluvial avec risque de contamination des nappes phréatiques. <p>Estuaire moyen, estuaire maritime et golfe</p> <ul style="list-style-type: none"> • érosion accrue des plages et des rives; • dépérissement des forêts riveraines; • possibilité d'accueillir des navires à plus fort tirant d'eau. 	<p>Programme d'action national</p> <p>Le Canada fait partie du groupe de 150 pays et plus qui ont signé la <i>Convention cadre sur les changements climatiques</i> à Rio en 1992. Le programme d'action national trace la voie que doit suivre le Canada pour respecter ses engagements. Son élaboration a nécessité une coopération étroite des gouvernements fédéral, provincial et territorial, ainsi que l'apport d'un vaste éventail d'intervenants représentant les municipalités, l'industrie, la communauté environnementale et d'autres groupes. Avec le <i>Protocole de Kyoto</i> (1997), le Canada poursuit sur sa lancée en acceptant de réduire de 6 p. 100 les gaz à effet de serre d'ici la période 2008-2012.</p> <p>Projet Bassin Grands Lacs–Saint-Laurent (BGLSL)</p> <p>Le projet BGLSL, d'une durée de 5 ans, a été initié en 1992 et vise à améliorer la compréhension des interactions complexes où interviennent le climat, l'environnement et la société afin de développer des stratégies d'adaptation régionale en réponse à un changement climatique dans le bassin Grands Lacs–Saint-Laurent. Les dirigeants du projet considèrent qu'il est important de développer des mécanismes d'adaptation et d'atténuation maintenant, plutôt que d'attendre que des situations extrêmes deviennent incontrôlables.</p> <p>Étude pancanadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement du climat</p> <p>Cette étude nationale, parrainée par Environnement Canada, vise à dresser l'état des connaissances actuelles sur les impacts possibles des changements climatiques projetés et sur les mesures d'adaptation à ces changements. Elle couvre 12 secteurs stratégiques d'intérêt national (agriculture, assurances et finances, écosystèmes, énergie, foresterie, infrastructures, milieux humides, pêcheries, ressources en eau, santé, tourisme, transport). La partie de l'Étude consacrée au Québec a permis de faire le point sur les connaissances et d'identifier de nombreuses lacunes et recommandations.</p>

Commentaires

- Les spécialistes en sciences atmosphériques s'accordent à dire que le réchauffement de la planète est une réalité et on s'attend à ce qu'il s'accélère si aucune action n'est prise pour réduire les gaz à effet de serre.
 - Pour étudier les changements climatiques, les scientifiques utilisent les modèles de circulation générale atmosphérique (MCGA). Les scénarios produits par ces modèles ne doivent pas être considérés comme des prévisions climatiques mais plutôt comme des scénarios possibles d'évolution climatique. En effet, il n'existe pas de modèles capables d'interpoler de façon précise à l'échelle régionale. L'interprétation des résultats de ces modèles doit donc être faite avec prudence.
 - La définition des impacts des changements climatiques sur la faune et les composantes du milieu naturel apparaît très imprécise. Les connaissances doivent être approfondies, en particulier en ce qui concerne les interactions biologiques entre les différentes espèces.
 - La CMI est préoccupée par le sujet et encourage les gouvernements à poursuivre leurs efforts pour déterminer et comprendre les changements climatiques mondiaux. La gestion des niveaux d'eau des Grands Lacs et du Saint-Laurent est concernée, car face aux changements climatiques, on ne peut supposer que les fluctuations des niveaux d'eau du prochain siècle ressembleront aux fluctuations observées lors des 100 dernières années. Une révision des critères de régularisation est donc souhaitable dans le contexte des changements climatiques.
-

2.4 Analyse globale

2.4.1 Vue d'ensemble de l'enjeu

Les fluctuations des niveaux d'eau du Saint-Laurent sont attribuables en partie à des facteurs naturels (principalement des facteurs climatiques comme la précipitation) et dans une certaine mesure, à des facteurs anthropiques comme la présence de barrages hydroélectriques. En effet, plusieurs ouvrages d'ingénierie ont été implantés sur le Saint-Laurent au cours du vingtième siècle, surtout dans le tronçon fluvial. Des modes de gestion sont en vigueur pour régulariser les débits d'eau en amont et en aval de ces ouvrages, ce qui a modifié de façon appréciable les régimes hydrologiques annuels (et les niveaux d'eau), du moins dans certains secteurs du Saint-Laurent. Ces changements dans les fluctuations saisonnières et interannuelles des niveaux d'eau ont entraîné des conséquences plus ou moins importantes sur les composantes naturelles du Saint-Laurent et sur les usages anthropiques de celui-ci.

Les effets sur les usages et les composantes naturelles sont nombreux, diversifiés et souvent opposés, ce qui implique que des conflits d'usage ne peuvent être évités. Par exemple, les intervenants du transport maritime souhaitent des variations faibles et un niveau moyen le plus élevé possible afin de pouvoir faire transiter en toute sécurité des bateaux à fort tirant d'eau. Les riverains, pour leur part, veulent un niveau d'eau le plus constant possible pour leurs embarcations et leurs prises d'eau, mais pas trop élevé en raison des risques d'inondations. Hydro-Québec favorise le maintien d'un niveau stable et un débit le plus près possible de la puissance maximale turbinable, afin de maintenir au maximum la production hydroélectrique. Finalement, les écologistes souhaitent des fluctuations se rapprochant le plus possible des fluctuations naturelles, car elles sont bénéfiques aux milieux humides et facilitent l'accès aux frayères au moment opportun pour plusieurs espèces de poissons.

Ces considérations montrent à quel point la gestion des niveaux d'eau du Saint-Laurent est complexe et touche de nombreux intérêts. En effet, les attentes des différents groupes d'utilisateurs sont souvent difficiles à concilier. Par ailleurs, dans une perspective de

développement durable, il est important de prendre aussi en considération les besoins des écosystèmes, dont certaines composantes peuvent entrer en conflit entre elles (par exemple, la reproduction des poissons d'eau calme et la nidification de la sauvagine au printemps). Finalement, les phénomènes globaux comme les changements climatiques rendent la gestion des eaux encore plus complexe car ils interviennent à des échelles spatiales et temporelles plus larges, ce qui nécessite une intervention à l'échelle nationale et internationale.

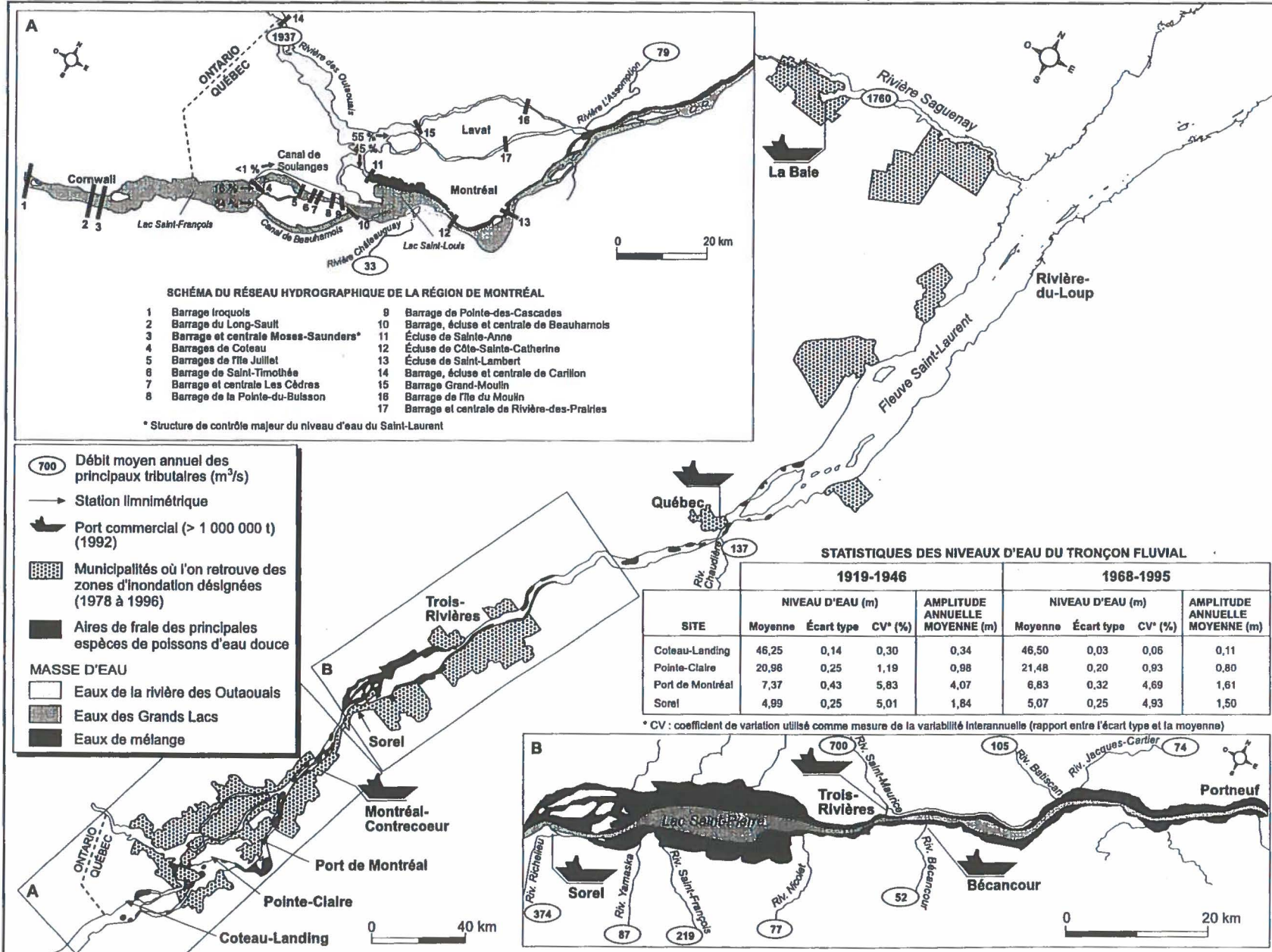
La présente section intègre les principaux éléments discutés précédemment, de façon à donner une vue d'ensemble de l'enjeu rattaché aux fluctuations des niveaux d'eau du Saint-Laurent. Pour faciliter cette vue globale, l'information est présentée sous la forme de figures et de tableaux. Tout d'abord, les figures 2.17A et 2.17B résument, dans une perspective spatio-temporelle, les éléments nécessaires pour établir le contexte de l'enjeu. La première présente une synthèse des informations de base et des problématiques associées aux fluctuations des niveaux d'eau du Saint-Laurent alors que la seconde illustre les problématiques liées aux variations saisonnières des niveaux d'eau.

Par ailleurs, les nombreux facteurs naturels et anthropiques influençant les niveaux d'eau agissent à différentes échelles spatiales et temporelles et l'amplitude de leur impact sur les niveaux d'eau est plus ou moins grande. Le tableau 2.9 fait une synthèse des informations concernant ces facteurs naturels et anthropiques. Enfin, le tableau 2.10A résume les problématiques liées aux niveaux d'eau. Pour chaque secteur du fleuve, on y présente de l'information sur les différentes composantes de Pression, d'État et de Réponse traitées dans le document. Le tableau 2.10B reprend la même logique de présentation, en mettant l'accent sur les éléments spécifiques aux changements climatiques globaux.

2.4.2 Évaluation de l'importance des effets des fluctuations des niveaux d'eau sur les usages et les composantes du milieu

La section 2.2.2 a présenté une description des effets des fluctuations des niveaux d'eau du Saint-Laurent sur les principaux usages et les composantes du milieu naturel. Il s'agissait d'une liste descriptive, ne permettant pas de comparer entre elles, par exemple, les diverses conséquences des hauts niveaux sur les différents usages ou composantes du milieu. La présente section tente d'évaluer l'importance relative des différents impacts associés aux fluctuations des niveaux d'eau. Pour ce faire, les effets de la variation des niveaux d'eau sont évalués relativement aux pertes ou gains pour l'environnement ou la société.

FIGURE 2.17A Principales caractéristiques du réseau hydrographique du Saint-Laurent et usages influencés par les fluctuations des niveaux d'eau



Sources : À partir des données de Gingras et al., 1997b, 1997c, 1997e; Carpentier, 1998; Therrien et al., 1991.

FIGURE 2.17B Problématiques liées au cycle annuel des niveaux d'eau

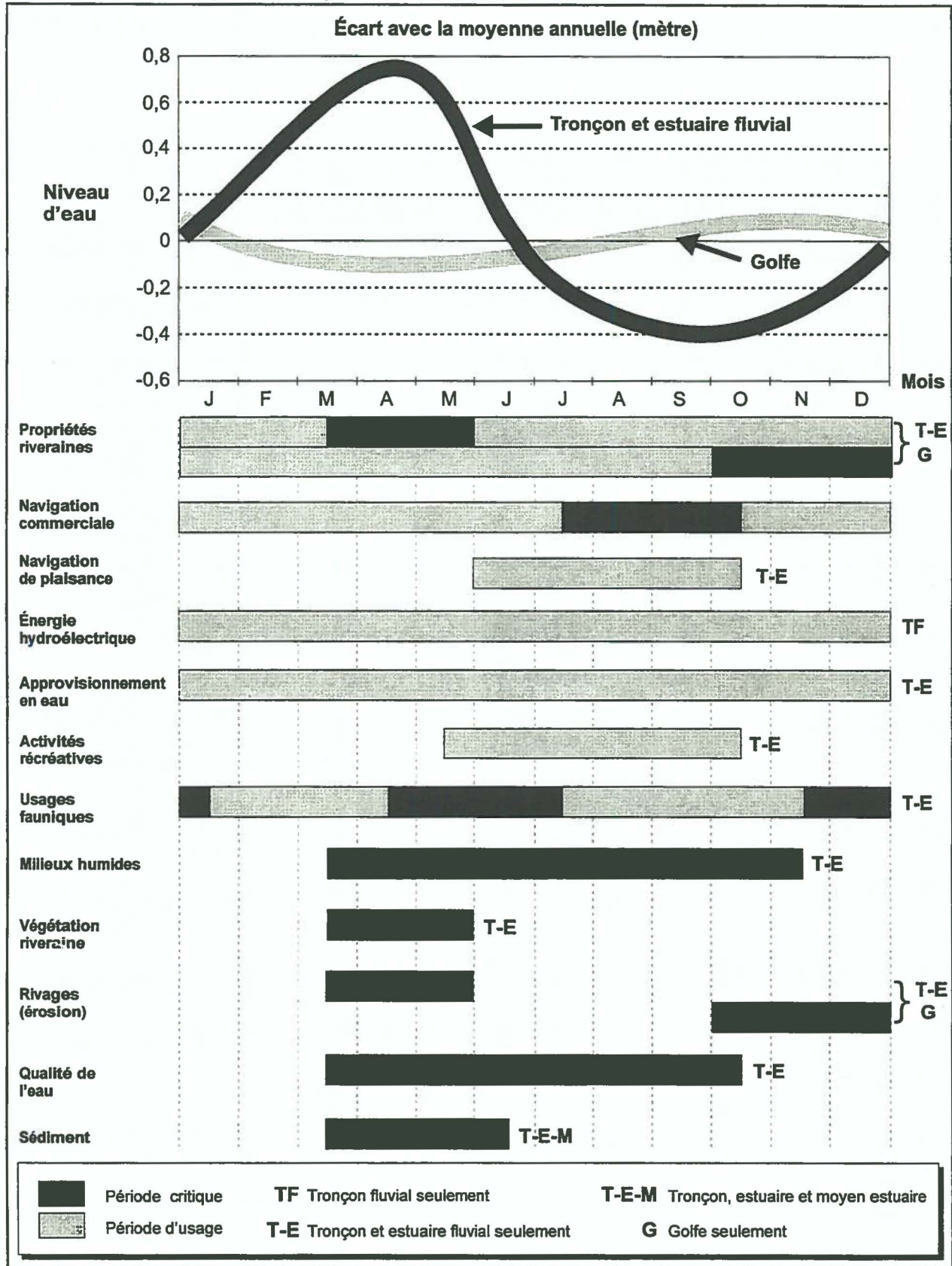


TABLEAU 2.9
Description et influence des facteurs naturels et anthropiques sur les niveaux d'eau du Saint-Laurent

