

# Impacts des changements environnementaux sur les tributaires du Saint-Laurent



**Auteur :** André G. Roy, *M.A. et Ph.D. Géographie, professeur titulaire*  
*Chaire de recherche du Canada en dynamique fluviale, Université de*  
*Montréal, Département de géographie, Montréal*

**Collaboratrice :** Claudine Boyer, *agente de recherche*

---

Les changements climatiques auront un effet majeur sur la dynamique du fleuve Saint-Laurent et ses tributaires. La majeure partie des scénarios climatiques projettent une diminution de 20 à 40 % du débit moyen du fleuve d'ici la fin du siècle et une baisse de 0,5 à 1,0 mètre du niveau d'eau dans le corridor fluvial. Les tributaires du fleuve auront donc à s'ajuster à ces changements dans leur niveau de base, mais ils verront aussi leur régime hydrologique se modifier substantiellement en réponse aux changements globaux du climat. Les projections indiquent que la fréquence, l'ampleur, la durée et la séquence temporelle des débits seront changées. Les débits hivernaux et printaniers des tributaires seront particulièrement touchés par les modifications du climat. Le but de cet exposé est de rapporter les résultats de deux projets sur les effets cumulés des changements dans le niveau du fleuve et des régimes hydrologiques sur les tributaires du Saint-Laurent.

Notre étude a porté sur cinq tributaires : la Batiscan, le Saint-Maurice et la Yamachiche sur la rive nord et la Saint-François et le Richelieu sur la rive sud. Ces tributaires représentent bien la diversité des environnements fluviaux que l'on retrouve dans la vallée du Saint-Laurent. Dans cet exposé, nous présenterons des résultats sur : 1) les effets des changements climatiques sur le régime hydrologique des tributaires; 2) les simulations des impacts des changements de niveau du fleuve et du régime hydrologique sur le profil en long des tributaires et sur les apports sédimentaires au fleuve; 3) le rôle des processus hivernaux sur la dynamique des cours d'eau; et 4) la stabilité des berges en réponse aux changements climatiques.

## **1) Effets des changements climatiques sur le régime hydrologique des tributaires**

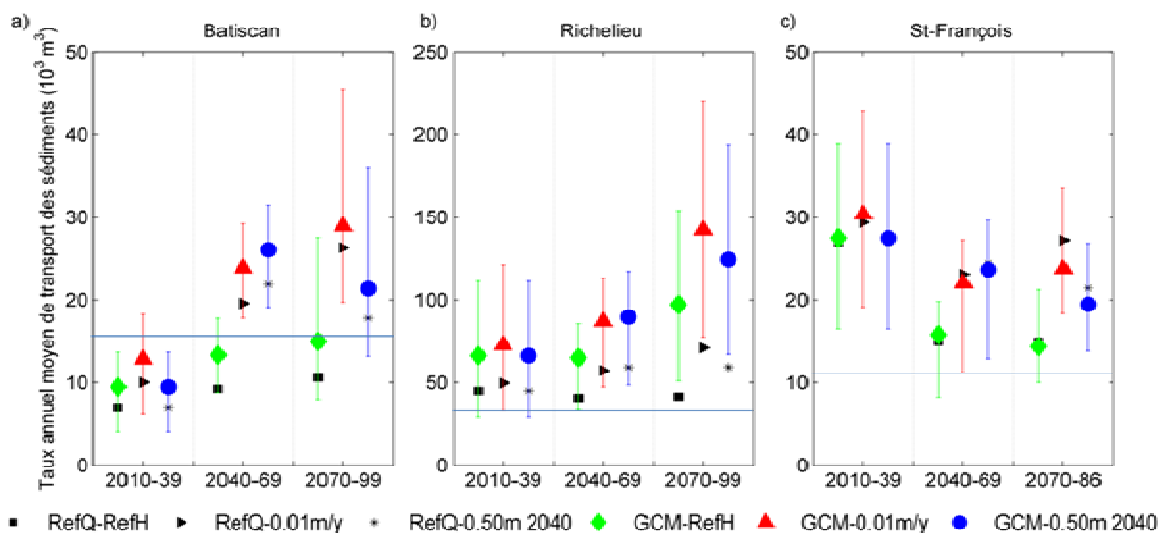
Pour cerner les effets potentiels des changements climatiques sur le régime des débits des tributaires, nous avons utilisé les simulations de trois modèles climatiques globaux (MCG) et de deux scénarios de gaz à effet de serre. Les séries temporelles de températures et de précipitations ont été générées pour trois horizons de 30 ans, à partir de 2010 jusqu'en 2099, à l'aide de la méthode des perturbations. Ces séries ont ensuite été utilisées dans le modèle hydrologique HSAMI afin de générer des débits journaliers pour chacun des horizons. Les débits mensuels moyens simulés pour ces horizons ont été comparés à ceux de la période de référence de 1961-1990. Les résultats montrent clairement que les crues printanières seront plus hâtives, comme sur le Saint-François où l'on estime que la crue sera 16 jours plus tôt à la fin de la période 2010-2039 et 31 jours à la fin du siècle. De plus, les crues hivernales sous couvert de glace ainsi que les crues qui dépassent le seuil de transport de sédiments en charge de fond seront plus fréquentes.

