

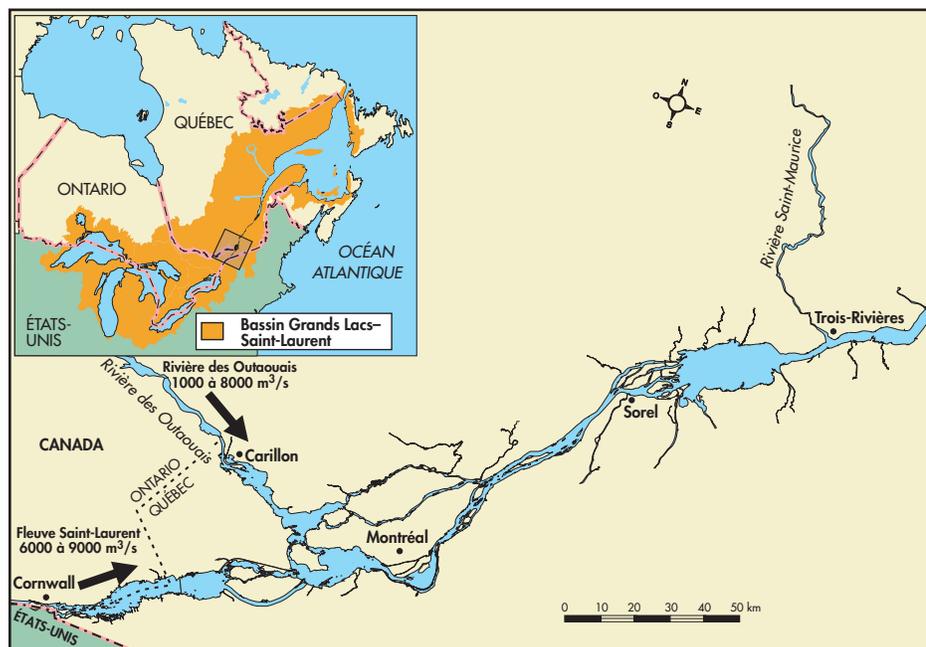
L'ÉVOLUTION DES NIVEAUX ET DÉBITS DU FLEUVE

Problématique

La représentation de l'état général des caractéristiques d'hydraulicité du fleuve Saint-Laurent par un seul indicateur n'est pas chose facile, puisqu'il

faut faire abstraction des spécificités locales et des fluctuations à court terme. En ce sens, le débit à Sorel présente plusieurs avantages : il intègre les deux apports hydrologiques principaux des Grands Lacs et de la

Figure 1. Tronçon fluvial du bassin versant Grands Lacs–Saint-Laurent situé entre Cornwall et Trois-Rivières



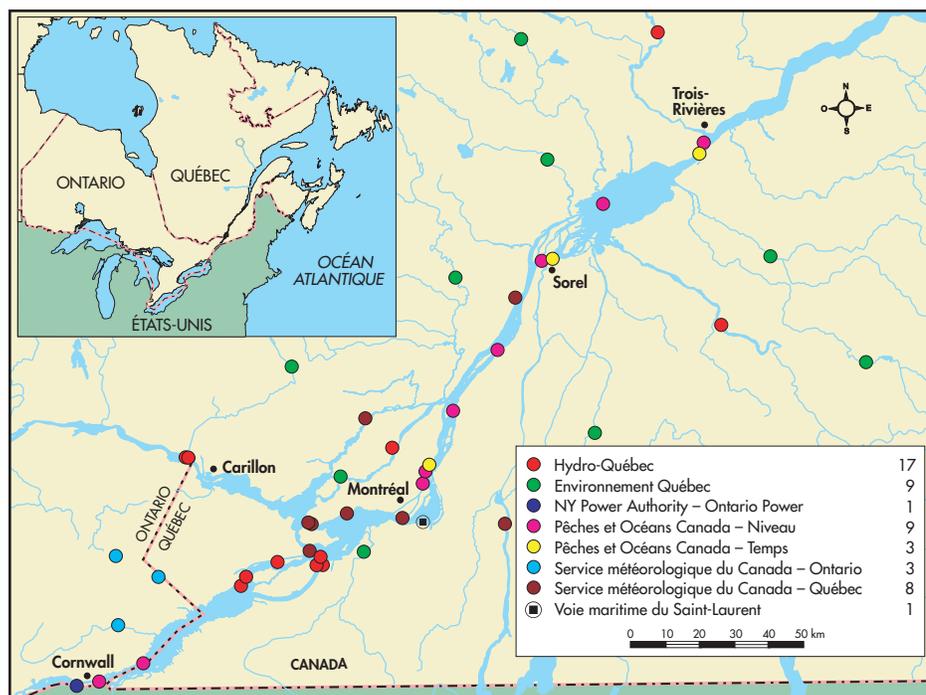
Exemple de station hydrométrique
- Station n° 020B011, localisée à Lanoraie