	ÉCHELLE SPATIALE	ÉCHELLE TEMPORELLE	CHANGEMENT POTENTIEL MAXIMAL DE NIVEAU* SUR LE SAINT-LAURENT	COMMENTAIRES
FACTEURS NATURELS				
Marées	EF, ME, EMG	Minutes-heures	+ 6 m	Les plus fortes marées sont observées dans la région de Québec.
Pression atmosphérique	EF, ME, EMG	Heures-jours	± 0,5 m	Ce facteur explique le maximum annuel du niveau d'eau en automne dans le golfe.
Vent	T	Heures-jours	± 0,5 m	Effet important surtout sur les lacs fluviaux et dans le golfe.
Embâcles	TF, EF	Heures-semaines	+ 5 m (localement)	Phénomène potentiellement dangereux mais contrôlé par les brise-glaces de la Garde côtière canadienne (GCC).
Ruissellement des rivières tributaires	TF, EF, ME	Jours-mois	± 0,5 m	Les rivières tributaires contribuent à l'accroissement du débit entre Cornwall et Québec.
Herbiers aquatiques	TF, EF	Semaines-mois	± 0,2 m	Influence saisonnière (juin-octobre).
Précipitation	BGLSL	Semaines-années	± 1 m	La précipitation est la source ultime de tous les apports en eau.
Évaporation	BGLSL	Semaines-années	± 0,2 m	Facteur négligeable directement sur le Saint-Laurent mais très important sur l'ensemble du BGLSL.
Hausse du niveau de la mer	EF, ME, EMG	Décennies-siècles	+ 0,5 m	Causée, en partie, par le soulèvement isostatique et le réchauffement planétaire.
Soulèvement isostatique	T	Siècles	-0,10 à + 0,50 m	Les repères des mesures de niveau d'eau changent lentement à cause de ce phénomène.
FACTEURS ANTHROPIQUES				
Contrôle des embâcles	TF, EF	Heures-semaines	- 5 m (localement)	Les navires de la GCC éliminent les embâcles.
Barrages hydroélectriques : Moses-Saunders et Beauharnois	TF	Heures-mois	0 à + 0,2 m** (amplitude moyenne annuelle réduite par un facteur de 3 à Coteau-Landing)	Contrôlent les niveaux d'eau et modifient les débits saisonniers.
Chenal de navigation et dragage (Cornwall à l'île d'Orléans)	TF, EF	Permanent	Variable	Peut diminuer les niveaux d'eau près des rives.
Dérivations d'eau	BGLSL	Permanent	- 0,5 m	Projets des États-Unis d'effectuer de multiples dérivations à partir des Grands Lacs.

	ÉCHELLE SPATIALE	ÉCHELLE TEMPORELLE	CHANGEMENT POTENTIEL MAXIMAL DE NIVEAU* SUR LE SAINT-LAURENT	COMMENTAIRES
FACTEURS ANTHROPIQUES (suite)				
Autres mécanismes	T	Variable	Inférieur à $\pm 0,1$ m	Autres barrages hydroélectriques mineurs et autres mécanismes anthropiques (digues de Sorel, construction du site d'Expo 67, etc.).

* Le changement est évalué par rapport à la moyenne historique des niveaux d'eau.

** Évalué sur une base mensuelle.

Légende. – BGLSL : bassin Grands Lacs–Saint-Laurent. TF : tronçon fluvial. EF : estuaire fluvial. ME : moyen estuaire. EMG : estuaire maritime et golfe. T : tous les secteurs du Saint-Laurent.

Tout d'abord, la liste des usages et des composantes du milieu directement affectés par les hautes eaux ou les basses eaux (extrêmes ou prolongées) est dressée. À la lumière de l'ensemble des informations présentées dans ce document (en particulier le tableau 2.2), la nature (perte ou gain) et l'intensité de ces impacts sont évaluées à l'aide d'une échelle d'appréciation semi-objective, pour chaque usage ou composante du milieu sensible aux variations des niveaux d'eau (tableau 2.11). La cote attribuée peut varier de -4 à +4 et a été établie en fonction de l'importance de l'impact et de la sensibilité de l'usage ou de la composante face à une variation des niveaux d'eau, telles que décrites ou perçues par les différents intervenants (scientifiques, usagers, décideurs, etc.). Cette évaluation a été réalisée à partir de nombreux documents traitant de l'effet des fluctuations des niveaux d'eau ou de la régularisation des eaux du Saint-Laurent. Les commentaires émis par divers intervenants lors d'audiences publiques tenues par la CMI ont aussi été considérés (les cotes n'ont pas soulevé d'objection de la part des représentants des partenaires de SLV 2000 consultés).

Le bilan des pertes et des gains (socio-économiques et environnementaux) présenté au tableau 2.11 permet de broser une image globale des impacts de la fluctuation des niveaux d'eau du Saint-Laurent sur les usages et les composantes du milieu. Par exemple, on y observe que des hauts niveaux causent des pertes faibles à extrêmes en ce qui concerne les propriétés riveraines (dépendant du débit d'eau), alors que ces mêmes niveaux élevés ont, au contraire, un effet bénéfique sur la navigation commerciale et certains usages fauniques.

TABLEAU 2.10A

Résumé des problématiques liées aux fluctuations des niveaux d'eau du Saint-Laurent

	TRONÇON FLUVIAL	ESTUAIRE FLUVIAL	MOYEN ESTUAIRE	ESTUAIRE MARITIME ET GOLFE
PRESSION				
Catastrophes naturelles	Une augmentation de la fréquence et de la sévérité des catastrophes naturelles d'origine climatique est notée à travers le monde (aucune conclusion ne peut toutefois être tirée en ce qui concerne le Canada et le Québec).			
Principaux facteurs anthropiques influençant les niveaux d'eau	Contrôle des embâcles, barrages hydroélectriques de Moses-Saunders et Beauharnois; Voie maritime du Saint-Laurent; dragage.	Contrôle des embâcles, dragage.	n.a.	n.a.
Importance relative des facteurs anthropiques par rapport aux facteurs naturels	Le plan de régularisation 1958-D influence fortement les cycles saisonniers du niveau d'eau alors que les fluctuations des apports naturels en eau dans le bassin des Grands Lacs et dans celui de la rivière des Outaouais influencent fortement les cycles interannuels des niveaux d'eau du Saint-Laurent.	Les facteurs naturels (marées, fluctuations des apports naturels en eau, embâcles, etc.) ont plus d'importance que les facteurs anthropiques.	Les marées et les phénomènes météorologiques (vent, pression atmosphérique) sont les principaux facteurs influençant les niveaux d'eau à court terme. Les changements climatiques peuvent affecter les niveaux d'eau à long terme et les mouvements de la croûte terrestre affectent les points de repère servant à la mesure des niveaux d'eau.	
ÉTAT				
Facteurs naturels influençant les niveaux d'eau	Marées, pression atmosphérique, vent, embâcles, ruissellement (rivières tributaires), herbiers aquatiques, précipitation (bassin des Grands Lacs), soulèvement isostatique.	Marées, pression atmosphérique, vent, embâcles, ruissellement (rivières tributaires), herbiers aquatiques, précipitation (bassin des Grands Lacs), hausse du niveau de la mer, soulèvement isostatique.	Marées, pression atmosphérique, vent, hausse du niveau de la mer, soulèvement isostatique.	
Fluctuations des niveaux d'eau	Les niveaux moyens ont augmenté au lac Saint-François et l'amplitude du cycle annuel et des fluctuations annuelles et interannuelles a grandement diminué dans la période 1968-1995 par rapport à la période antérieure, soit 1919-1946. En aval de Beauharnois, ces changements d'une période à l'autre sont moins marqués, sauf au port de Montréal.	Les changements dans les niveaux d'eau entre la période 1968-1995 et la période 1919-1946 sont moins marqués que dans le cas du tronçon fluvial. Tendance à long terme de la hausse du niveau d'eau (entre 5 et 10 cm/siècle)	Hausse du niveau moyen de la mer depuis environ 100 ans (0,5 cm à Pointe-au-Père; 15 cm aux îles de la Madeleine; jusqu'à environ 30 cm dans le golfe).	
Effets sur les composantes du milieu	Les épisodes extrêmes et prolongés des hautes eaux affectent les rivages, les milieux humides et la végétation riveraine. Les basses eaux (extrêmes ou prolongées) assèchent les milieux humides et affectent la qualité de l'eau.		Une tendance à la hausse des niveaux d'eau provoque l'érosion accrue des rivages et un dépérissement des forêts riveraines.	
Effets sur les usages anthropiques	Les hautes eaux (extrêmes ou prolongées) peuvent favoriser la navigation commerciale et la production hydroélectrique mais menacent les propriétés riveraines et la sécurité publique. Les basses eaux (extrêmes ou prolongées) nuisent à tous les usages anthropiques mais éliminent les risques d'inondation des propriétés riveraines.	Identique au tronçon fluvial, sauf pour la production d'énergie hydroélectrique qui est absente dans ce secteur du Saint-Laurent.	Les hautes eaux menacent les propriétés riveraines et la sécurité publique. Les basses eaux extrêmes ou prolongées dans les secteurs plus en amont (tronçon fluvial) pourraient favoriser l'achalandage aux ports commerciaux de l'estuaire et du golfe.	

	TRONÇON FLUVIAL	ESTUAIRE FLUVIAL	MOYEN ESTUAIRE	ESTUAIRE MARITIME ET GOLFÉ
ÉTAT (suite)				
Effets sur les usages fauniques	Les hautes eaux (extrêmes ou prolongées) favorisent l'accès aux frayères et la reproduction de plusieurs espèces de poissons. Par contre, les habitats pour la faune aviaire et les reptiles peuvent être inondés en période de hautes eaux. En période de basses eaux (extrêmes ou prolongées), la plupart des usages fauniques subissent des effets négatifs. Le synchronisme est aussi très important pour la faune, c'est-à-dire le moment de l'année où surviennent les épisodes de basses eaux ou de hautes eaux.			n.d.
RÉPONSE				
Mesures de gestion existantes	Plan de régularisation 1958-D Commission mixte internationale (CMI)* Plan de régularisation de la rivière des Outaouais (CPRRO) Prévention des embâcles sur le Saint-Laurent Garde côtière canadienne (GCC) Dragage (GCC)	Prévention des embâcles sur le Saint-Laurent (GCC) Dragage (GCC)	n.a.	n.a.
Efficacité des mesures existantes	Plan 1958-D : efficace sauf dans le cas de niveaux extrêmes. Plan de la CPRRO : efficacité limitée aux années dites sèches. Prévention des embâcles et dragage : efficacité élevée.	Prévention des embâcles et dragage : efficacité élevée.	n.a.	n.a.
Perception de la population	Tendance de la population à croire que : a) le contrôle sur la régularisation des niveaux d'eau est total; b) les plans de régularisation de la CMI ne tiennent pas assez compte de l'environnement et des demandes du Québec; c) les inondations des propriétés riveraines sont dues à des erreurs de gestion.		n.a.	n.a.

n.d. : données non disponibles.

n.a. : non applicable.

* Au moment d'écrire ces lignes, le Plan 1998 était proposé, mais pas encore officiellement approuvé.

TABLEAU 2.10B

Résumé des problématiques liées aux fluctuations des niveaux d'eau du Saint-Laurent dans le contexte des changements climatiques

	TRONÇON FLUVIAL	ESTUAIRE FLUVIAL	MOYEN ESTUAIRE	GOLFE
PRESSION				
Catastrophes naturelles	Augmentation prévue de la fréquence et de la sévérité des catastrophes naturelles d'origine climatique affectant le système Grand Lacs–Saint-Laurent.			
Principaux facteurs anthropiques influençant les niveaux d'eau	Barrages hydroélectriques de Moses-Saunders et Beauharnois; Voie maritime du Saint-Laurent, dragage, réduction des embâcles. La demande d'eau accrue dans le bassin des Grands Lacs et les dérivations d'eau à partir des Grands Lacs pourraient aussi affecter les niveaux d'eau du Saint-Laurent.		n.a.	n.a.
Importance relative des facteurs anthropiques par rapport aux facteurs naturels	Les changements climatiques modifieront l'importance relative des facteurs anthropiques et naturels (débits et niveaux d'eau à la baisse, fréquence des embâcles modifiée dû à un réchauffement des températures, etc.).		n.a.	n.a.
ÉTAT				
Facteurs naturels influençant les niveaux d'eau	Les changements de précipitation (bassin des Grands Lacs), de ruissellement (rivières tributaires) et d'évaporation (bassin des Grands Lacs) modifieront l'influence des facteurs naturels.	Similaire au tronçon fluvial. De plus, la hausse du niveau de la mer pourrait créer des intrusions salines en eau douce.	La hausse du niveau de la mer prendra davantage d'importance au cours des prochaines décennies.	
Scénarios de fluctuations des niveaux d'eau	Débit à la baisse de 23 p. 100 à 51 p. 100 selon différents modèles : niveaux d'eau à la baisse jusqu'à 1 m au-dessous du niveau actuel au lac Saint-Louis.	Débits et niveaux à la baisse (pourcentages inconnus).	Légère hausse prévue du niveau d'eau dû aux changements climatiques (hausse médiane inférieure à 20 cm d'ici l'an 2050).	Hausse prévue du niveau moyen de la mer (valeur médiane d'environ 30 cm d'ici l'an 2050).
Effets probables sur les usages anthropiques	Capacité de chargement des navires amoindrie en raison d'une diminution de la hauteur d'eau dans les voies de navigation. Baisse de production hydroélectrique.	Capacité de chargement des navires amoindrie en raison d'une diminution de la profondeur des voies de navigation.	La hausse du niveau de la mer pourrait menacer les propriétés riveraines dans ce secteur.	La hausse du niveau de la mer pourrait menacer les propriétés riveraines dans ce secteur.
Effets probables sur les usages fauniques	La réduction anticipée du débit du Saint-Laurent peut affecter les usages fauniques.	Les intrusions salines peuvent affecter les habitats d'eau douce.	n.d.	n.d.
Effets probables sur les composantes du milieu	Pertes accélérées de productivité et réduction de superficies des milieux humides.	Pertes accélérées de productivité et pertes de superficies des milieux humides. Intrusions salines plus importantes, pouvant contaminer la nappe phréatique.	Une tendance à la hausse des niveaux d'eau provoque l'accélération de l'érosion des rivages, un dépérissement accru des forêts riveraines et la contamination possible des nappes phréatiques.	

	TRONÇON FLUVIAL	ESTUAIRE FLUVIAL	MOYEN ESTUAIRE	GOLFE
RÉPONSE				
Changement dans les mesures de gestion existantes	Le plan de régularisation 1958-D (ou le Plan 1998)* devra être modifié pour tenir compte des changements climatiques. Moins d'embâcles à contrôler sur le Saint-Laurent. Dragage plus fréquent.	Moins d'embâcles à contrôler sur le Saint-Laurent. Dragage augmenté.		Mesures de protection à prévoir contre la hausse du niveau de la mer.
Changement dans la perception de la population	Le problème des changements climatiques sera de plus en plus reconnu par la population mais demeurera mal compris en l'absence de programmes d'éducation et de sensibilisation appropriés.			

n.d. : données non disponibles.

n.a. : non applicable.

* Au moment d'écrire ces lignes, le Plan 1998 était proposé, mais pas encore officiellement approuvé.