Pour la Saint-François, il y avait en moyenne 7 jours par année où il y a transport en charge de fond entre 1961-1990 alors que l'on prévoit qu'il y aura 16 jours à la fin de la période 2010-2039 (Boyer *et al.*, 2010a).

## 2) Effets cumulés de la baisse du niveau d'eau du fleuve et des changements dans le régime hydrologique des tributaires

Nous avons investigué la réponse des tributaires aux changements climatiques en simulant les ajustements du profil en long des tributaires, ce qui nous a aussi permis de quantifier le volume des apports sédimentaires au fleuve. Notre approche a reposé sur la modélisation du lit des rivières à l'aide du modèle SEDROUT-1D, modifié pour tenir compte des particularités des tributaires (p. ex. sédiments fins, présence d'îles). Les scénarios hydrologiques issus de la modélisation climatique ont été jumelés à deux scénarios de changements de niveau d'eau du Saint-Laurent : un changement graduel de 0,01 m par année et un changement brusque de 0,5 m en 2040.

Le changement dans les taux de transport de sédiments estimés par la modélisation est illustré pour trois tributaires à la figure 1. Ces résultats montrent des tendances différentes selon les tributaires, ce qui fait ressortir la variabilité de la réponse des tributaires aux changements climatiques. Par exemple, on prévoit que les taux de transport en sédiments augmenteront dans le temps pour le Richelieu, mais qu'ils auront tendance à diminuer pour la Saint-François. De plus, on note, dans le cas de la Saint-François, qu'il n'y a pas de différence entre la situation de référence sans changements climatiques et le résultat des simulations avec changements climatiques. Cette situation diffère nettement de l'effet des changements climatiques prévu pour la Batiscan et le Richelieu où les simulations avec les séries de référence donnent toujours des taux de transport plus faibles. Finalement, l'effet des baisses de niveau du fleuve entraîne aussi une réponse variable dans le temps et entre les tributaires. L'amplitude des changements associés à cet effet est moindre que celle due à la modification des débits sur les tributaires.



**Figure 1. Taux de transport des sédiments en fonction des trois horizons de simulation, des différents scénarios de changements de niveau d'eau du Saint-Laurent et des changements climatiques. A) Batiscan; B) Richelieu et C) Saint-François.**

### 3) Rôle des processus hivernaux

Comme l'a montré l'analyse des changements dans le régime hydrologique des tributaires du Saint-Laurent, les conditions hivernales seront grandement modifiées, notamment par l'augmentation de la fréquence de crues sous couvert de glace. L'effet de telles crues n'est pas encore documenté dans la littérature scientifique. En 2009-2010, nous avons procédé à plusieurs relevés bathymétriques du lit de la Batiscan. Un de ces relevés a eu lieu avant l'installation du couvert de glace, un autre à la suite d'une crue sous couvert de glace et un troisième au printemps à la suite de la débâcle. La comparaison de ces relevés montre clairement qu'une crue hivernale d'amplitude modérée peut avoir un effet érosif marqué sur le lit à l'embouchure de la rivière. Les changements entre la bathymétrie de l'automne et celle du printemps suivant étaient presque entièrement dus à la crue sous couvert de glace. Il s'agit d'une indication claire que les crues hivernales peuvent avoir un effet majeur sur le lit des tributaires du Saint-Laurent et entraîner des conséquences importantes sur les habitats fluviaux et riverains.