rivière des Outaouais, et il est situé, approximativement, au centre de la portion fluviale du système Grands Lacs–Saint-Laurent, en amont du lac Saint Pierre (figure 1). Le fait que le débit soit calculé à partir des apports hydrologiques implique aussi que les interférences de l'effet du vent, du signal de marée, de la croissance des plantes aquatiques ou du couvert de glace ne sont pas introduites dans l'indicateur.

Historique du réseau hydrométrique

Au Québec, la répartition actuelle des stations fournissant les niveaux et les débits s'inspire de l'installation des premières stations du réseau hydrométrique, qui remonte à la fin du 19^e siècle. Celles qui sont placées sur le Saint-Laurent sont dédiées, historiquement, à la mesure du niveau d'eau, d'une part

Figure 2. Localisation des principales stations de mesure hydrométrique du tronçon fluvial et de ses principaux affluents



pour faciliter la navigation et, d'autre part, en raison des caractéristiques physiques de l'écoulement en aval des rapides de Lachine, qui rendent difficile l'estimation des débits. Ces derniers doivent alors être calculés par l'addition des débits provenant des rivières tributaires et des zones non jaugées, tout en considérant le temps de transport de l'eau de l'amont vers l'aval. Quant aux tributaires du fleuve, on y retrouve traditionnellement des stations dédiées au calcul du débit.

Au fil des décennies, la densité du réseau hydrométrique a augmenté au point d'intégrer 51 stations sur les abords du fleuve Saint-Laurent et ses affluents (figure 2). Sa distribution a été corrigée afin de gagner en efficacité et fiabilité, particulièrement en ce qui a trait aux stations de débit localisées sur les affluents. Ce réseau hydrométrique permet une évaluation complète de l'hydrologie dans le tronçon fluvial du bassin versant

Grands Lacs–Saint-Laurent, tant pour la mesure des niveaux d'eau que pour le calcul des débits.

Autrefois, le réseau était caractérisé par un mode d'opération essentiellement

manuel. De nos jours, les stations hydrométriques sont pour la plupart automatisées, de sorte que les données sont accessibles en temps réel à l'aide de plusieurs modes de diffusion, dont l'Internet.