De façon générale, l'analyse du tableau 2.11 permet de tirer les deux conclusions suivantes :

- les hautes eaux procurent des gains appréciables pour certains usages ou composantes du milieu et des pertes parfois extrêmes pour d'autres;
- les basses eaux ont peu d'impacts positifs sur les usages ou composantes du milieu, et elles produisent des impacts négatifs parfois prononcés ou extrêmes.

Il convient de souligner qu'il s'agit d'une évaluation semi-objective et non quantitative, qui inclut une certaine marge d'erreur. Une approche méthodologique plus poussée, basée sur la statistique et sur un consensus d'un plus grand nombre d'intervenants devra être élaborée. Les cotes présentées au tableau 2.11 donnent néanmoins une idée de l'importance des pertes et des gains environnementaux associés aux niveaux d'eau extrêmes ou prolongés et permettent d'obtenir une vue d'ensemble de la problématique. En effet, ce tableau doit être considéré dans une perspective globale plutôt que d'un point de vue local ou sectoriel. Par exemple, un usage donné peut subir des pertes liées à des fluctuations extrêmes de niveau d'eau qui sont importantes localement, à un endroit donné, mais moins significatives si l'on considère l'ensemble du Saint-Laurent. De plus, le tableau permet d'évaluer rapidement l'étendue des conséquences des hautes eaux ou des basses eaux sur l'ensemble des usages et des composantes du milieu naturel.

TABLEAU 2.11

Évaluation semi-objective des pertes et des gains environnementaux en fonction des niveaux d'eau

	HAUTES EAUX (extrêmes ou prolongées)	BASSES EAUX (extrêmes ou prolongées)	ZONES SENSIBLES
USAGES			
Propriétés riveraines	-4 à -1	0 à +1	T
Navigation commerciale	+1 à +2	-4 à -3	TF, EF, ME
Navigation de plaisance	-1 à +1	-3 à -1	TF, EF
Énergie hydroélectrique	+2	-2	TF
Approvisionnement en eau	0	-2 à 0	TF, EF
Activités récréatives	-2 à 0	-2 à +1	T
Usages fauniques	-1 à +3	-3 à -1	TF, EF
COMPOSANTES DU MILIEU			
Milieux humides	-3 à -1	-2 à 0	TF, EF, ME
Végétation riveraine	-3 à -1	0	T
Rivages et berges	-4 à -2	-1 à 0	T
Qualité de l'eau	-2 à 0	-3 à -1	TF, EF
MES et sédiments	-2 à -1	-1 à 0	TF, EF

Nature de l'impact : + gain; - perte.

Intensité de l'impact : 0 : nulle; 1 : faible; 2 : modérée; 3 : prononcée; 4 : extrême.

Légende. - TF : tronçon fluvial. EF : estuaire fluvial. ME : moyen estuaire. T : tous les secteurs du Saint-Laurent incluant l'estuaire maritime et le golfe.

3 Conclusions et orientations

L'analyse effectuée au chapitre précédent a montré que les effets des fluctuations des niveaux d'eau du Saint-Laurent sont multiples et diversifiés. Ces fluctuations affectent les différents usages et composantes naturelles du Saint-Laurent de façons différentes, voire opposées. Les conflits d'usage sont donc nombreux en regard de la gestion des niveaux d'eau. Les fluctuations des niveaux d'eau sont attribuables à plusieurs facteurs dont certains sont naturels, comme la précipitation. D'autre part, les infrastructures de régularisation et de contrôle affectent aussi, à différents degrés selon les secteurs, les niveaux d'eau du Saint-Laurent. L'importance relative des facteurs naturels et des facteurs anthropiques dans les fluctuations des niveaux d'eau n'est pas parfaitement connue et varie d'un secteur à l'autre.

Ce chapitre synthétise l'information et fournit des éléments supplémentaires pour susciter la réflexion et orienter la prise de décision. Dans ce but, la notion d'incertitude associée à l'enjeu des niveaux d'eau et les lacunes majeures d'information sont d'abord abordées. Les préoccupations de gestion sont ensuite traitées en discutant de l'établissement d'objectifs environnementaux pour le maintien des usages et des composantes du milieu, en regard des niveaux d'eau ou de leurs fluctuations. Enfin, les principales conclusions relatives aux différents aspects de la problématique des fluctuations des niveaux d'eau du Saint-Laurent sont présentées, en mettant en relief les composantes de *Réponse*, de façon à dégager des pistes d'action visant à améliorer la situation.

3.1 Notions d'incertitude

La plus grande partie de l'incertitude associée à cet enjeu concerne les effets des fluctuations des niveaux d'eau sur certains usages ainsi que sur l'ensemble des composantes naturelles. En particulier, les relations entre l'état des communautés biologiques et les niveaux d'eau ne sont pas claires. Par ailleurs, les différents facteurs naturels et anthropiques influençant les niveaux d'eau du Saint-Laurent sont connus et ont été décrits au chapitre 2. Une certaine incertitude est toutefois rattachée à l'évaluation de la contribution relative des facteurs naturels par rapport à celle des facteurs anthropiques, en regard des fluctuations des niveaux d'eau observées le long du Saint-Laurent, surtout dans la section du fleuve en aval de Beauharnois, jusqu'à Sorel. Enfin, le rôle des changements climatiques globaux dans la problématique des niveaux d'eau constitue un autre aspect où on observe un niveau d'incertitude élevé, à savoir si les apports en eau augmenteront ou diminueront dans les prochaines années, et quelle sera l'ampleur des changements qui seront observés.

3.1.1 Effets des fluctuations des niveaux d'eau sur les usages anthropiques et fauniques et sur les composantes naturelles du Saint-Laurent

L'incertitude relative aux effets des hautes eaux ou des basses eaux sur les usages et les composantes naturelles est en partie exprimée par l'intervalle de la cote attribuée lors de l'évaluation des pertes et des gains environnementaux présentée au tableau 2.11. En effet, plus la variabilité et la complexité des liens entre les fluctuations des niveaux d'eau et un usage ou une composante naturelle donnée sont importantes, plus il y a d'incertitude et plus l'intervalle de la cote attribuée au tableau 2.11 est large. Par exemple, cet intervalle est particulièrement grand en ce qui concerne les composantes naturelles et les usages fauniques alors qu'il est moindre pour certains usages anthropiques tels que l'hydroélectricité ou la navigation commerciale. En d'autres mots, l'impact des fluctuations des niveaux d'eau sur ces deux usages anthropiques est plus facile à préciser que dans le cas des composantes naturelles ou des usages fauniques où d'autres facteurs que le niveau d'eau (notamment les vitesses d'écoulement et le synchronisme des fluctuations des niveaux d'eau avec les cycles biologiques) influencent grandement le maintien des usages ou des composantes naturelles.

Les données historiques des niveaux d'eau aux différentes stations du tronçon fluvial montrent une réduction significative de l'amplitude annuelle moyenne du niveau d'eau pour la période 1968-1995 par rapport à la période 1919-1946. Au lac Ontario, plusieurs études ont montré qu'il existe un lien entre une telle réduction des fluctuations des niveaux d'eau et l'état des composantes naturelles ou le maintien de certains usages fauniques. Cependant, on n'a pas pu démontrer de telles relations dans le cas du Saint-Laurent, bien que l'on soupçonne qu'elles soient également applicables, du moins pour la partie supérieure du tronçon fluvial. Il persiste donc une certaine incertitude quant aux effets réels de la réduction de la fourchette des fluctuations des niveaux d'eau dans ce secteur du fleuve. Cette incertitude résulte principalement d'un manque d'études et de données s'intéressant au lien entre les niveaux d'eau, la modification de l'écoulement et l'état des usages ou des composantes du milieu. Dans la majorité des cas, en effet, on ignore le lien existant entre le niveau d'eau et le maintien des usages ou des composantes naturelles.

3.1.2 Contribution des facteurs anthropiques et des facteurs naturels aux fluctuations des niveaux d'eau

Une autre source importante d'incertitude concerne l'effet réel des mécanismes de gestion des niveaux d'eau et des autres facteurs anthropiques sur les fluctuations des niveaux d'eau du Saint-Laurent, en particulier dans le tronçon Beauharnois-Sorel. Dans l'hypothèse d'un contrôle dominant des facteurs anthropiques, la variabilité saisonnière et interannuelle des niveaux d'eau devrait être beaucoup plus faible lors de la période 1968-1995 que lors de la

période 1919-1946. Cette situation est effectivement observée à Coteau-Landing (tableau 2.4). Cependant, à d'autres stations du tronçon fluvial, l'impact des facteurs anthropiques sur les fluctuations des niveaux d'eau n'est pas clair car les changements d'une période à l'autre ne sont pas statistiquement significatifs en ce qui concerne l'écart type (un indice de la variabilité interannuelle). Par ailleurs, l'influence de la régularisation anthropique diminue en importance à mesure que l'on s'éloigne vers l'aval à partir de Beauharnois. Il est toutefois difficile de déterminer avec précision la part de ces fluctuations imputable à la régularisation du Saint-Laurent, et celle imputable aux facteurs naturels, étant donné la complexité du réseau hydraulique du secteur de Montréal et l'interaction possible des multiples facteurs impliqués.

Cette situation illustre bien le manque de connaissances en ce qui concerne le rôle des facteurs naturels et des facteurs anthropiques dans le régime hydrologique du Saint-Laurent, en particulier dans le tronçon fluvial. Ce manque de connaissances pourrait dans certains cas être atténué à court ou à moyen terme par l'obtention de données adéquates et la réalisation d'analyses plus poussées. Néanmoins, l'incertitude liée aux fluctuations des niveaux d'eau demeurera importante puisque ces fluctuations sont la résultante d'un grand nombre de processus complexes et interreliés, agissant à des échelles spatiales et temporelles variables. De plus, des phénomènes à long terme et encore mal compris comme les changements climatiques globaux entrent en jeu.

Des changements climatiques persistants et à grande échelle produisent inévitablement des modifications dans le régime des eaux des grands bassins hydrologiques. Tel que mentionné à la section 2.3, l'un des impacts majeurs des changements climatiques appréhendés pour le Québec méridional serait la réduction du débit du Saint-Laurent. Beaucoup d'imprécisions entourent cependant les connaissances relativement aux effets des changements climatiques sur les fluctuations des niveaux d'eau. Cette incertitude ne devrait pas servir de prétexte pour amoindrir l'importance des impacts prévus sur les niveaux d'eau du Saint-Laurent, et par conséquent, sur les usages et les composantes naturelles de celui-ci. En effet, même s'ils sont encore incertains, les impacts anticipés par plusieurs études différentes sont trop importants pour être ignorés. Des actions visant la réduction de la vulnérabilité des usages et des composantes naturelles face à une variabilité climatique accrue devraient donc être élaborées dès maintenant, en vertu du « principe de précaution » (section 2.3.1).

Par ailleurs, les changements climatiques pourraient contribuer à une augmentation de la consommation d'eau du bassin Grands Lacs–Saint-Laurent. En effet, les changements climatiques, la croissance démographique et le développement agricole et industriel, constituent des facteurs pouvant affecter les niveaux d'eau du bassin des Grands Lacs et du Saint-Laurent, en augmentant les besoins en irrigation du Mid-West américain et des municipalités adjacentes

aux Grands Lacs. Bien qu'il s'agisse d'un phénomène prévisible, l'ampleur qu'il prendra demeure actuellement inconnue, d'autant plus que la *Charte des Grands Lacs* ne prévoit pas de législation empêchant l'établissement de canaux de dérivation mineurs⁴⁷. Les effets qui en résulteront sur les niveaux d'eau du Saint-Laurent s'avèrent donc très incertains à l'heure actuelle.

3.2 Lacunes d'information

La section 3.1 a fait état d'un grand nombre d'incertitudes relatives aux niveaux d'eau du Saint-Laurent et du besoin d'améliorer les connaissances sur certains phénomènes qui sous-tendent des problématiques importantes. La présente section met en relief les principales lacunes d'information contribuant à l'incertitude associée aux fluctuations des niveaux d'eau du Saint-Laurent et à leurs effets.

3.2.1 Connaissance des effets des fluctuations des niveaux d'eau sur les usages anthropiques et fauniques et sur les composantes naturelles du Saint-Laurent

Bien qu'il existe des relations connues entre les niveaux d'eau et certains usages (en particulier la protection des propriétés riveraines et la navigation commerciale), les connaissances sont encore trop fragmentaires pour établir des liens directs ou indirects entre la plupart des usages (ou des composantes du milieu) et les niveaux d'eau. Dans le contexte du développement durable, de tels liens seraient pourtant nécessaires.

Les effets des fluctuations des niveaux d'eau sur les usages et les composantes naturelles du Saint-Laurent ont été discutés au chapitre 2. Le portrait dressé aux tableaux 2.2 et 2.11 donne une perspective d'ensemble de ces effets. Cependant, l'information disponible demeure très générale et s'avère insuffisante pour établir des mesures de gestion des niveaux d'eau visant le maintien des différents usages et le maintien des composantes naturelles du Saint-Laurent. Par exemple, les relations entre le biotope et les variations du niveau ou du débit du Saint-Laurent n'ont jamais été quantifiées, ce qui pourrait permettre d'évaluer la sensibilité des habitats et des communautés biologiques. La mise en place d'indicateurs de suivi environnemental et de critères d'interprétation en regard des niveaux d'eau requiert donc des recherches et des travaux additionnels.

Par ailleurs, il existe peu d'études décrivant l'importance du synchronisme entre les fluctuations des niveaux d'eau et les processus biologiques. Or, il apparaît clairement que le

⁴⁷ Seuls les travaux majeurs de dérivation peuvent être limités par la *Charte des Grands Lacs*. Suite aux pressions des municipalités riveraines des Grands Lacs, de multiples canaux de dérivation mineurs pourraient être réalisés et avoir, de façon cumulative, le même impact qu'une dérivation majeure (Farid *et al.*, 1997).

moment où on observe des niveaux d'eau très élevés ou très bas est déterminant pour la réalisation de certaines parties du cycle biologique de plusieurs espèces et le maintien des habitats.

Enfin, différents auteurs ont fait ressortir l'existence de liens économiques directs et indirects entre les niveaux d'eau et les usages ou les composantes naturelles. Dans le cas du transport maritime, par exemple, on peut traduire une baisse des niveaux d'eau en perte de tonnage et donc en termes monétaires. Pour d'autres usages, tels que l'approvisionnement en eau, les activités récréatives ou les usages fauniques, et pour les composantes du milieu (rivages et berges, milieux humides, végétation riveraine, etc.), il est difficile de réaliser un exercice similaire sur la base des connaissances actuelles. D'importantes lacunes existent donc au niveau de la connaissance des aspects socio-économiques rattachés aux usages et aux composantes naturelles du Saint-Laurent.

Toutes ces lacunes d'information retardent l'établissement et la mise en œuvre d'objectifs environnementaux ou d'objectifs de maintien d'usages relativement aux niveaux d'eau sur le Saint-Laurent. En effet, le développement de tels objectifs repose avant tout sur une connaissance suffisante des impacts des fluctuations des niveaux d'eau sur ces usages et composantes naturelles.