### 4) Érosion des berges et changements climatiques

Les berges des tributaires du Saint-Laurent sont sujettes à l'érosion. Nos levés de terrain sur les tronçons des rivières Batiscan et Saint-François en amont de la confluence avec le Saint-Laurent montrent que de 50 % à 60 % des berges sont affectées par des processus actifs d'érosion. De manière générale, cette érosion est soit fluviale, comme c'est souvent le cas sur la Saint-François, ou par mouvement de masse, comme on le retrouve de manière prédominante sur la Batiscan. L'apport des berges au volume sédimentaire est substantiel, notamment à l'embouchure de la Saint-François où l'on estime ce volume à 6 000 m<sup>3</sup> par année pour une boucle de méandre d'une longueur d'un kilomètre. Les effets des changements climatiques sur la stabilité des berges seront majeurs dans la mesure où le régime hydrologique des tributaires sera modifié. Une augmentation de la fréquence et de l'ampleur des débits de pointe pourrait entraîner des ajustements de la largeur des tributaires et ainsi activer les berges. De plus, la modification du régime de la nappe phréatique en bordure des rives jouera aussi un rôle sur la stabilité des sédiments. Malgré leur importance, notamment en ce qui concerne les infrastructures humaines et les habitats riverains, ces effets sont très peu documentés. En conclusion, cet exposé attire l'attention sur la nécessité d'investiguer ces processus dans un contexte de changements environnementaux afin de pouvoir envisager une gestion adéquate des tributaires.

### Références

- Boyer C., D. Chaumont, I. Chartier et A.G. Roy. (2010a). *Impact of climate change on the hydrology of Saint-Lawrence tributaries*. Journal of Hydrology, 384, 1-2, 65-83.  
doi:10.1016/j.jhydrol.2010.01.011.
- Boyer, C., P. Verhaar, A.G. Roy, P.M. Biron et J. Morin. (2010b). *Impacts of environmental changes on the hydrology and sedimentary processes at the confluence of Saint-Lawrence tributaries: Potential effects on fluvial ecosystems*. Hydrobiologia, 647 (1) 163-183. DOI10.1007/s10750-009-9927-1.

# *IMPACTS DES CHANGEMENTS ENVIRONNEMENTAUX SUR LES TRIBUTAIRES DU SAINT-LAURENT*



*André Roy et Claudine Boyer*

*Chaire de recherche du Canada en dynamique fluviale  
Université de Montréal*

*Colloque en agroclimatologie du CRAAQ*

*9 mars 2011*

# *IMPACTS DES CHANGEMENTS ENVIRONNEMENTAUX SUR LES TRIBUTAIRES DU SAINT-LAURENT*

*Deux projets depuis 2003*

*Cadre temporel et spatial des processus d'ajustement*

*CRSNG Stratégique*

*Modélisation et développement d'outils*

*CRSNG RDC*

# IMPACTS DES CHANGEMENTS ENVIRONNEMENTAUX SUR LES TRIBUTAIRES DU SAINT-LAURENT

## ÉQUIPE

### *Chercheurs*

André G. Roy, Université de Montréal  
Claudine Boyer, Université de Montréal  
Pascale Biron, Concordia University  
Michel Lamothe, Université du Québec à Montréal  
Normand Bergeron (INRS-ETE)  
Yves Secretan (INRS-ETE)

### *Collaborateurs*

Trevor Hoey, University of Glasgow  
Rob Ferguson, University of Durham  
Steve Darby, University of Southampton

### *Étudiants (maîtrise et doctorat)*

Vitalie Bondue  
Lise Lamarche  
Patrick Verhaar  
Michèle Tremblay

### *Post-Doctorants*

Isabelle Charron  
Muluneh Admass Mekonnen  
Patrick Verhaar



Environnement  
Canada

Environnement  
Canada



UQAM





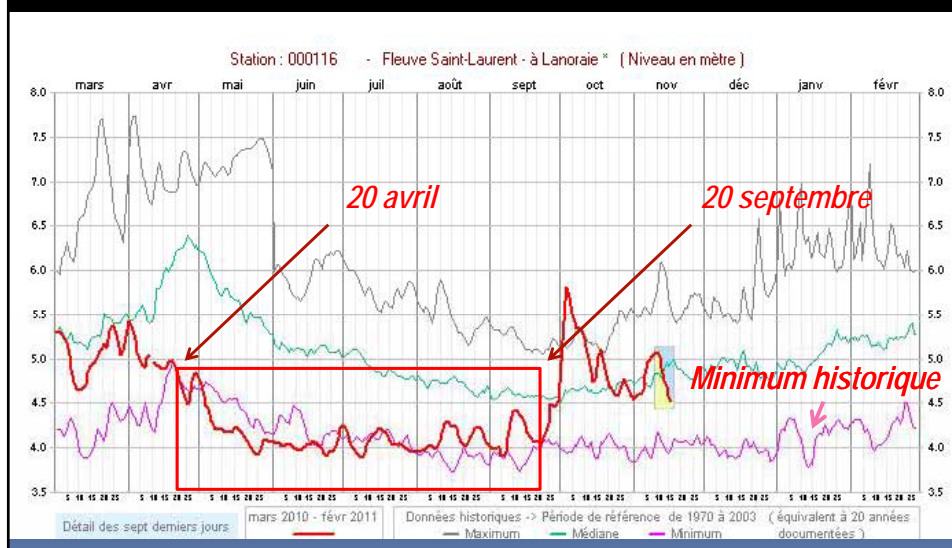
## CONTEXTE DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES POUR LES TRIBUTAIRES DU SAINT-LAURENT