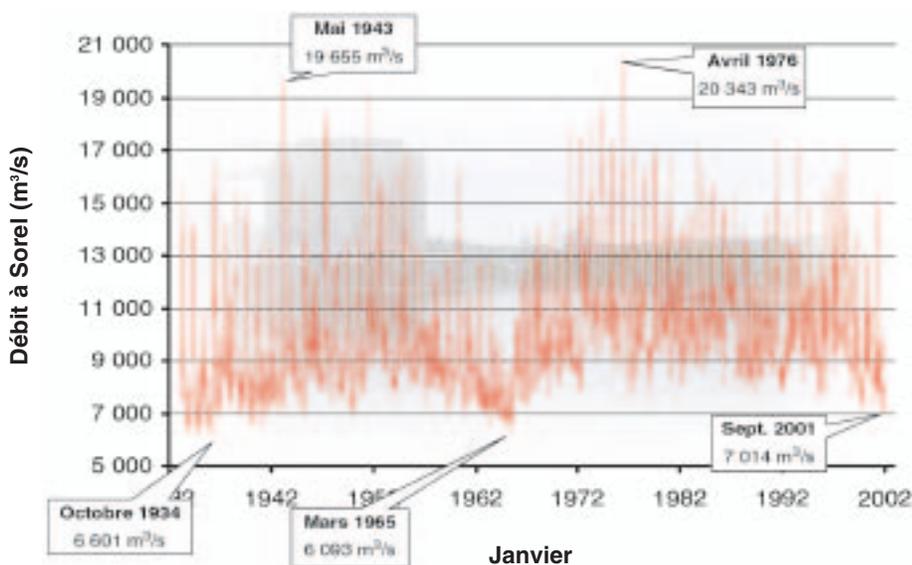
Portrait de la situation

L'état actuel du régime d'écoulement du fleuve reflète les impacts de la régularisation des apports hydrologiques et des autres interventions humaines. Les données issues du réseau hydrométrique permettent de mettre en relief le comportement cyclique de l'hydraulique du Saint-Laurent.

Cycle hydrologique

La figure 3 illustre l'évolution temporelle du débit à Sorel calculé pour la période de 1932 à 2001. Examinée dans son ensemble, cette série de données permet d'apprécier l'ampleur des fluctuations du débit qui est de l'ordre de 14 000 m³/s, entre le minimum de 6000 m³/s et le maximum d'environ

Figure 3. Débit du Saint-Laurent à Sorel de décembre 1932 à décembre 2001



20 000 m³/s. Des débits très faibles ont été observés au milieu des années 1930 (6601 m³/s), suivis de forts débits atteignant 19 655 m³/s en 1943. Des débits très faibles ont de nouveau été observés au milieu des années 1960 (6093 m³/s) suivis de forts débits (20 343 m³/s) en 1976 et, plus récemment, à la fin de la décennie de 1990 et au début de 2000, on observe encore de faibles débits (7014 m³/s).

est moindre que celle des apports en eau au lac Ontario en raison de l'absence de données historiques de débit pour les principaux tributaires du fleuve avant 1930.

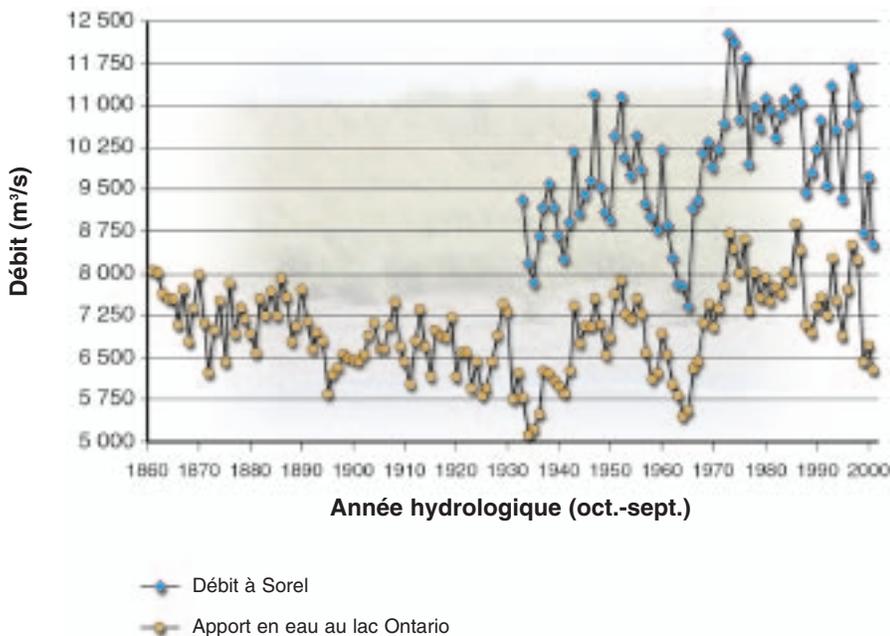
Les débits du fleuve Saint-Laurent à Sorel varient beaucoup d'une année à l'autre et dépendent des variations interannuelles des apports en eau au lac Ontario, elles-mêmes dépendantes des conditions climatiques. On cons-

les valeurs mesurées au cours de l'été 2001 sont à l'intérieur de la plage de valeurs mesurées depuis une centaine d'années.