3.2.2 Connaissance de l'impact des changements climatiques sur les niveaux d'eau du Saint-Laurent

Les milieux scientifiques s'accordent à dire que le réchauffement de la planète est déjà amorcé et on s'attend à ce qu'il s'accélère si aucune action n'est prise pour réduire les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Malgré l'importance maintenant reconnue de ce phénomène, un nombre restreint d'études ont été réalisées au Québec sur l'impact des changements climatiques sur l'écosystème du Saint-Laurent et ses aspects socio-économiques. Or, selon plusieurs auteurs (CMI, 1993; Farid *et al.*, 1997; Mortsch et Mills, 1996; IJC, 1997), les effets potentiels des changements climatiques sur le bassin du Saint-Laurent doivent être considérés le plus tôt possible et il est souhaitable de s'adapter et de coordonner dès maintenant une réponse face à ceux-ci. Il existe toutefois un manque de connaissance quant aux actions adéquates devant être entreprises pour s'adapter de façon efficace à un changement climatique. De plus, on observe un manque évident de modèles pour évaluer les répercussions précises des changements climatiques sur le Saint-Laurent (Environnement Canada, 1996a). Par exemple, les effets de la variabilité actuelle du climat sur les cycles hydrologiques sont mal connus. Il serait donc souhaitable d'élaborer de nouveaux modèles pour étudier ces phénomènes. Récemment, l'*Étude pancanadienne sur les impacts et l'adaptation à*

la variabilité et au changement du climat (chapitre du Québec) a fait le point sur les connaissances dans ce domaine. Elle identifie de nombreuses lacunes et propose plusieurs recommandations (Bergeron *et al.*, 1997).

3.3 Préoccupations de gestion

3.3.1 Objectifs de maintien d'usage et objectifs environnementaux

Dans une perspective de développement durable, il est souhaitable de fixer des objectifs environnementaux⁴⁸ et des objectifs de maintien d'usage pour assurer la pérennité des ressources et des usages liés au Saint-Laurent. En ce qui concerne les niveaux d'eau, des balises pouvant être considérées comme des objectifs de maintien d'usages existent actuellement pour la navigation commerciale (hauteur d'eau garantie de 11 m dans le chenal de navigation) et la protection des propriétés riveraines (éviter toute construction dans la zone avec période de récurrence des inondations de 20 ans ou moins).

Pour les autres usages (production d'énergie hydroélectrique, approvisionnement en eau, navigation de plaisance, autres activités récréatives et usages fauniques), de même que pour l'ensemble des composantes naturelles, il n'existe pas d'objectifs reconnus pouvant s'appliquer à l'ensemble du Saint-Laurent. On note toutefois certains efforts régionaux dans ce domaine. Sur la rivière des Mille Îles, par exemple, la gestion du barrage Grand Moulin est effectuée selon un objectif global regroupant l'ensemble des usages et composantes naturelles. Le débit de la rivière est limité à 700 m³/s, seuil au-delà duquel on évalue que la majorité des dommages surviennent (Comité de mise en œuvre de la Convention Canada-Québec pour la rivière des Mille Îles, 1987). Par ailleurs, plusieurs objectifs ont été proposés au début des années 1980 pour la gestion des niveaux d'eau dans la région de Montréal, notamment en ce qui concerne la végétation des milieux humides, les poissons, la sauvagine, le Grand Héron, le Rat musqué, la qualité de l'eau, la baignade et la navigation de plaisance au lac Saint-Louis, au lac des Deux Montagnes, dans la rivière des Mille Îles et dans la rivière des Prairies (Secrétariat Archipel, 1986). Bien qu'ils reposent parfois sur des données incomplètes et qu'ils puissent être imparfaits et difficilement applicables à d'autres régions, ces objectifs pour la gestion des niveaux d'eau et des débits constituent une assise sur laquelle les efforts actuels et futurs pourraient s'appuyer.

⁴⁸ Un objectif environnemental est une balise, un seuil ou une cible à atteindre se rapportant soit à une activité humaine, à une pression générée par des activités humaines ou à une composante de l'écosystème affectée par les pressions. Ces objectifs visent ainsi à maintenir les activités humaines à des niveaux sans effets graves ou irréversibles sur les écosystèmes, à réduire ou limiter les pressions à un niveau acceptable pour les écosystèmes et les usages associés, ou encore à protéger, récupérer ou restaurer les écosystèmes.

L'établissement de tels objectifs s'avère cependant difficile car on connaît encore mal les liens entre les niveaux d'eau et la plupart des usages. Ainsi, les objectifs proposés pour la région de Montréal au début des années 1980 s'appuyaient sur les connaissances disponibles quant aux niveaux requis pour le maintien des différents usages et composantes naturelles, qui étaient alors fragmentaires et qui le demeurent. De plus, les niveaux optimaux peuvent varier dans certains cas selon la saison ou d'un endroit à l'autre du Saint-Laurent. Enfin, un niveau d'eau donné peut être avantageux pour un aspect d'un usage mais désavantageux pour un autre aspect du même usage. C'est le cas notamment pour les usages fauniques où des hauts niveaux d'eau peuvent favoriser la montaison des poissons mais nuire au maintien des habitats de la sauvagine et de plusieurs reptiles. Ainsi, l'identification des niveaux optimaux pour la faune ou le maintien des habitats pourrait être une action souhaitable, mais difficile à réaliser car les besoins de la faune et de la flore (en regard des niveaux d'eau et de leurs fluctuations) varient d'une espèce à l'autre.

Une première étape dans l'établissement de ces objectifs pourrait être la recherche d'un consensus parmi les intervenants concernés par le Saint-Laurent, quant aux niveaux d'eau à privilégier pour faciliter le maintien des différents usages et des composantes naturelles, dans une perspective de développement durable. En effet, comme plusieurs usages et composantes naturelles ont des besoins opposés, des choix de société seront nécessaires lors de l'établissement d'objectifs environnementaux ou d'objectifs de maintien d'usage. Par ailleurs, il faudra vraisemblablement adopter une approche préventive afin d'assurer le maintien des usages et des composantes environnementales, surtout dans le contexte des changements climatiques globaux. À long terme, des ententes, des lois ou des règlements pourraient être requis pour renforcer ces objectifs.

3.3.2 Pistes d'action

L'enjeu des fluctuations des niveaux d'eau du Saint-Laurent est une problématique constituée de plusieurs composantes interreliées. Son analyse mène à certains constats, en regard des différentes composantes de *Pression*, d'*État* et de *Réponse* associées à l'enjeu et présentées dans ce document. Cette section dégage les principales conclusions relatives aux divers aspects de la problématique des niveaux d'eau du Saint-Laurent. Puisque l'objectif visé est de guider la prise de décision en identifiant des pistes d'action, certaines actions concrètes peuvent être envisagées dès maintenant à la lumière des conclusions présentées au tableau 3.1. Ces informations sont regroupées en cinq grandes catégories qui, sans être exhaustives, correspondent aux principaux champs d'intervention à considérer pour mieux gérer la problématique des niveaux d'eau du Saint-Laurent et améliorer la situation actuelle.

TABLEAU 3.1

Conclusions et pistes d'action relatives aux principaux champs d'intervention

Gestion et régularisation des niveaux d'eau

- La Commission mixte internationale (CMI) a mené, de 1986 à 1993, une vaste étude visant à examiner les moyens de remédier aux effets néfastes des fluctuations des niveaux d'eau. Les principales recommandations du rapport privilégient le contrôle des aménagements riverains plutôt que la mise en place de nouvelles structures de régularisation. Les coûts et les impacts environnementaux inhérents aux travaux d'envergure que nécessitent les ouvrages de régularisation sont parmi les principaux facteurs à la base de ces recommandations.
- La gestion des niveaux d'eau doit prendre en considération les intérêts souvent divergents d'un nombre croissant d'intervenants sociaux, économiques et environnementaux, ce qui occasionne de nombreux conflits d'usage. Le Centre Saint-Laurent d'Environnement Canada et le ministère de l'Environnement et de la Faune ont tous deux déposé, en 1995, des mémoires à la CMI visant l'ajout des considérations relatives au maintien des usages fauniques et des composantes naturelles dans les stratégies de régularisation du niveau d'eau dans le bassin Grands Lacs-Saint-Laurent. Ces revendications pourraient impliquer l'identification des niveaux optimaux pour la faune et le maintien des habitats à considérer dans la gestion de l'eau de la section internationale du fleuve. Elles pourraient également s'adresser à la Commission de régularisation de la rivière des Outaouais.
- La révision des modes de gestion imposés par le plan de régularisation actuel est revendiquée par de nombreux intervenants. On demande entre autres d'y inclure davantage de considérations environnementales. De plus, le plan actuel est basé sur les niveaux d'eau historiques qui ne reflètent vraisemblablement plus la réalité actuelle et à venir, en raison des changements climatiques déjà amorcés.
- Il n'existe pas de politiques gouvernementales concernant spécifiquement la gestion des niveaux d'eau. La gestion actuelle relève d'un traité Canada-États-Unis qui couvre de façon très générale les besoins globaux de plusieurs états américains et provinces canadiennes. Pour améliorer cette situation, une approche plus intégrée pour la gestion de l'eau est demandée par de nombreux intervenants. La politique réclamée devrait, entre autres, inclure des mesures de protection des rives, du littoral et des plaines inondables, et favoriser le consensus et la conciliation plutôt que l'affrontement des différents intervenants ayant des intérêts divergents.

Adaptation face aux fluctuations des niveaux d'eau

- Les niveaux d'eau ne peuvent être complètement contrôlés et dépendent en bonne partie des facteurs climatiques. Les inondations récentes au Québec montrent que les phénomènes naturels entraînent parfois des fluctuations hydrologiques extrêmes qu'aucune infrastructure existante ne peut absorber. Dans le contexte des changements climatiques globaux, une augmentation de la variabilité climatique est un phénomène tout à fait possible et pourrait contribuer à augmenter la fréquence des inondations. Le seul moyen d'éviter leurs effets ou de les atténuer consiste à ne pas s'installer en plaine inondable. Cependant, cette stratégie d'adaptation devrait être accompagnée d'une analyse poussée des inondations extrêmes survenues le long du Saint-Laurent depuis une trentaine d'années.

Adaptation face aux fluctuations des niveaux d'eau (suite)

- Il existe actuellement un programme gouvernemental fédéral-provincial qui vise à inciter la population à ne pas s'installer en plaine inondable (programme de réduction des dommages causés par les inondations - PRDCI). Compte tenu de l'augmentation de la fréquence des inondations au Québec et au Canada ces dernières années, de nouvelles mesures plus restrictives que celles identifiées dans le PRDCI pourraient être envisagées afin de limiter les dégâts, notamment par le biais d'éventuelles réglementations au niveau du zonage et de l'aménagement du territoire.

Éducation de la population et communication de l'information scientifique

- L'établissement de toute mesure de gestion des niveaux d'eau est voué à l'échec si elle n'est pas comprise et acceptée du public et des différents intervenants. Les audiences publiques tenues par la CMI, et plus récemment, de nombreux mémoires présentés à la Commission Nicolet sur les inondations du Saguenay démontrent qu'il existe des lacunes importantes en ce qui concerne la qualité de l'information circulant au sein de la population et de plusieurs groupes d'intérêts (riverains, écologistes, navigateurs, décideurs), en particulier en ce qui concerne : a) la régularisation des eaux, les contraintes opérationnelles et les limites des ouvrages de gestion de l'eau; b) l'importance des facteurs climatiques (précipitation, embâcles, vent, etc.) dans les fluctuations à court terme, saisonnières ou interannuelles des niveaux d'eau; et c) la reconnaissance des risques réels d'inondation des propriétés situées dans la zone inondable.
- La population a développé le réflexe de faire confiance à la technologie pour régler les problèmes d'ordre technique. La reconnaissance par le public du danger des inondations et du concept de zone inondable demeure faible malgré les efforts du programme PRDCI. En effet, on observe au sein de la population plusieurs perceptions non conformes à la réalité en ce qui concerne les risques reliés aux inondations. Les efforts de sensibilisation dans ce domaine pourraient être poursuivis.
- Une meilleure communication de l'information scientifique permettrait d'éliminer un grand nombre d'attentes irréalistes de la part des différents groupes d'intérêt face à la façon dont les barrages devraient être gérés, notamment en ce qui concerne la portion internationale du Saint-Laurent.

Surveillance et suivi

- Plusieurs usages anthropiques sont dépendants des fluctuations des niveaux d'eau du Saint-Laurent. L'amélioration des prévisions à court, moyen et long terme des niveaux d'eau constitue donc une mesure qui faciliterait la planification d'un grand nombre d'usages et améliorerait la sécurité du public. Par exemple, la connaissance précise des niveaux d'eau et des débits par un suivi efficace permettrait une meilleure utilisation et une augmentation de la charge des transporteurs maritimes tout en diminuant les risques d'accident. La transmission rapide des données à partir des réseaux de stations de jaugeage et d'hydrométéorologie s'est améliorée avec la création du Système d'information sur les niveaux d'eau côtière et océanique, mais des mécanismes devraient être mis sur pied pour faciliter l'utilisation plus efficace des informations obtenues par ce système.

Surveillance et suivi (suite)

- Il n'existe aucun suivi des composantes naturelles du Saint-Laurent en regard des fluctuations des niveaux d'eau. Un tel suivi permettrait d'améliorer les connaissances sur les effets à moyen et à long terme des fluctuations des niveaux d'eau. Étant donné l'importance des milieux humides en tant qu'habitat faunique et leur sensibilité aux fluctuations des niveaux d'eau, l'inventaire de ces milieux déjà amorcé en plusieurs endroits aurait intérêt à être effectué systématiquement dans tous les secteurs du Saint-Laurent. En ce qui concerne les ressources fauniques, il existe aussi un besoin de suivre l'évolution de certains descripteurs. Par exemple, le suivi de la force des cohortes de certaines espèces constitue un moyen à considérer pour acquérir de nouvelles informations pertinentes sur l'état des populations susceptibles d'être affectées par les fluctuations des niveaux d'eau.
- Les habitats fauniques et les propriétés riveraines sont très sensibles au phénomène de l'érosion. L'érosion des plages est aussi un phénomène de plus en plus préoccupant, notamment dans le golfe du Saint-Laurent, à cause de la montée du niveau des océans. Un réseau de surveillance à long terme de l'érosion des rives et du recul des falaises le long du Saint-Laurent est donc souhaitable.