CHANGEMENT DU  
NIVEAU DE BASE DES  
TRIBUTAIRES

BAISSE ANTICIPÉE DU  
NIVEAU D'EAU MOYEN DU  
FLEUVE

## Exemple de changements des niveaux d'eau du Saint-Laurent – 2010



## *Exemple de changement des niveaux d'eau du Saint-Laurent*

### *Pointe-aux-Trembles*



1994

Niveau moyen des  
30 dernières années



1999

Niveau moyen – 1 m

## *CONTEXTE DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES POUR LES TRIBUTAIRES DU SAINT-LAURENT*



### **RÉPONSE DU RÉGIME HYDROLOGIQUE DES TRIBUTAIRES**

CHANGEMENTS DANS LA  
FRÉQUENCE, L'AMPLEUR,  
LA DURÉE ET LA  
SÉQUENCE TEMPORELLE  
DES DÉBITS

# *EFFETS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE RÉGIME HYDROLOGIQUE DES TRIBUTAIRES*

## SCÉNARIOS CLIMATIQUES (MÉTHODE DES PERTURBATIONS)

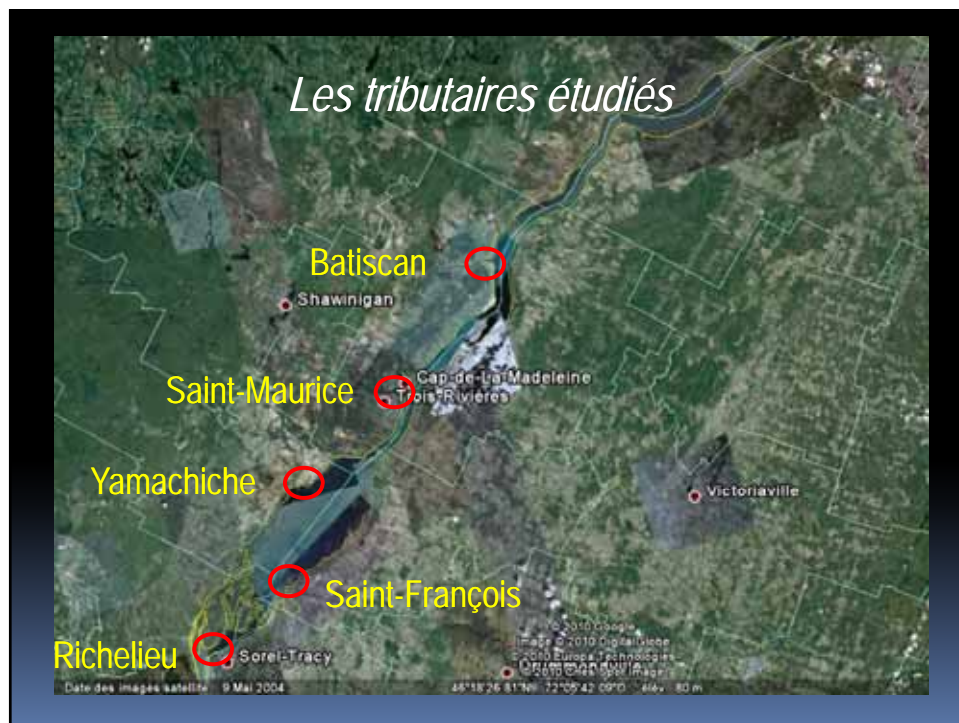
3 MCG : CSIRO-Mk2; ECHAM4; HadCM3

2 scénarios : A2 et B2

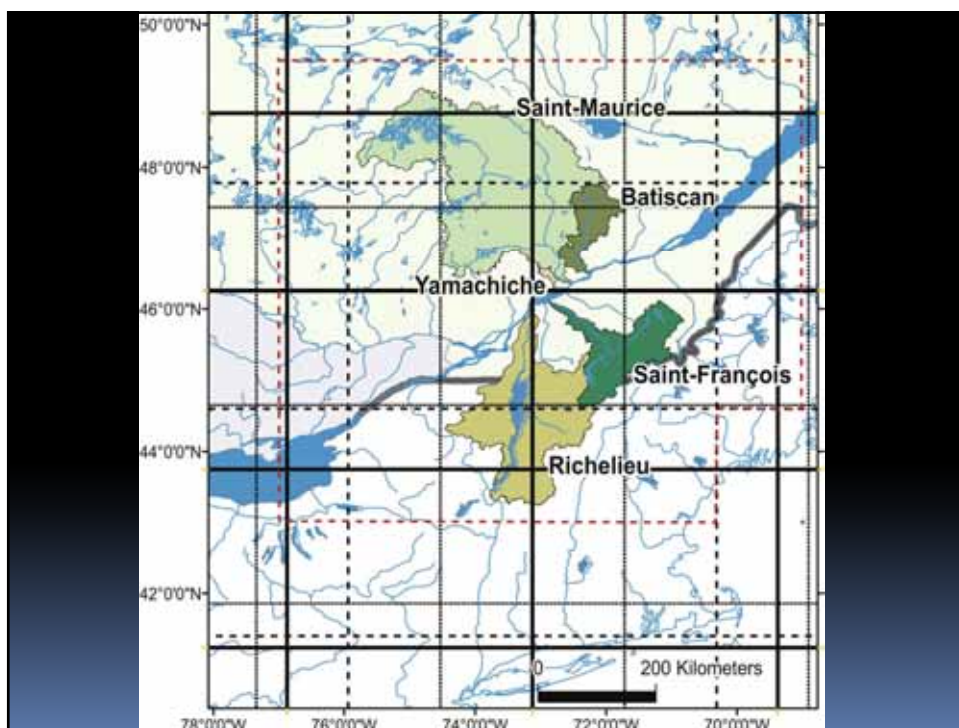
3 périodes de 30 ans (2010-2099)



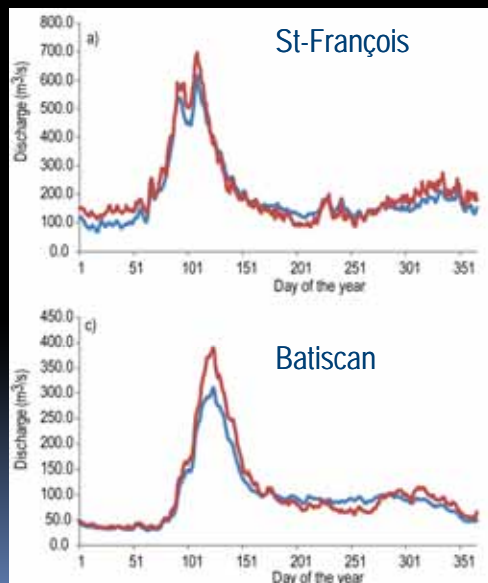
MODÈLE HYDROLOGIQUE  
HSAMI







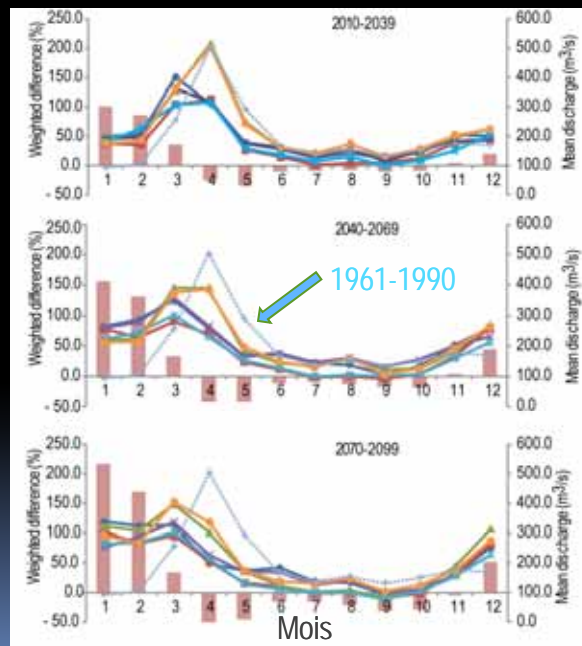
### SIMULATIONS HYDROLOGIQUES PÉRIODE DE RÉFÉRENCE (1961-1990)