Au cours des dernières décennies, le patron d'écoulement du Saint-Laurent a été drastiquement changé par de nombreuses interventions humaines, dont les répercussions, locales ou étendues, ont une incidence directe sur le niveau de l'eau. Les modifications apportées sont si importantes qu'il devient extrêmement difficile de faire des comparaisons historiques de l'écoulement avant et après ces interventions. Ainsi, l'utilisation du niveau comme indicateur de la quantité d'eau dans le Saint-Laurent demeure utile mais a une portée très limitée.

À titre d'exemple, l'utilisation par le Conseil international de contrôle du fleuve Saint-Laurent de la station hydrométrique située dans le port de Montréal, pour mesurer le niveau d'eau dans le fleuve, est sujette à controverse.

Figure 4. Moyenne annuelle (année hydrologique d'octobre à septembre) du débit du Saint-Laurent à Sorel de 1932 à 2001 et des apports en eau au lac Ontario de 1861 à 2001



La figure 4 montre la série de débits moyens annuels à Sorel pour chaque année hydrologique (octobre à septembre) par rapport à la série des apports en eau au lac Ontario. La moyenne annuelle des débits est utilisée plutôt que les valeurs mensuelles, afin de filtrer une partie de l'effet de la régularisation qui est apparent à une fréquence mensuelle. La taille de la série de débits à Sorel

tate aussi que les débits — et niveaux associés — enregistrés dans le passé au cours des périodes de très basses eaux comportent des valeurs extrêmes qui n'ont pas été atteintes lors du récent épisode de basses eaux durant l'été 2001. Le système Grands Lacs–Saint-Laurent n'est donc pas en train d'établir des records de faible hydraulité actuellement. Bien qu'elles soient très basses,



Exemple d'instruments de mesure du niveau d'eau et de calcul de débit

Photo : Service météorologique du Canada

En effet, les travaux effectués dans cette portion du chenal pour étendre la période de navigation et construire l'île Notre-Dame en vue de l'Expo 67 sont critiques et changent radicalement le patron d'écoulement. Ils ont amené les statisticiens à compiler dorénavant les données historiques à partir de 1967. Or, les bas niveaux enregistrés au début des années 1930 ainsi qu'en 1964 et 1965 ne sont pas pris en considération dans cette base statistique : leur absence biaise les résultats lorsqu'on tente de qualifier une observation actuelle de niveau d'eau en la comparant aux valeurs historiques.

Concrètement, cette situation a conduit à une lecture erronée de l'état

des niveaux d'eau du fleuve en 2001 : les statistiques annonçant que les Grands Lacs allaient être sous leur moyenne à long terme et que le port de Montréal allait connaître des minimums records. Il serait alors important de mentionner la période utilisée pour le calcul des statistiques de niveau d'eau dans le port de Montréal dans tout document portant sur l'état de l'écoulement dans le système Grands Lacs–Saint-Laurent et d'expliquer pourquoi elle diffère de la période utilisée pour le calcul des statistiques de niveaux d'eau dans les Grands Lacs et pourquoi les deux informations sont difficilement comparables. L'intégration, dans ces rapports, d'informations sur les niveaux d'eau à d'autres sites le long du fleuve Saint-Laurent

moins affectés par les activités anthropiques pourrait permettre de brosser un portrait plus réaliste de l'état de l'écoulement dans le fleuve Saint-Laurent.

Un autre moyen de pallier le problème serait de se tourner vers un autre indicateur : le débit du fleuve. Il présente certains avantages pour fournir une indication quant à l'évolution du régime d'écoulement du Saint-Laurent. Bien que sa distribution temporelle soit modifiée par les interventions humaines (régularisation, ouvrages de génie), le débit constitue un bon indicateur de l'hydraulicité du fleuve et peut être comparé aux séries chronologiques mesurées ou générées par modélisation numérique.



Herbier de Scirpus sp., lac Saint-Pierre

Aménagements d'ouvrages de génie

L'écoulement du fleuve est aussi affecté par les ouvrages de génie. Outre la construction des barrages Moses-Saunders, Beauharnois, des Cèdres et de Carillon ainsi que les autres ouvrages régulateurs plus en amont dans les bassins versants, des travaux importants ont été réalisés dans le tronçon fluvial au cours du 20^e siècle. Le dragage du chenal de navigation, le dépôt des matériaux dragués, la construction de réservoirs, de ponts et de tunnels ainsi que la création de l'île Notre-Dame en face de Montréal ont modifié la configuration du lit du fleuve et, par conséquent, la distribution spatiale des niveaux.