Acquisition de connaissances

- Les connaissances relatives aux effets des fluctuations des niveaux d'eau sont encore insuffisantes pour établir des mesures de gestion des niveaux d'eau (ou des objectifs environnementaux) visant le maintien des différents usages et composantes naturelles du Saint-Laurent. Entre autres, les relations entre le biotope et les variations du niveau ou du débit du Saint-Laurent ne sont pas quantifiées, ce qui constitue une étape importante pour l'évaluation de la sensibilité des habitats et des communautés biologiques. Des connaissances accrues sur l'importance du synchronisme des phénomènes pour la faune, ainsi que sur les liens entre les niveaux d'eau, les ressources fauniques et la plupart des usages anthropiques sont aussi requises. À cet effet, l'intégration des résultats des meilleurs modèles disponibles dans chaque secteur de recherche reste à faire.
 - Les liens entre les cycles climatiques et hydrologiques sont mal connus. Une analyse statistique multivariée de l'ensemble des données hydrologiques et climatiques disponibles sur le bassin Grands Lacs–Saint-Laurent permettrait de mieux comprendre ces liens.
 - Étant donné l'importance des facteurs climatiques sur les fluctuations des niveaux d'eau du Saint-Laurent et l'évidence des changements climatiques globaux, des études supplémentaires s'imposent. Il existe un manque de connaissances au niveau des actions adéquates devant être entreprises pour s'adapter de façon efficace à un changement climatique. On observe aussi un manque évident de modèles pour évaluer les répercussions précises des changements climatiques sur le Saint-Laurent. À cet égard, la CMI recommande la poursuite des travaux pour développer une estimation des impacts possibles du changement climatique sur le bassin Grands Lacs–Saint-Laurent. Dans ce contexte, des zones plus vulnérables aux changements climatiques pourraient être identifiées.
-

Références

- ADRIAANSE, A. 1993. *Environmental Policy Performance Indicators : A Study on the Development of Indicators for Environmental Policy in the Netherlands*. Ministry of Housing, Physical Planning, and Environment, the Netherlands.
- ANDREWS, J. 1993. *Inondation*. Cahier de l'eau du Canada. Environnement Canada.
- ARGUS INC., LES CONSULTANTS EN ENVIRONNEMENT. 1996. *Restauration naturelle des rives du Saint-Laurent entre Cornwall et l'île d'Orléans*. Rapport présenté au Service canadien de la faune, Environnement Canada, au ministère des Transports du Québec, à Canards Illimités Canada et à la Société d'énergie de la Baie James.
- ARMELLIN, A., P. MOUSSEAU et P. TURGEON. 1994a. *Synthèse des connaissances sur les communautés biologiques du lac Saint-François. Rapport technique. Zones d'intervention prioritaire 1 et 2*. Environnement Canada – Région du Québec, Conservation et Protection, Centre Saint-Laurent, Montréal.
- ARMELLIN, A., P. MOUSSEAU, M. GILBERT et P. TURGEON. 1994b. *Synthèse des connaissances sur les communautés biologiques du lac Saint-Louis. Rapport technique. Zones d'intervention prioritaire 5 et 6*. Environnement Canada – Région du Québec, Conservation et Protection, Centre Saint-Laurent, Montréal.
- ASTON, A.R. 1984. « The effect of doubling atmospheric CO₂ on streamflore: A simulation ». *Journal of Hydrology*, 67 : 273-283.
- AUCLAIR, M.-J. 1995a. *Bilan régional. Secteur d'étude Montréal-Longueuil (ZIP 9)*. Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent, Montréal.
- AUCLAIR, M.-J. 1995b. *Bilan régional. Lac Saint-Louis (ZIP 5 et 6)*. Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent, Montréal.
- AUCLAIR, M.-J., D. GINGRAS, J. HARRIS et A. JOURDAIN. 1991. *Synthèse et analyse des connaissances sur les aspects socio-économiques du lac Saint-Pierre. Rapport technique. Zone d'intérêt prioritaire 11*. Environnement Canada, Conservation et Protection – Région du Québec, Centre Saint-Laurent, Montréal.
- BARBEAU, C., J.-B. SÉRODES et J.-E. COUTU. 1993. « Water at the outlet of the St. Lawrence River, Part II – Suspended matter and solid loadings from 1989-1991 ». *Water Poll. Res. J. Canada*, 28 : 433-450.
- BÉGIN, Y., S. ARSENEAULT et J. LAVOIE. 1989. « Dynamique d'une bordure forestière par suite de la hausse récente du niveau marin, rive sud-ouest du golfe du Saint-Laurent, Nouveau-Brunswick ». *Géographie physique et Quaternaire*, 43 : 355-366.
- BÉGIN, Y. 1990. « The effects of shoreline transgression on woody plants, upper St. Lawrence Estuary, Québec ». *Journal of Coastal Research*, 6 : 815-827.
- BÉLAND, P. 1996. « Un regard critique sur l'état du Saint-Laurent vu sous l'angle de la conservation ». Présentation au 21^e Congrès de l'Association des biologistes du Québec, 31 octobre-2 novembre, 1996, Québec.
- BERGERON, L. 1995. *Les niveaux extrêmes d'eau dans le Saint-Laurent : Ses conséquences économiques et l'influence des facteurs climatiques*. Pour Environnement Canada, Direction de l'environnement atmosphérique.

- BERGERON, L., G. VIGEANT et J. LACROIX. 1997. *Tome V. Chapitre québécois de l'Étude pancanadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement du climat*. Environnement Canada et Association de Climatologie du Québec.
- BERNIER, L. 1998. Communication personnelle. Environnement Canada, Sainte-Foy.
- BERNIER, L., P. LACHANCE, L. QUILLIAM et D. GINGRAS. 1998. *Rapport sur l'état du Saint-Laurent – La contribution des activités urbaines à la détérioration du Saint-Laurent*. Équipe conjointe bilan, composée de représentants d'Environnement Canada, de Pêches et Océans Canada et du ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, Sainte-Foy. Rapport technique.
- BERTRAND, P. 1996. « Problématique de l'érosion des berges du Saint-Laurent ». Présentation au 21^e Congrès de l'Association des biologistes du Québec, 31 octobre-2 novembre, 1996, Québec.
- BERTRAND, P. 1994. *Les conséquences potentielles du changement climatique global sur le Saint-Laurent*. Pour Environnement Canada – Région du Québec, Service de l'environnement atmosphérique.
- BOURGET, A., D. LEHOUX et D. ROSA. 1977. *Importance du Saint-Laurent pour la sauvagine*. Service canadien de la faune. Rapport technique n° 2.
- BRUCE, J.P. 1993. « Discours d'ouverture à l'atelier sur l'adaptation aux répercussions du changement et de la variabilité climatique ». *Projet du bassin des Grands Lacs–Saint-Laurent*. Québec, 9-11 fév. 1993.
- BURTON, J. 1991. *Le lac Saint-Pierre. Document d'intégration*. Environnement Canada, Protection et Conservation – Région du Québec, Centre Saint-Laurent, Montréal.
- BURTON, J. 1997. « Le Saint-Laurent et les grands fleuves du monde ». dans L. Lauzon, H. Dion et C.-E. Delisle (éd.), *Le Saint-Laurent pour la Vie : Actes du 21^e Congrès de l'Association des biologistes du Québec*, Collection « Environnement » de l'Université de Montréal, Volume 23, pp. 15-37.
- BUSCH, W.D.N. et L.M. LEWIS. 1984. « Response of wetland vegetation to water level variation in Lake Ontario », *Proceedings of the Third Conference on Lake and Reservoir Management*. US Environmental Protection Agency, Washington DC, pp. 519-524.
- CAMERON, J. et J. ABOUCHAR. 1991. « The precautionary principle: A fundamental principle of law and policy for the protection of the global environment ». *Boston College International and Comparative Law Review*, 14 (1) : 1-27.
- CANTIN, J.-F. 1998. Communication personnelle. Environnement Canada – Région du Québec, Direction de l'environnement atmosphérique, Division du Monitoring et des Technologies, Sainte-Foy.
- CARIGNAN, R., S. LORRAIN et K. LUM. 1993. « Sediment dynamics in the fluvial lakes of the St. Lawrence River: Accumulation rates and residence time of mobile sediments ». *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 37.
- CARPENTIER, A. 1998. Communication personnelle. Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, Direction de l'hydraulique, Québec.
- CARPENTIER, A. et J.-Y. PELLETIER. 1981. « Le robinet principal du Saint-Laurent ». *L'ingénieur*, juillet-août 1981 : 19-25.
- CCME – CONSEIL CANADIEN DES MINISTRES DE L'ENVIRONNEMENT. 1996. *Lignes directrices en matière de rapports sur l'état de l'environnement à l'intention des gouvernements membres du CCME*. Dovetail Consulting and Salasan Associates Inc., pour le Groupe de travail des rapports sur l'état de l'environnement du CCME.
- CENTREAU. 1974. *Étude du fleuve Saint-Laurent. Tronçon Varennes-Montmagny. Hydrologie du bassin*. Université Laval, Centre de recherches sur l'eau, Québec. Rapport général.

- CHAMBERLAND, A. 1992. « Production de gaz à effet de serre résultant de l'aménagement de grands réservoirs au nord-ouest du Québec ». Présenté au 9^e Congrès mondial sur l'air pur, Montréal, septembre. 1992.
- CHANGNON, S.A. 1994. *The Lake Michigan Diversion at Chicago and Urban Drought: Past, Present and Future Regional Impacts and Responses to Global Climate Change*. NOAA contract No. 50WCNR306047. Ann Arbor, Michigan.
- CHANUT, J.P., D. D'ASTOUS et M.I. EL-SABH. 1988. « Modelling the natural and anthropogenic variations of the St. Lawrence water level », dans M.I. El-Sabh et T.S. Murty (éd.), *Natural and Man-made Hazards*, pp. 337-394, Dordrecht: Reidel.
- CICFSL – CONSEIL INTERNATIONAL DE CONTRÔLE DU FLEUVE SAINT-LAURENT. 1997a. *Mise à jour du plan de régularisation du lac Ontario et du fleuve Saint-Laurent. 2 juin 1997*. Site internet : <http://www.islrbc.org/speci2f.htm>
- CICFSL – CONSEIL INTERNATIONAL DE CONTRÔLE DU FLEUVE SAINT-LAURENT. 1997b. Séance publique du Conseil international de contrôle du fleuve Saint-Laurent, juillet 1997, Royal Brock Hotel, Brockville Ontario.
- CMI – COMMISSION MIXTE INTERNATIONALE. 1993. *Étude de renvoi sur les niveaux du bassin du Saint-Laurent et des Grands Lacs*. Conseil d'étude. Projet de rapport final.
- CMI – COMMISSION MIXTE INTERNATIONALE. 1989. *Les Grands Lacs et leurs utilisateurs : Enjeux et perspectives*. Rapport provisoire, Commission mixte internationale.
- COHEN, S.J. 1997. *Mackenzie Basin Impact Study (MBIS) - Final Report*. Environnement Canada.
- COHEN, S.J. 1990. « Répercussion du réchauffement prévu du globe au Québec ». *Le Climat*, vol. 8, numéro spécial. Perspectives climatiques en agriculture, énergie et foresterie. Actes du colloque et des ateliers de travail, ACFAS-ACLIQ, Université Laval, Québec, mai 1990, pp. 6-12.
- COHN, B.P. et J.E. ROBINSON. 1975. « Cyclic fluctuations of water levels in Lake Ontario ». *Comput. Geosci.*, 1 (1) : 105-108.
- COMITÉ DE MISE EN ŒUVRE DE LA CONVENTION CANADA-QUÉBEC POUR LA RIVIÈRE DES MILLE ÎLES. 1987. *Rapport des activités du Comité pour l'exercice financier 1986-1987*.
- COMITÉ SUR LA RÉGULARISATION DES EAUX. 1976. *Rapport final du Comité de régularisation des eaux. Région de Montréal*. Ministère des Richesses naturelles et Environnement Canada.
- COMMISSION NICOLET. 1997. *Rapport de la Commission scientifique et technique sur la gestion des barrages*. Gouvernement du Québec. Janvier 1997.
- Convention entre le gouvernement du Canada et le gouvernement du Québec relativement à la cartographie et à la protection des plaines d'inondation et au développement durable des ressources en eau*. 1994.
- CÔTÉ, L. 1989. « Effets des hauts niveaux du haut estuaire du Saint-Laurent sur une bordure forestière, Saint-Augustin, Québec ». Université Laval, Québec. Mémoire de baccalauréat.
- COTTON, F. 1995. *Les changements climatiques et la ressource faunique du fleuve Saint-Laurent*. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction de la faune et des habitats, Service de la faune aquatique.
- COUILLARD, L., P. GRONDIN et J. MILLET. 1985. *Étude complémentaire de la végétation du lac Saint-Louis et du lac des Deux Montagnes, Archipel de Montréal: groupes écologiques de la plaine de débordement et de la zone aquatique, patrons d'inondations clés de végétation potentielle et plans de gestion*. Groupe Dryade Inc., pour le ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, vol. 1-5.

- CPRRO – COMMISSION DE PLANIFICATION DE LA RÉGULARISATION DE LA RIVIÈRE DES OUTAOUAIS. 1984. *Gestion des eaux de la rivière des Outaouais*. Commission de planification de la régularisation de la rivière des Outaouais.
- CROLEY, T.E. 1990. « Laurentian Great Lakes double-CO₂ climate change hydrological impacts ». *Climatic Change*, 17 : 27-47.
- CSL – CENTRE SAINT-LAURENT. 1996a. *Rapport-synthèse sur l'état du Saint-Laurent. Volume 1. L'écosystème du Saint-Laurent*. Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement – et Éditions MultiMondes, Montréal, Coll. « BILAN Saint-Laurent ».
- CSL – CENTRE SAINT-LAURENT. 1996b. *Rapport-synthèse sur l'état du Saint-Laurent. Volume 2. L'état du Saint-Laurent*. Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement – et Éditions MultiMondes, Montréal, Coll. « BILAN Saint-Laurent ».
- CSL – CENTRE SAINT-LAURENT. 1995. *Le Saint-Laurent : un fleuve en mouvement*. Feuillet d'information. ISBN, 0-662-99688-7. Québec-Science et Centre Saint-Laurent.
- CSL – CENTRE SAINT-LAURENT et UNIVERSITÉ LAVAL. 1992. *Une mosaïque d'habitats - Les écosystèmes des eaux douces et saumâtres*. Atlas environnemental du Saint-Laurent. Environnement Canada, Conservation et Protection, Région du Québec, Centre Saint-Laurent, Montréal, Coll. « BILAN Saint-Laurent ».
- CSL et UNIVERSITÉ LAVAL – CENTRE SAINT-LAURENT et UNIVERSITÉ LAVAL. 1991. *Un fleuve, des estuaires, un golfe: les grandes divisions hydrographiques du Saint-Laurent*. Atlas environnemental du Saint-Laurent. Environnement Canada, Conservation et Protection, Région du Québec. Centre Saint-Laurent, Montréal. Coll. « BILAN Saint-Laurent ».
- DE REPENTIGNY, L.-G. 1996. Fichier insulaire du Saint-Laurent (FISL). Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Service canadien de la faune.
- DESROSIERS, M. et Y. BÉGIN. 1992. « Étude dendrochronologique de l'érosion associée aux crues du Saint-Laurent, Saint-Antoine-de-Tilly, Québec ». *Géographie physique et Quaternaire*, 46 (2) :173-180.
- DIONNE, J.-C. 1986. « Érosion récente des marais intertidaux de l'estuaire du Saint-Laurent, Québec ». *Géographie physique et Quaternaire*, 40 (1) : 307-323.
- DPE – DIRECTION DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT. 1996. *Répertoire socio-écologique*. Environnement Canada, Région du Québec, Protection de l'environnement, Montréal.
- DRAPEAU, J.-P. 1988. « L'état des milieux humides au Québec ». *Franc-Nord. Supplément au Volume 5, n° 1, Hiver 1988*.
- DRYADE (LE GROUPE). 1981. *Habitats propices aux oiseaux migrateurs le long des rives de la rivière Richelieu, de la rivière Outaouais, du fleuve Saint-Laurent, de l'estuaire du Saint-Laurent, de l'estuaire du Saint-Laurent, de la côte nord du golfe du Saint-Laurent, de la péninsule gaspésienne et des îles de la Madeleine, Québec*. Pour Environnement Canada, Service canadien de la faune.
- DUCHARME, J.-L., G. GERMAIN et J. TALBOT. 1992. *Bilan de la faune 1992*. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Direction générale de la ressource faunique, Québec.
- EBERHARDT, A.J. 1997. *Recent Evaluations of Lake Ontario Regulation and Future Plans*. Rapport remis à la Commission mixte internationale.
- ÉCONOSULT. 1986. *Détermination des avantages économiques d'une réduction des inondations. Étude de faisabilité*. Rapport technique.

- EL JABI, N. et R.D. ROUSSELL. 1981. *Estimation des dommages causés par les inondations. Rapport final, janvier 1981*. École Polytechnique de Montréal, Centre de développement technologique.
- EL-SABH, M.I. et T.S. MURTY. 1993. « Sea level variations in Eastern Canadian Waterbodies ». *Marine Geodesy*, 16 : 57-71.
- ENVIRONMENT AGENCY OF ENGLAND AND WALES. 1996. *The Environment of England and Wales*. Environment Agency, England and Wales, Bristol.
- ENVIRONNEMENT CANADA. 1997. *Pluies diluviennes du 18 au 21 juillet 1996 au Québec : Analyse et interprétation des données météorologiques et climatologiques*. Région du Québec, Direction de l'environnement atmosphérique, Ville Saint-Laurent.
- ENVIRONNEMENT CANADA. 1996a. « Régulation des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent ». Site internet : <http://www.wul.qc.doe.ca/biospher/art/art0f.html>
- ENVIRONNEMENT CANADA. 1996b. *L'approche écosystémique. Au-delà de la rhétorique*. Initiative conjointe de Conservation des écosystèmes et Centre Saint-Laurent.
- ENVIRONNEMENT CANADA. 1995. *Info-Niveau. Revue mensuelle sur les niveaux d'eau*. Direction générale des eaux intérieures.
- ENVIRONNEMENT CANADA. 1994a. *Cartes climatologiques du Saint-Laurent (fleuve et golfe) pour les mois de janvier à décembre*. Service de l'environnement atmosphérique, Services scientifiques, Ville Saint-Laurent.
- ENVIRONNEMENT CANADA. 1994b. *Mise en œuvre de la Politique des terres humides : Guide à l'intention des gestionnaires des terres fédérales*. Direction de la conservation, Service canadien de la faune.
- ENVIRONNEMENT CANADA. 1993. Données non publiées. Direction de l'environnement atmosphérique, Services scientifiques, Ville Saint-Laurent.
- ENVIRONNEMENT CANADA. 1992. *Vulnérabilité de l'eau au changement climatique*. Ottawa.
- ENVIRONNEMENT CANADA. 1990a. « Comptes rendus de l'atelier sur les changements climatiques et les ressources hydriques », *Étude n° 9*. Série des ateliers techniques. Direction générale des eaux intérieures. Ottawa, Canada.
- ENVIRONNEMENT CANADA. 1990b. *Les Climats du Canada*. ISBN 0-660-92845.
- ENVIRONNEMENT CANADA. 1987. *Les pluies du 14 juillet 1987 dans la région de Montréal*. Direction de l'environnement atmosphérique, Services scientifiques, Région du Québec, Dorval. Rapport technique.
- ENVIRONNEMENT ILLIMITÉ. 1987. *Révision du mode d'exploitation des ouvrages compensateurs du fleuve Saint-Laurent de Coteau à Pointe-des-Cascades*. Pour Hydro-Québec, Direction Environnement.
- FARID, C., J. JACKSON et K. CLARK. 1997. *The Fate of the Great Lakes. Sustaining or Draining the Sweetwater Seas ?* Canadian Environmental Law Association and Great Lakes United.
- FORRESTER, W.D. 1983. *Manuel canadien des marées*. Pêches et Océans Canada, Service hydrographique du Canada, Ottawa.
- FORTIN, G.R. et M. PELLETIER. 1995. *Synthèse des connaissances sur les aspects physiques et chimiques de l'eau et des sédiments du Saguenay. Rapport technique. Zones d'intervention prioritaire 22 et 23*. Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent, Montréal.

- FORTIN, G., D. LECLAIR et A. SYLVESTRE. 1994. *Synthèse des connaissances sur les aspects physiques et chimiques de l'eau et des sédiments du lac Saint-Louis. Rapport technique. Zones d'intervention prioritaire 5 et 6.* Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent.
- FORTIN, R., M. LÉVEILLÉ, P. LARAMÉE et Y. MAILHOT. 1990. « Reproduction and year-class strength of the Atlantic tomcod in the Sainte-Anne River, at La Pérade, Québec ». *Journal canadien de Zoologie*, 68 : 1350-1359.
- FORTIN, R., P. DUMONT, H. FOURNIER, C. CADIEUX et D. VILLENEUVE. 1982. « Reproduction et force des classes d'âge du Grand Brochet (*Esox lucius* L.) dans le Haut Richelieu et la baie Missisquoi ». *Journal canadien de Zoologie*, 60 (2) : 227-240.
- FREEDMAN B., C. STAICER et N. SHACKELL. 1993. *Recommandations relatives à un programme national de surveillance écologique.* Université Dalhousie, Département de biologie et School for Resource and Environmental Studies, Halifax, Nouvelle-Écosse.
- FRENETTE, M., C. BARBEAU et J.-L. VERRETTE. 1989. *Aspects quantitatifs, dynamiques et qualitatifs des sédiments du Saint-Laurent.* Hydrotech Inc., pour Environnement Canada et le Gouvernement du Québec.
- GALLOWAY, G.W. 1997. « Sustainable water resources development in the 21st Century : Lessons from the floods of the 90's (Abstract) ». Communication présentée au *Symposium de l'Association canadienne des ressources hydriques : Managing Water for Sustainability. Niagara Falls, Novembre 1997.*
- GCC – GARDE CÔTIÈRE CANADIENNE. 1997. Données non publiées sur le trafic maritime.
- GHANIMÉ, L., J.-L. DESGRANGES, S. LORANGER et COLLABORATEURS. 1990. *Les régions biogéographiques du Saint-Laurent.* Lavalin Environnement Inc., pour Environnement Canada et Pêches et Océans Canada, Région du Québec. Rapport technique.
- GINGRAS, D., A. ARMELLIN, M.-J. AUCLAIR, G. FORTIN, M. FOURNIER, A. JOURDAIN, C. LOISELLE, P. MILLET, L. QUILLIAM et Y. ST-JACQUES. 1997a. « Le bassin Grands Lacs–Saint-Laurent – Un bref aperçu climatique ». *Le fleuve... en bref.* Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent. Capsule-éclair 100.
- GINGRAS, D., A. ARMELLIN, M.-J. AUCLAIR, G. FORTIN, M. FOURNIER, A. JOURDAIN, C. LOISELLE, P. MILLET, L. QUILLIAM et Y. ST-JACQUES. 1997b. « Le Saint-Laurent – Caractérisation des frayères de Cornwall à Montmagny ». *Le fleuve... en bref.* Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent. Capsule-éclair 22.
- GINGRAS, D., A. ARMELLIN, M.-J. AUCLAIR, G. FORTIN, M. FOURNIER, A. JOURDAIN, C. LOISELLE, P. MILLET, L. QUILLIAM et Y. ST-JACQUES. 1997c. « Le Saint-Laurent – Municipalités riveraines et zones inondables ». *Le fleuve... en bref.* Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent. Capsule-éclair 26.
- GINGRAS, D., A. ARMELLIN, M.-J. AUCLAIR, G. FORTIN, M. FOURNIER, A. JOURDAIN, C. LOISELLE, P. MILLET, L. QUILLIAM et Y. ST-JACQUES. 1997d. « Le Saint-Laurent – État des rives de Dundee à l'île d'Orléans (1994) ». *Le fleuve... en bref.* Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent. Capsule-éclair 94.
- GINGRAS, D., A. ARMELLIN, M.-J. AUCLAIR, G. FORTIN, M. FOURNIER, A. JOURDAIN, C. LOISELLE, P. MILLET, L. QUILLIAM et Y. ST-JACQUES. 1997e. « Le Saint-Laurent – La régularisation des eaux de la région de Montréal ». *Le fleuve... en bref.* Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent. Capsule-éclair 92.

- GODIN, G. 1979. « La marée dans le golfe et l'estuaire du Saint-Laurent ». *Naturaliste canadien*, 106 (1) :105-121
- GOVERNMENT OF AUSTRALIA. 1994. *State of the Environment Reporting : Framework for Australia*. Departement of the Environment, Sport and Territories, Australie.
- GOUVERNEMENT DU CANADA. 1995. *Le Programme d'action national concernant les changements climatiques du Canada*.
- GOUVERNEMENT DU CANADA. 1991. *L'État de l'environnement au Canada*. Groupe Communication Canada, Ottawa.
- GOUVERNEMENT DU QUÉBEC. 1989. *Le défi du Saint-Laurent – Projet de mise en valeur. Plan d'action. Rapport technique (volume 1); Sommaire et recommandations (volume 2)*. Rapports du Comité directeur commandés par les ministères de l'Environnement et des Transports.
- GRATTON, L. et C. DUBREUIL. 1990. *Portrait de la végétation et de la flore du Saint-Laurent*. Ministère de l'Environnement du Québec, Direction de la conservation et du patrimoine écologique, Québec.
- GRID-ARENDAL. 1997. State of the Environment Norway 1997. Global Ressource Information Database. Arendal, Norway. Site internet : <http://www.grida.no/prog/norway/index.html>
- GUÉNETTE, S., Y. MAILHOT, I. MCQUINN, P. LAMOUREUX et R. FORTIN. 1994. *Paramètres biologiques, exploitation commerciale et modélisation de la population de Perchaude (Perca flavescens) du lac Saint-Pierre*. Ministère de l'Environnement et de la Faune et Université du Québec à Montréal, Québec.
- GULLETT, D.W. et W.R. SKINNER. 1992. *L'état du climat au Canada : Les variations de la température au Canada 1895-1991*. Environnement Canada, Service de l'environnement atmosphérique. Rapport sur l'état de l'environnement, n° 92-2.
- HARE, F.K. et M.K. THOMAS. 1979. *Climate Canada*. Deuxième édition, John Wiley and Sons Canada Limited.
- HARVEY, G. et M. MINGELBIER. 1997. « Impacts de la gestion des niveaux d'eau sur la faune aquatique (couloir fluvial du Saint-Laurent) », Dans L. Lauzon, H. Dion et C.-E. Delisle (éd.), *Le Saint-Laurent pour la Vie : Actes du 21 Congrès de l'Association des biologistes du Québec*. Collection « Environnement » de l'Université de Montréal, vol. 23, pp. 223-235.
- HENGEVELD, H. 1991. *Comprendre l'atmosphère en évolution*. Environnement Canada, Service de l'environnement atmosphérique.
- HOBBS, B.F., P.T. CHAO et J.F. KOONCE. 1993. « Potential Climate Change and Great Lakes Management: Models, Flexibility and Process Evaluation ». Compte rendu de l'Atelier sur l'adaptation aux répercussions du changement et de la variabilité climatique, Québec 9-13 fév. 1993, pp. 64-69.
- HODGE, T., S. HOLTZ, C. SMITH et K.H. BAXTER. 1995. *Les sentiers de la viabilité : Mesurer les progrès*. Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie, Ottawa.
- HOFMAN, N. et L. MORTSCH. 1997. *Climate Change and Variability. Impacts on Canadian Waters*. Environnement Canada. Environmental Adaptation Research Group.
- HOUTMAN, N. 1994. « Une réponse régionale au changement climatique planétaire : La Nouvelle-Angleterre et l'est du Canada. Résumé du colloque établi pour le Sommaire du changement climatique ». Environnement Canada, Service de l'environnement atmosphérique.
- HUDON, C. 1997a. « Impact of water-level fluctuations on St. Lawrence River aquatic vegetation ». *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic sciences*, 54 (12) : 2853-2865.

- HUDON, C. 1997b. Communication personnelle. Environnement Canada, Centre Saint-Laurent, Montréal.
- HUDON, C. et A. ARMELLIN. 1995. Addition du critère « Intégrité des écosystèmes naturels » dans la régularisation du niveau dans le bassin Saint-Laurent-Grands Lacs. Sommaire de la présentation faite à la séance publique du Conseil international de contrôle du fleuve Saint-Laurent (Commission mixte internationale).
- HYDRO-QUÉBEC. 1983. *Projet Archipel - Modélisation numérique du mélange des eaux dans le lac Saint-Louis*. Service hydraulique.
- HYDRO-QUÉBEC. 1993. *Répertoire des barrages et des ouvrages connexes*. Édition 1993.
- IJC – INTERNATIONAL JOINT COMMISSION. 1997. *The IJC and the 21st Century*. Commission mixte internationale.
- IJC – INTERNATIONAL JOINT COMMISSION. 1989. *Water Levels Reference Study*. Annex B. Environmental features, processes and impacts: An ecosystem perspective on the Great Lakes-St. Lawrence River system. Functional group 2 pour la Commission mixte internationale.
- INDICATORS FOR EVALUATION TASK FORCE. 1996. *Indicators to Evaluate Progress under the Great Lakes Water Quality Agreement*. Commission mixte internationale. Site internet : <http://www.great-lakes.net :2200/partners/IJC/>
- IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 1995. *Second Assessment Report*. Vol. I, II et III. Cambridge University.
- IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 1990. *The IPCC Scientific Assessment*. WMO/UNEP.
- JACQUES, D. et C. HAMEL. 1982. *Système de classification des terres humides du Québec*. Université du Québec à Montréal, Département des Sciences biologiques, Laboratoire d'étude des macrophytes aquatiques, pour le ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Direction générale de la faune, Québec.
- JEAN, M. 1996. Communication personnelle. Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent, Montréal.
- JEAN, M. 1990. « Conséquences d'un changement climatique sur le système du Saint-Laurent : Éléments d'une problématique ». *Le Climat*, 8 (1) : 49-74.
- JEAN, M., M. D'AOUST, L. GRATTON et A. BOUCHARD. 1992. *Impacts of Water Level Fluctuations on Wetlands: Lake Saint-Louis Case Study*. Présenté à l'International Joint Commission Water Levels Reference Study.
- JEAN, M. et A. BOUCHARD. 1996. « Tree-ring analysis of wetlands of the upper St. Lawrence River, Quebec : Response to hydrology and climate ». *Can. J. For. Res.*, 26 : 482-491.
- JEAN, M. et A. BOUCHARD. 1993. « Riverine wetland vegetation : Importance of small-scale and large-scale environmental variation ». *Journal of Vegetation Science*, 4 : 609-620.
- JEAN, M. et A. BOUCHARD. 1991. « Temporal changes in wetland landscapes of a section of the St. Lawrence River, Canada ». *Environmental Manag.*, 15 (2) : 241-250.
- JOURDAIN, A. 1998. Communication personnelle. Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent, Montréal.

- JOURDAIN, A., J.-F. BİBEAULT et N. GRATTON. 1995. *Synthèse des connaissances sur les aspects socio-économiques du Saguenay. Rapport technique. Zone d'intervention prioritaire 22 et 23.* Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent, Montréal.
- JOURDAIN, A., M.-J. AUCLAIR, J. PAQUIN et D. GINGRAS. 1994a. *Synthèse et analyse des connaissances sur les aspects socio-économiques du lac Saint-Louis. Rapport technique. Zones d'intervention prioritaire 5 et 6.* Environnement Canada, Conservation et Protection – Région du Québec, Centre Saint-Laurent, Montréal.
- JOURDAIN, A., J.-F. BİBEAULT et P. SARRAZIN. 1994b. *Synthèse et analyse des connaissances sur les aspects socio-économiques du lac Saint-François. Rapport technique. Zones d'intervention prioritaire 1 et 2.* Environnement Canada, Conservation et Protection – Région du Québec, Centre Saint-Laurent, Montréal.
- KEDDY, P.A. et A.A. REZNICK. 1986. «Great Lakes vegetation dynamics: The role of fluctuating water levels and buried seeds». *Journal of Great Lakes Research*, 12 : 25-36.
- KOSHIDA, G., B.N. MILLS, L. MORTSCH et D. MCGILLIVRAY. 1993. *Bulletin de la direction de l'adaptation climatique. 93-06.* Environnement Canada, Service de l'environnement atmosphérique.
- KOSHIDA, G. et L. MORTSCH. 1991. *Répercussions du changement climatique et du niveau des eaux sur les milieux humides: bibliographie.* Environnement Canada, CLI-1-91. Publication du programme climatique canadien. Downsview, Ontario.
- KOUTITONSKY, V.G. et G.L. BUGDEN. 1991. « The physical oceanography of the Gulf of St. Lawrence : A review with emphasis on the synoptic variability of the motion », dans J.-C. Therriault (éd.), *The Gulf of St. Lawrence : Small Ocean or Big Estuary? Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 113, pp. 57-90.
- LABRECQUE, B. 1997. Communication personnelle. Pêches et Océans Canada, Service hydrographique du Canada. Mont-Joli.
- LAGACÉ, M., G. PAGEAU et J. DUBÉ. 1977. *Milieux bio-physiques, frayères, végétation et invertébrés des sites des travaux de régularisation des eaux, région de Montréal. Volume I. Service de la recherche biologique.* Ministère du Tourisme, de la Chasse et de la Pêche. Service de la recherche biologique, Québec.
- LAGACÉ, M. 1997. Recent Public Opinion Research Data on Climate Change. Environnement Canada, Consultations Division, Ottawa.
- LAMARCHE, A. 1992. *Qualité de l'eau : consommation humaine directe. Évaluation de la qualité de l'eau du fleuve Saint-Laurent. Tronçon Cornwall-île d'Orléans, entre 1978 et 1988.* Environnement Canada, Conservation et Protection – Région du Québec, Centre Saint-Laurent, Montréal. Coll. « BILAN Saint-Laurent », Rapport thématique sur l'état du Saint-Laurent.
- LANE, P. 1988. *Étude préliminaire des effets éventuels d'une hausse d'un mètre du niveau de la mer à Charlottetown dans l'Île-du-Prince-Édouard.* Environnement Canada, Service de l'environnement atmosphérique. Série sommaire du changement climatique.
- LANGLAIS, D. et Y. BÉGIN. 1993. « The effects of recent floods and geomorphic processes on Red Ash populations, Upper St. Lawrence Estuary, Québec ». *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 37 : 525-538.
- LANGLOIS, C., L. LAPIERRE, M. LÉVEILLÉ, P. TURGEON et C. MÉNARD. 1992. *Synthèse des connaissances sur les communautés biologiques du lac Saint-Pierre. Rapport technique. Zone d'intervention prioritaire 11.* Environnement Canada, Conservation et Protection, Centre Saint-Laurent, Montréal.