Enfin, l'entretien hivernal de la voie navigable avec la pose d'estacades pour maintenir la navigabilité a aussi changé la distribution naturelle des niveaux et débits en minimisant, entre autres, la fréquence et l'ampleur des embâcles de glace. En outre, les niveaux le long

du fleuve sont influencés par la croissance de plantes aquatiques l'été et le couvert de glace l'hiver, les vents et le signal de marée.

Régularisation des débits

Le fleuve Saint-Laurent est alimenté par deux principaux bassins contrôlés : les Grands Lacs (station de Cornwall) et la rivière des Outaouais (station de Carillon) (figure 1). Ainsi, le débit à Cornwall varie généralement entre 6000 et 9000 m³/s au cours d'une année (débit moyen annuel : 7060 m³/s), alors que celui à Carillon varie entre 1000 et 8000 m³/s (débit moyen annuel : 1910 m³/s).

La figure 5 illustre l'effet moyen de la régularisation des Grands Lacs et de la rivière des Outaouais sur les débits du fleuve à Sorel calculés pour la période de 1960 à 1997.

L'effet typique de la régularisation est une réduction du débit au printemps, son augmentation à l'automne et en



Structure de protection de berge, parc riverain municipal à Lachine (rive nord du lac Saint-Louis)

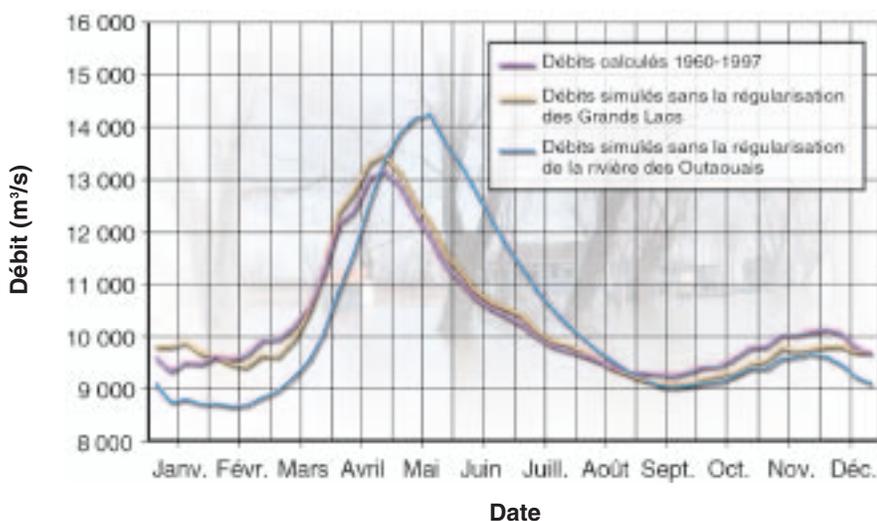
Photo : J.-F. Bibeaute, Centre Saint-Laurent

hiver, ainsi qu'une stabilisation des débits avec une minimisation des extrêmes. En général, les débits sont réduits au printemps d'un maximum de plus de 2000 m³/s et augmentés entre septembre et mars entre 300 et 900 m³/s. On note, cependant, une réduction du débit au mois de janvier pour permettre la prise du couvert de glace en amont des ouvrages hydroélectriques de Beauharnois et Moses-Saunders.

La figure 5 illustre aussi l'effet comparatif, sur le débit à Sorel, de la régularisation des Grands Lacs et de la rivière des Outaouais. L'impact de la régularisation de la rivière des Outaouais a été plus important que celle des Grands Lacs, surtout dans la réduction des débits de crue, la modification de l'occurrence des débits de crue dans l'année (plus hâtifs) et l'augmentation des débits hivernaux.