- LAPÉL INC. 1989. *Conséquences du changement climatique sur le Saint-Laurent : Évaluation potentielle des impacts physiques, biologiques, chimiques et sociaux*. Pour Environnement Canada, Région du Québec, Division des services scientifiques.
- LARUE, A., J. GRONDIN, B. LÉVESQUE, R. LARUE et D. BOUDREAU. 1996. *La baignade dans le secteur d'eau douce du Saint-Laurent : Discours et pratique à propos des risques à la santé*. SLV 2000. Centre de Santé publique de Québec et Direction générale de santé publique Montérégie.
- LASSERRE, J.-C. 1989. *Le Québec et le Saint-Laurent : Pour une analyse des problèmes de compétitivité de la voie d'eau*. Université Lumière, Lyon 2, Département de géographie et Laboratoire d'économie des transports.
- LAVIGNE, G. 1997. « La plaisance et le Saint-Laurent », dans L. Lauzon, H. Dion et C.-E. Delisle (éd.), *Le Saint-Laurent pour la Vie : Actes du 21 Congrès de l'Association des biologistes du Québec*; Collection « Environnement » de l'Université de Montréal, vol. 23, pp. 175-178.
- LAVOIE, M. 1995. *Programme Environnement-Plage : Historique du classement des plages publiques par région administrative et par municipalité 1995*. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction générale des opérations, Québec.
- LEE D.H., T.E. CROLEY et F.H. QUINN. 1997. « Lake Ontario regulation under transposed climates ». *Journal of the American Water Resources Association*, 33 (1) : 55-69.
- LEPAGE, S. 1997. Communication personnelle. Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent, Montréal.
- LES CONSULTANTS JACQUES BÉRUBÉ INC. 1997. *Dragage sélectif des hauts-fonds dans la voie navigable du Saint-Laurent entre Montréal et le cap à la Roche. Addenda à l'étude environnementale*. Pour la Société du Port de Montréal.
- LÉTOURNEAU, G. 1996. *Répertoire des activités de télédétection au Centre Saint-Laurent – Milieux humides du Saguenay, de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent et de la baie des Chaleurs*. Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent, Montréal. Rapport scientifique et technique ST-82.
- LÉTOURNEAU, G. et M. JEAN. 1996. *Cartographie des marais, marécages et herbiers aquatiques le long du Saint-Laurent par télédétection aéroportée*. Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent, Montréal. Rapport scientifique et technique ST-61.
- LIU, P.C. 1970. « Statistics of Great Lakes levels ». *13th Conf. on Great Lakes Research Proceedings*, pp. 360-368.
- LLAMAS J. et J.P. TRIBOULET. 1977. *Débits extrêmes des cours d'eau du bassin moyen du St-Laurent*. Université Laval, CENTREAU. Rapport scientifique et technique.
- LOISELLE, C., G.R. FORTIN, S. LORRAIN et M. PELLETIER. 1998. *Le Saint-Laurent : Dynamique et contamination des sédiments*. Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent, Montréal. Coll. « BILAN Saint-Laurent », Rapport thématique sur l'état du Saint-Laurent.
- LYON, J.G., R.D. DROBNEY et C.E. OLSON. 1986. « Effects of Lake Michigan water levels on wetland soil chemistry and distribution of plants in the Strait of Mackinac ». *Journal of Great Lakes Research*, 12 : 175-183.

- MACLAREN, V. 1996. *Élaboration d'indicateurs de durabilité urbaine : Gros plan sur l'expérience canadienne*. Société canadienne d'hypothèques et de logement et Comité intergouvernemental de recherches urbaines et régionales, pour Environnement Canada. Les Presses du CIRUR, Toronto, Ontario.
- MAILHOT, Y. 1998. Communication personnelle. Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, Direction régionale Mauricie-Bois-Francs, Trois-Rivières.
- MAILHOT, Y. 1984. *L'importance de la plaine de débordement du lac Saint-Pierre pour la faune... et pour nous tous*. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche (Direction générale de Trois-Rivières et Direction régionale de la Faune), Service canadien de la faune et Corporation pour la mise en valeur du lac Saint-Pierre. Brochure.
- MAILHOT, Y., J. SCROSATI et D. BOURDEAU. 1988. *La population du Poulamon atlantique de la Pérade : Bilan, état de la situation actuelle en 1988 et nouveaux aspects de l'économie de l'espèce*. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Direction régionale de Trois-Rivières, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune.
- MAISONNEUVE, C., A. DESROSIERS, R. MCNICOLL et M. LEPAGE. 1996. *Évaluation de la diversité faunique des plaines inondables du sud du Québec : Avifaune et micromammifères*. Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, Direction de la faune et des habitats, Québec.
- MAISONNEUVE, C., P. BROUSSEAU et D. LEHOUX. 1990. « Critical fall staging sites for shorebirds migrating through the St. Lawrence system, Quebec ». *Naturaliste canadien*, 104 (3) : 372-378.
- MARTEC LIMITED. 1987. *Effets d'une hausse d'un mètre du niveau moyen de la mer à Saint-Jean (Nouveau-Brunswick) et au passage inférieur du Saint-Jean. Série sommaire du changement climatique*. Environnement Canada, Service de l'environnement atmosphérique.
- MASSÉ, G., P. DUMONT, J. FERRARIS et R. FORTIN. 1991. « Influence des régimes hydrologique et thermique de la rivière aux Pins (Québec) sur les migrations de fraie du Grand Brochet et sur l'avalaison des jeunes brochets de l'année ». *Aquat. Living Resour.*, 4 : 275-287.
- MAXWELL, B., N. MAYER et R. STREET. 1997. *L'étude pancanadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement climatique. Sommaire national pour les décideurs*. Environnement Canada.
- MCKENNY, D. 1997. Communication personnelle. Pêches et Océans Canada, Garde côtière canadienne, Région Laurentienne, Québec.
- MEF – MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA FAUNE. 1996a. *Politique de protection des rives du littoral et des plaines inondables. Décret 103-96, 24 janvier 1996*. Publications du Québec.
- MEF – MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA FAUNE. 1996b. *Document de réflexion sur la bande riveraine de protection*. Direction des politiques du secteur municipal, Service de l'aménagement et de la protection des rives et du littoral, Québec.
- MEF – MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA FAUNE. 1995. *Prise en compte de la ressource faunique lors de la régularisation de l'eau du fleuve Saint-Laurent*. Mémoire du ministère de l'Environnement et de la Faune déposé auprès du Conseil international de contrôle du fleuve Saint-Laurent, 7 novembre 1995, lors d'une Séance publique tenue à la Salle internationale du Marché Bonsecours, Montréal, Québec.
- MENVIQ – MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC et ENVIRONNEMENT CANADA. 1987. *Convention entre le gouvernement du Canada et le Gouvernement du Québec relative à la cartographie et à la protection des plaines d'inondation*.

- MICHEL, B. 1976. « Les problèmes de glace du Saint-Laurent ». *L'Ingénieur*, 312 : 28-33, mars-avril 1976.
- MLCP – MINISTÈRE DU LOISIR, DE LA CHASSE ET DE LA PÊCHE. 1993. *Considérations fauniques pertinentes à l'étude sur les niveaux de l'eau du bassin du fleuve du Saint-Laurent et des Grands Lacs*.
- MLCP – MINISTÈRE DU LOISIR, DE LA CHASSE ET DE LA PÊCHE. 1987. *Importance de la pêche sportive au lac Saint-Pierre en 1986*. Plan de développement de la pêche au lac Saint-Pierre.
- MORIN, J. 1997. Communication personnelle. INRS-EAU, Sainte-Foy.
- MORIN, J. et M. LECLERC. 1997. « From pristine to present state: Hydrology evolution of Lake Saint-François, St. Lawrence River ». Soumis pour publication à la *Revue canadienne de Génie civil*.
- MORIN J., P. BOUDREAU et M. LECLERC. 1994. *Réhabilitation de l'écosystème du Saint-Laurent. Lac Saint-François : les bases de la modélisation hydrodynamique*. INRS-Eau et IREE. Rapport de recherche R-412.
- MORTSCH, L. et F.H. QUINN. 1996. « Climate change scenarios for Great Lakes Basin ecosystem studies ». *Limnology and Oceanography*, 41 (5) : 903-911.
- MORTSCH, L. et B.N. MILLS. 1996. *Great Lakes-St. Lawrence Basin Project PR # 1. Adapting to the impacts of climate change and variability*. Environnement Canada – Région du Québec, Service de l'environnement atmosphérique.
- MOUSSEAU, P. et A. ARMELLIN. 1995. *Synthèse des connaissances sur les communautés biologiques du Saguenay. Rapport technique. Zones d'intervention prioritaire 22 et 23*. Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent, Montréal.
- MPO – PÊCHES ET OCÉANS CANADA. 1997. Base de données SDMM. Service hydrographique du Canada, région Laurentienne, Service des données sur le milieu marin, Mont-Joli.
- MPO – PÊCHES ET OCÉANS CANADA. 1996. *Énoncé des éléments à considérer dans le cadre de l'étude qui vise à modifier le plan actuel de régularisation du lac Ontario et du fleuve Saint-Laurent*. Mémoire présenté au Conseil international de contrôle du fleuve Saint-Laurent. Région Laurentienne.
- MPO – PÊCHES ET OCÉANS CANADA. 1986. *Politique de gestion de l'habitat du poisson*. Direction de la gestion de l'habitat du poisson, Ottawa.
- NILO, P., P. DUMONT et R. FORTIN. 1997. « Climatic and hydrological determinants of year-class strength of St. Lawrence River Lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*) ». *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54 (4) : 774-780.
- OCDE – ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE. 1995. *Examens des performances environnementales, Canada*. Paris.
- OCDE – ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE. 1994. *Examens des performances environnementales, Japon*. Paris.
- OCDE – ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE. 1993a. *Indicateurs d'environnement : Concepts de base et terminologie*. Direction de l'environnement, Groupe sur l'état de l'environnement, Paris.
- OCDE – ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE. 1993b. *Corps central d'indicateurs de l'OCDE pour les examens de performances environnementales*. Groupe sur l'état de l'environnement, Paris. OCDE/GD(93)179.

- OMM – ORGANISATION MÉTÉOROLOGIQUE MONDIALE. 1990. *Global Climate Change: A Scientific Review Presented by the World Climate Research Programme*. Organisation météorologique mondiale, Genève.
- OUELLET, Y. et D. MALTAIS. 1986. « Modélisation de la marée et des vagues de tempête dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent ». *Naturaliste Canadien*, 113 : 91-101.
- PAGÉ, P. 1992. *L'environnement glaciaire*. Éditions Guérin Universitaire.
- PAQUIN, J. 1997. Communication personnelle. Institut maritime du Québec. Rimouski.
- PAUL, P. 1973. « Climatologie dynamique de la région de Montréal (Québec) ». Université Louis Pasteur, Strasbourg. Thèse de doctorat, 2 tomes.
- PHILLIPS, D. 1996. *Summer 95. One for the record*. Environnement Canada. Site internet : <http://www.on.doe.ca/comm/back1.html>
- PROCÉAN, LES CONSULTANTS JACQUES BÉRUBÉ INC. et GDG ENVIRONNEMENT LTÉE. 1996. *Étude en vue d'un dragage sélectif des hauts-fonds dans la voie navigable entre Montréal et le cap à la Roche*. Pour Pêches et Océans, Garde côtière canadienne.
- QUILLIAM, L. et P. MILLET. 1998. *Rapport sur l'état du Saint-Laurent – Mise à jour des indicateurs environnementaux du Rapport-synthèse sur l'état du Saint-Laurent. Supplément au Volume 2 – L'état du Saint-Laurent*. Équipe conjointe bilan, composée de représentants d'Environnement Canada, de Pêches et Océans et du ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, Montréal. Rapport technique.
- REPUBLIC OF TUNISIA. 1996. *The State of the Environment National Report*. Ministry for the Environment and Land Use Planning.
- ROBERT, S. 1997. Communication personnelle. Hydro-Québec. Membre du Groupe consultatif du Conseil international de contrôle du fleuve Saint-Laurent. Montréal.
- ROBICHAUD, A. et Y. BÉGIN. 1997. « The effects of storms and sea-level rise on a coastal forest margin in New Brunswick, Eastern Canada ». *Journal of Coastal Research*, 13 (2) : 429-439.
- ROBITAILLE, M. 1988. « Étude des corridors d'écoulement du lac Saint-Louis (Québec) ». Université de Sherbrooke. Thèse de maîtrise.
- ROULEAU, P. 1998. Communication personnelle. Pêches et Océans Canada, Garde côtière canadienne, Région Laurentienne, Développement des voies navigables. Québec.
- SANDERSON, M. 1989. « Water levels in the Great Lakes – Past, present and future ». *Ontario Geography*, 33.
- SCHERRER, B. 1984. *Biostatistique*. Gaétan Morin éditeur. Chicoutimi.
- SCF – SERVICE CANADIEN DE LA FAUNE. 1998. Les oiseaux de mer du Saint-Laurent. Site internet : http://www.wul.qc.doe.ca/faune/oiseaux_de_mer/oiseaux_de_mer.html
- SCOPE – SCIENTIFIC COMMITTEE ON PROBLEMS OF THE ENVIRONMENT. 1994. *Environmental Indicators: A Systematic Approach to Measuring and Reporting on Environmental Policy Performance in the Context of Sustainable Development*. Pour United Nations Commission on Sustainable Development and World Bank. Project on Indicators of Sustainable Development. Rapport préliminaire.
- SECRÉTARIAT ARCHIPEL. 1986. *Projet Archipel. Étude de faisabilité. Rapport technique n°. 4 : Évaluation des effets sur l'environnement. Annexe 18 : La gestion optimale pour la flore, la faune et les loisirs*. Pour le ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche et le ministère des Affaires municipales.

- SHAFFER, F. et P. LAPORTE. 1995. *Rapport sur la situation du Pluvier siffleur (Charadrius melodius) au Québec*. Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Service canadien de la faune. Série de rapports techniques, n° 244.
- SHAW, J. et D.L. FORBES. 1990. « Short and long term relative sea-level trends in Atlantic Canada ». *Proceeding of the Canadian Coastal Conference, Kingston (May 1990)*. National Research Council of Canada, Associate Committee on Shorelines, pp. 291-305.
- SIBLEY, T.H. et R.M. STRICKLAND. 1985. « Fisheries : Some relationships to climate change and marine environmental factors ». Dans *Characterization of Information Requirements for Studies of CO₂ Effects : Water Resources, Agriculture, Fisheries, Forests and Human Health*. U.S. Dept. Of Energy, Office of Energy Research, Office of Basic Energy Sciences, Washington D.C., DOE/ER-0236, pp. 95-143.
- SLIVITZKY, M. 1998. Communication personnelle. Expert-conseil, Sainte-Foy.
- SLIVITZKY, M. 1997. Communication personnelle. Expert-conseil, Sainte-Foy.
- SLIVITZKY, M. 1995. « Les ressources en eau, leurs usages et disponibilités et les variations climatiques ». INRS-Eau. *Actes du colloque, ACFAS 1995, Chicoutimi*, pp. 103-107.
- SLIVITZKY, M. 1993. « Water Management. The St. Lawrence River ». Atelier Great Lakes-St. Lawrence Basin Project. Adapting to the Impacts of Climate Change and Variability. Manoir Victoria, Québec. Fév. 9-11, 1993.
- SLRAPT – ST. LAWRENCE REMEDIAL ACTION PLAN TEAM. 1992. *The St. Lawrence River Area of Concern: Remedial Action Plan for Cornwall-Lake St. Francis Area. Stage 1 Report : Environmental conditions and problem definitions*.
- SLV 2000 – SAINT-LAURENT VISION 2000. 1996. *Reflets du Saint-Laurent - La parole aux riverains. Volet Santé*.
- SNC-Lavalin. 1994. *Centrale Les Cèdres – Nouvel aménagement. Avant-projet, phase 2, Études environnementales*. Pour Hydro-Québec, Vice-présidence Environnement.
- ST-CYR, L., P.G.C. CAMPBELL et K. GUERTIN. 1994. « Evaluation of the role of submerged plant beds in the metal budget of a fluvial lake ». *Hydrobiologia*, 291 : 141-156.
- TANG, C.L. et A.S. BENNET. 1981. *Physical Oceanographic Observations in the Northwestern Gulf of St. Lawrence*. Pêches et Océans Canada, Institut océanographique de Bedford, Dartmouth, Nouvelle-Écosse. Data series BI-D-81-6.
- TANGLEY. 1988. « Preparing for climate change ». *Bio-Science*, 38 (1) : 14-18.
- THERRIEN, J., H. MARQUIS, G. SHOONER et P. BÉRUBÉ. 1991. *Caractérisation des habitats recherchés pour la fraie des principales espèces de poisson du fleuve Saint-Laurent (Cornwall à Montmagny)*. Groupe Environnement Shooner inc., pour Pêches et Océans Canada et Environnement Canada.
- TITUS, J.G. et M.C. BARTH. 1984. « An overview of the causes and effects of sea level rise », dans M.C. Barth et J.G. Titus (éd.), *Greenhouse Effect and Sea-level Rise. A Challenge for this Generation*. Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 1-56.
- TITUS, J.G. et V.K. NARAYANAN. 1995. *The Probability of Sea Level Rise*. U.S. Environmental Protection Agency.
- U.S. EPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1995. *Conceptual Framework to Support Development and Use of Environmental Information in Decision Making*. Washington, DC. Document No. 239-R-95-012. Site internet : <http://www.epa.gov/indicator/frame/>

- U.S. OFFICE OF TECHNOLOGY ASSESSMENT. 1993. *Preparing for an Uncertain Climate. Summary.* United States Congress.
- VANDERZWAAG, D. 1994. *La LCPE et le principe ou l'approche précaution. Examen de la LCPE : Document d'élaboration des enjeux.* Environnement Canada, Protection de l'environnement, Bureau de la Loi canadienne sur la protection de l'environnement, Hull.
- VERRETTE, J.-L. 1990. *Délimitation des principales masses d'eau du Saint-Laurent (Beauharnois à Québec).* Les Consultants hydriques inc., pour le Environnement Canada, Conservation et Protection – Région du Québec, Centre Saint-Laurent.
- VIGEANT, G. 1984. *Cartes climatologiques du Saint-Laurent.* Environnement Canada.
- WALSH, G. et A. BOURGEOIS (ÉDITEURS). 1996. *Inondations de juillet 1996 au Québec : Identification des impacts potentiels sur le milieu marin et les habitats d'eau douce dans les régions du Saguenay, de la Côte-Nord et de Charlevoix.* Rapport manuscrit canadien des sciences halieutiques et aquatiques, n° 2382.
- WHITE, L. et F. JOHNS. 1997. *Évaluation du milieu marin de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent.* Pêches et Océans Canada, Dartmouth, Nouvelle-Écosse et Mont-Joli, Québec.
- YEE, P. 1997. *Communication personnelle.* Environnement Canada, Bureau de la régularisation des Grands Lacs et du Saint-Laurent, Cornwall.
- YEE, P., R. EDGETT et A. EBERHARDT. 1995. *Régulation des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent. Ce que cela signifie et comment cela fonctionne.* Environnement Canada, région de l'Ontario et Division du Centre-nord de l'U.S. Army Corps of Engineers.

Annexe 1

LE CADRE PRESSION-ÉTAT-RÉPONSE

Le *Rapport sur l'état du Saint-Laurent* a été réalisé à partir du cadre Pression-État-Réponse (PER) pour structurer et analyser l'information en fonction d'enjeux environnementaux du Saint-Laurent. Ce cadre conceptuel est reconnu comme un modèle type qui occupe maintenant une place importante dans la réalisation des rapports sur l'état de l'environnement et l'établissement d'indicateurs environnementaux. Il a été proposé par l'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE) pour la conception d'indicateurs environnementaux (OCDE, 1993a; 1993b) et l'évaluation de la performance environnementale des pays membres de l'OCDE (OCDE, 1994; 1995). Plusieurs pays et organisations internationales s'inspirent du cadre de l'OCDE dans leur approche de l'information environnementale (ex. : Adriaanse, 1993; CCME, 1996; Environment Agency of England and Wales, 1996; Government of Australia, 1994; GRID-Arendal, 1997; Republic of Tunisia, 1996; SCOPE, 1994). Ainsi, bien que la terminologie puisse parfois varier dans la documentation, les principes généraux proposés par le cadre PER sont aujourd'hui largement utilisés.

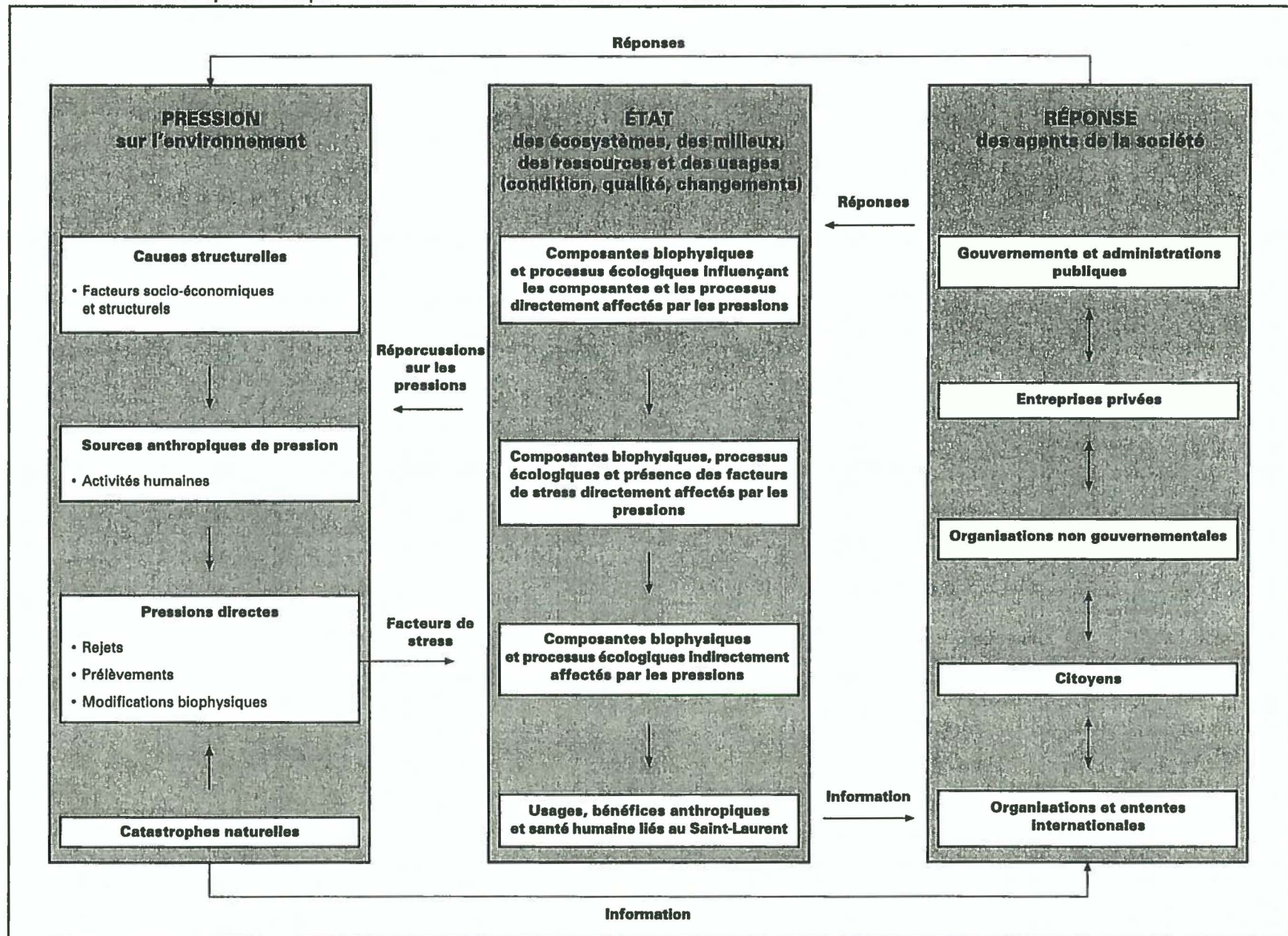
Le cadre PER proposé par l'OCDE est une représentation générale des liens de causalité entre les **pressions** exercées par les activités humaines sur l'environnement, les changements dans l'**état** de l'environnement occasionnés par ces pressions et les **réponses** de la société, c'est-à-dire les mesures adoptées relativement aux pressions ou à l'état de l'environnement. Bien qu'il possède des limites différentes, ce modèle s'applique à toutes les échelles de travail et à tous les genres de problématique. De plus, malgré sa présentation relativement simple, il permet de tenir compte de la variabilité et de la dynamique des écosystèmes ainsi que de la complexité des interactions des composantes naturelles et des activités humaines.

Le contexte d'utilisation détermine dans une large mesure comment ce cadre général s'applique à des cas concrets. Dans cet esprit, à partir de l'expérience accumulée dans l'utilisation du cadre PER et dans un souci d'intégrer d'autres dimensions – en particulier la vision écosystémique des interactions de l'homme et de son environnement – certaines organisations ont cherché à améliorer ou à préciser le modèle de l'OCDE (ex. : CCME, 1996; Government of Australia, 1994; Indicators for Evaluation Task Force, 1996; United States EPA, 1995). D'autre part, sans directement référer au cadre PER mais en faisant appel aux mêmes principes de causalité entre les sources de perturbation de l'environnement, leurs effets sur l'état des écosystèmes et les mesures adoptées, certains auteurs comme Freedman *et al.* (1993), Hodge *et al.* (1995) et Maclaren (1996) ont approfondi ces concepts et leur application à la connaissance de l'état de l'environnement et des problématiques environnementales.

Lors de la réalisation du *Rapport sur l'état du Saint-Laurent*, certains ajustements et précisions au cadre de l'OCDE ont été apportés. La figure qui suit présente le modèle adapté dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Les **pressions** sur l'environnement sont réparties entre quatre niveaux dont trois sont de nature anthropique. Le premier identifie les facteurs structurels qui ont une influence déterminante sur les activités humaines (ex. : la croissance de la population, les accords de commerce international). Au deuxième niveau, les activités humaines sont considérées comme des sources de pressions sur l'environnement (ex. : les activités agricoles, les établissements industriels, les activités urbaines). Le troisième niveau comprend les pressions directes générées par ces activités qui sont soit un rejet, un prélèvement ou une modification biophysique. Finalement, sont incluses dans les pressions les catastrophes naturelles, c'est-à-dire les phénomènes naturels qui par leur ampleur dépassent les limites normalement observées dans les écosystèmes (ex. : les inondations et les tremblements de terre) et qui produisent des pressions directes similaires à celles générées par les activités humaines.
- L'**état** fait référence à la condition, la qualité et les changements observés dans les composantes biophysiques, dans les processus écologiques ainsi que dans la présence des facteurs de stress dans l'environnement. Cet état se rapporte soit à des écosystèmes, des milieux ou des ressources naturelles spécifiques. Dans une perspective écosystémique comprenant l'homme et ses activités, on inclut également les usages, les bénéfices anthropiques et la santé humaine reliés à l'environnement.
- Les **réponses** se rapportent aux mesures et aux décisions des différents agents de la société (ex. : les gouvernements et les administrations publiques, les entreprises privées, les organisations non gouvernementales, les citoyens et les organisations internationales) relativement aux pressions et à l'état de l'environnement. Les réponses, qui peuvent être de plusieurs ordres (ex. : légal, administratif, volontaire, mesures financières et fiscales, éducation, concertation), visent à prévenir, éliminer et réduire les pressions ou corriger leurs effets ainsi qu'à s'adapter aux changements dans l'état de l'environnement.
- La dimension humaine dans le modèle apparaît au niveau des composantes de pression, d'état et de réponse. En incorporant les usages et les bénéfices anthropiques ainsi que la santé humaine aux composantes d'état, le modèle exprime d'une part la vision écosystémique qui inclut l'homme comme élément important du système tout en insistant sur la nécessité d'analyser les liens de causalité entre les composantes de pression, d'état et de réponse dans une perspective de gestion et de prise de décision.
- Les flèches indiquent un lien d'effet ou une interaction entre les composantes de pression, d'état et de réponse, à l'exception de celles en direction des réponses qui illustrent le cheminement de l'information pour leur élaboration et leur évaluation.

Cadre «Pression-État-Réponse» adapté à l'étude de l'état de l'environnement du Saint-Laurent



Les connaissances que l'on veut dégager dans l'application du cadre PER portent sur la condition et la qualité des composantes, sur les changements qui ont été observés, sur leurs interactions et les effets qui en découlent. Pour améliorer la compréhension d'un enjeu environnemental du Saint-Laurent, c'est le contexte et la problématique qui ont déterminé le niveau de traitement et d'intégration de l'information lors de l'analyse et de la synthèse.

Annexe 2

CALCUL DE LA HAUSSE PROBABLE DU NIVEAU DE LA MER DANS L'ESTUAIRE ET LE GOLFE DU SAINT-LAURENT

Selon Titus et Narayanan (1995), la hausse du niveau de la mer varie d'un point à l'autre et est donnée, localement, par la relation suivante :

$$\text{Hausse locale} = \text{VHEM} + (\text{ANNÉE} - 1990) \text{ TL}$$

où VHEM est la valeur de la hausse enregistrée à l'échelle mondiale et TL, la tendance locale. La valeur médiane de VHEM prévue pour l'an 2050 est donnée par Titus et Narayanan (1995) et est de 10 cm/siècle. La tendance TL est obtenue de El-Sabh et Murty (1993) pour différents sites du système Saint-Laurent. Pour l'estuaire fluvial et le moyen estuaire, on note une tendance locale, TL, pouvant également atteindre 10 cm/siècle. En appliquant l'équation ci-haut, ceci donne une hausse locale prévue pour l'an 2050 d'environ 16 cm. Dans le golfe du Saint-Laurent, une tendance locale atteignant 33 cm a été enregistrée au cours du dernier siècle (station de Charlottetown, Î.-P.-É.). La hausse locale prévue pour 2050 pour le golfe du Saint-Laurent est donc d'environ 30 cm par rapport aux niveaux de 1990.