Bien que cet effet typique de la régularisation semble important, la marge de manœuvre réelle dont dispose le Bureau de régularisation des Grands Lacs et du Saint-Laurent pour éviter les épisodes extrêmes est en fait beaucoup plus limitée. Par exemple, lors de

Figure 5. Moyenne interannuelle du débit à Sorel (1960-1997) : débits calculés, débits simulés sans l'effet de la régularisation des Grands Lacs et de la rivière des Outaouais



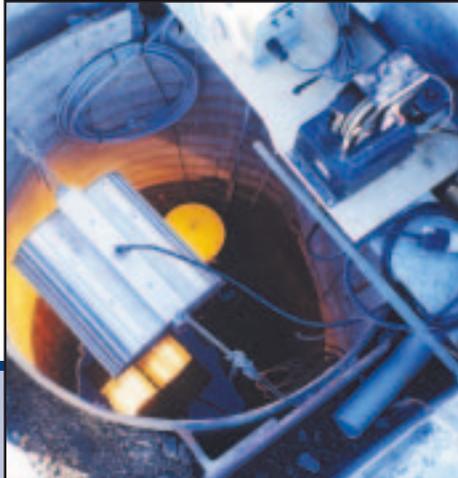


Photo : Service météorologique du Canada

Exemple d'instruments de mesure du niveau d'eau et de calcul de débit

MESURES-CLÉS

Le suivi des conditions d'écoulement du fleuve s'effectue au moyen de deux indicateurs : le niveau d'eau et le débit.

Le niveau d'eau est une quantité mesurée à chaque station hydrométrique, alors que le débit qui y est associé doit être calculé à partir du niveau d'eau au moyen d'une équation mathématique calibrée spécifiquement pour chacun des sites. Pour ce faire, certaines conditions physiques, dont la présence d'une section de contrôle, doivent exister pour établir un lien univoque entre le niveau d'eau et le débit. Dans le Saint-Laurent, la dernière section de contrôle est située près de Montréal, à Lasalle. En aval de ce point, le débit du fleuve doit être estimé par l'addition des débits des principaux tributaires et des zones non jaugées. Ce calcul doit aussi tenir compte du temps de transit de l'eau, de l'amont vers l'aval.

Or, l'utilisation du niveau d'eau comme indicateur présente des limites. D'une part, les modifications anthropiques apportées au système fluvial tels que le dragage, la construction d'îles, etc. ont eu pour conséquence de changer, localement, le patron de variations annuelles et de compliquer par conséquent l'usage de la mesure du niveau. D'autre part, comme les interférences naturelles induites par l'effet du vent, du signal de marée, de la croissance des plantes aquatiques et du couvert de glace sont considérées dans l'interprétation de cet indicateur, cela restreint sa portée.

Par opposition, l'utilisation du débit du fleuve Saint-Laurent à Sorel comme indicateur présente certains avantages, car il intègre les principaux tributaires du fleuve que sont les Grands Lacs et la rivière des Outaouais, il est localisé au centre de la portion fluviale du système, et il n'intègre pas les interférences naturelles énumérées ci-dessus. Les seuils utilisés pour qualifier les débits et les niveaux d'eau associés sont calculés à partir des données historiques et peuvent prendre la forme de quartiles de la distribution statistique ou encore de débits/niveaux correspondant à des périodes de récurrence de crue et d'étiage (par exemple aux 20 ans ou aux 100 ans). Par conséquent, cet indicateur permet une évaluation plus exhaustive de la situation.

périodes prolongées de faible hydraulicité, le niveau des Grands Lacs devient très bas, de sorte qu'il est très difficile de combler le manque d'eau en aval sans aggraver une situation déjà problématique en amont. L'équivalent est aussi vrai pour la prévention des inondations lors d'épisodes de forts débits dans le système.

Perspectives

Si l'on cherche à prédire le régime d'écoulement du fleuve Saint-Laurent à long terme, on pourrait s'attendre à une remontée des débits — et niveaux associés — au cours de la prochaine décennie, en se fondant sur les variations des débits illustrées aux figures 3 et 4. En effet, des périodes de faibles et de forts débits se succèdent régulièrement.

Toutefois, selon un groupe d'experts internationaux, le climat s'est réchauffé de 0,7 °C au cours du dernier siècle, et les précipitations ont augmenté globalement. Les résultats de modèles numériques portant sur les changements climatiques suggèrent que le continent nord-américain subira au cours du prochain siècle un réchauffement compris entre 1 °C et 7,5 °C, suivant le scénario considéré, et les changements anticipés dans les précipitations comportent une très forte marge d'erreur.



Marina privée, Captain Neil, à Contrecoeur dans le tronçon fluvial

Photo : J.-F. Bibeault, Centre Saint-Laurent

Dans cette optique, l'application de modèles numériques simulant l'impact des températures plus élevées sur l'évaporation des Grands Lacs — source principale du fleuve Saint-Laurent — conduit à prévoir une baisse des niveaux et débits dans presque tous les scénarios de changements climatiques considérés. Cette baisse serait amplifiée ou réduite en fonction des précipitations, mais il semble raisonnable de s'attendre à une baisse dans les apports en eau au fleuve.

Par conséquent, il est extrêmement difficile de prévoir l'état hydraulique auquel sera soumis le fleuve dans quelques décennies. La variation temporelle des débits — et des niveaux associés

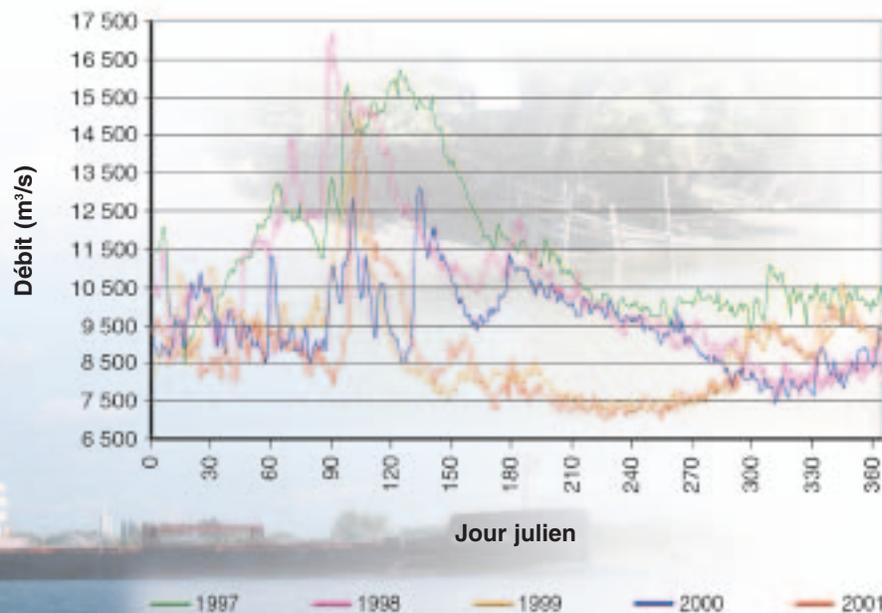
— laisse entrevoir une remontée des débits, mais les scénarios de changements climatiques anticipent, dans presque tous les cas, une baisse du débit sortant des Grands Lacs au cours du prochain siècle.

Des fluctuations saisonnières sont apparentes au sein de la série temporelle des débits du fleuve Saint-Laurent. Le débit s'écoulant dans le fleuve est le résultat d'un ensemble de facteurs, dont le plus important est la quantité de précipitations que reçoit le système Grand Lacs–Saint-Laurent. Il demeure difficile de prévoir l'hydraulicité du fleuve dans un horizon de quelques mois, sachant par ailleurs que d'autres facteurs comme l'évaporation, la saturation du

sol, le couvert neigeux et la régularisation des Grands Lacs et du Saint-Laurent influencent l'évolution des débits et des niveaux au cours d'une même année.

La variation interannuelle, saisonnière ou mensuelle s'illustre facilement par l'analyse du débit du fleuve au cours des dernières années. La figure 6 permet de constater, par exemple, que les années 1999 et 2001 se ressemblent beaucoup (années de faible hydraulicité), alors que les années 1997 et 1998 enregistrent de plus forts débits. L'année 2000 est particulière: la crue a été très faible, avec un deuxième pic tardif, puis un reste de saison qui s'apparente à celui de 1998.

Figure 6. Patron annuel du débit du fleuve Saint-Laurent à Sorel de 1997 à 2001



Berge naturelle exposée au chenal maritime à l'île aux Bœufs dans les îles de Verchères

Pour en savoir plus

BOUCHARD, A. et J. MORIN. 2000. *Reconstitution des débits du fleuve Saint-Laurent entre 1932 et 1998*. Environnement Canada, Service météorologique du Canada, Section Hydrologie. Rapport technique RT-101.

INTERNATIONAL ST. LAWRENCE RIVER BOARD OF CONTROL. 1958. *Regulation of Lake Ontario: Plan 1958-A*. Report to the International Joint Commission. Volume 2, Appendix A.

MC CARTHY, J. J. 2001. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK. ISBN 0 521 80768 9.

MORIN, J. et A. BOUCHARD. 2000. *Les bases de la modélisation du tronçon Montréal-Trois-Rivières*. Environnement Canada, Service météorologique du Canada, Section Hydrologie, Sainte-Foy. Rapport scientifique RS-102, ISBN 0-662-85363-6, 55 p.

Info-niveaux (Environnement Canada) :
<http://www.on.ec.gc.ca/water/level-news/>

Ministère de l'Environnement du Québec :
<http://www.menv.gouv.qc.ca/indexA.htm>

Conseil international de contrôle du fleuve Saint-Laurent :
<http://www.islrb.org/>

Commission de régularisation de la rivière des Outaouais :
<http://www.ottawariver.ca/>

Ministère des Pêches et des Océans :
<http://www.meds-sdmm.dfo-mpo.gc.ca/>

United States Geological Survey :
<http://water.usgs.gov/>

Hydro-Québec :
<http://www.hydroquebec.com/>

New York Power Authority :
<http://www.nypa.gov/>

Voie maritime du Saint-Laurent :
<http://www.seaway.ca/francais/maritime/publications.html>

Données historiques (Hydat) :
http://www.msc-smc.ec.gc.ca/climate/hydat/index_e.cfm

Prévisions saisonnières :
http://meteo.ec.gc.ca/saisons/index_f.html
<http://www.meto.govt.uk/index.html>
<http://iri.ldeo.columbia.edu/>

Rédaction : Jean-François Cantin et André Bouchard
Service météorologique du Canada – Région
du Québec
Environnement Canada

Photo : Environnement Canada

Programme Suivi de l'état du Saint-Laurent

Quatre partenaires gouvernementaux – les ministères de l'Environnement du Canada et du Québec, la Société de la faune et des parcs du Québec et le ministère des Pêches et des Océans du Canada – mettent en commun leur expertise et leurs efforts pour rendre compte à la population de l'état et de l'évolution à long terme du Saint-Laurent. Pour ce faire, des indicateurs environnementaux ont été élaborés à partir des données recueillies dans le

cadre des activités de suivi environnemental que chaque organisation poursuit au fil des ans. Ces activités touchent les principales composantes de l'environnement que sont l'eau (qualité et quantité), les sédiments, les ressources biologiques (diversité et condition des espèces), les usages et éventuellement les rives.

Pour obtenir d'autres exemplaires ou la collection complète des fiches,

veuillez vous adresser au Bureau de coordination de Saint-Laurent Vision 2000 :

1141, route de l'Église
C.P. 10 100
Sainte-Foy (Québec) G1V 4H5
Tél. : (418) 648-3444

Vous pouvez également obtenir les fiches et de l'information complémentaire sur le Programme en visitant le site Internet : www.slv2000.qc.ca.

Publié avec l'autorisation du ministre de l'Environnement
© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2002
Publié avec l'autorisation du ministre d'État aux Affaires municipales
et à la Métropole, à l'Environnement et à l'Eau du Québec
© Gouvernement du Québec, 2002
N° de catalogue : En 4-23/2002F
ISBN 0-662-88171-0
Enviroduq : ENV/2002/0348
Dépôt légal – Bibliothèque nationale du Canada, 2002
Also available in English under the title: *Changes in Water Level and Flow in the St. Lawrence River*