— Débits observés  
— Débits simulés

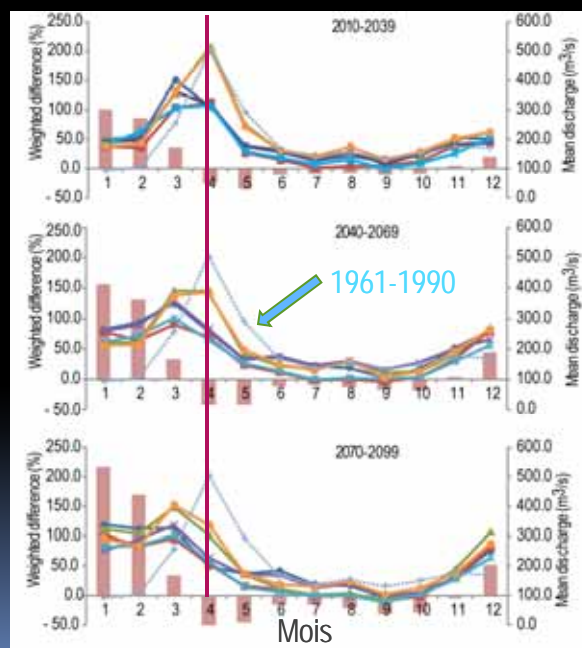
Boyer *et al.*  
(2010a)

# Saint-François



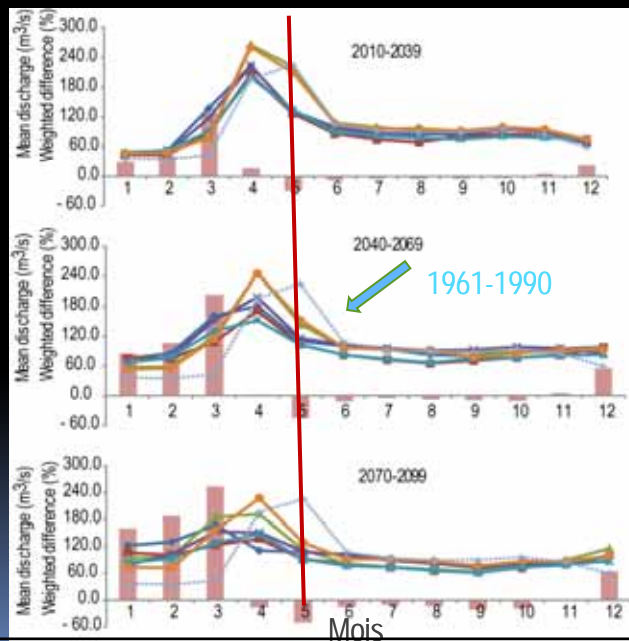
Boyer et al  
(2010a)

# Saint-François



Boyer et al  
(2010a)

## Batiscan



Boyer et al  
(2010a)

## CHANGEMENTS ANTICIPÉS DANS LE RÉGIME HYDROLOGIQUE

### Crues printanières : plus hâtives

Saint-François

Estimation : 16 jours fin de la période 2010-2039; 31 jours fin 2099

Batiscan

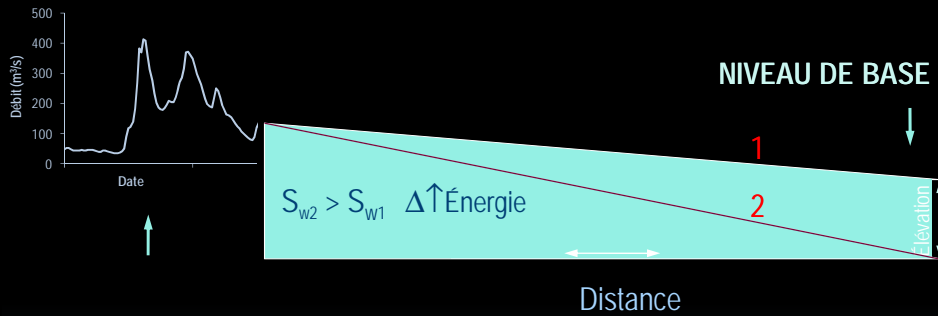
13 jours fin de la période 2010- 2039; 34 jours fin 2099

### Crues hivernales : plus fréquentes

### Crues dépassant le seuil de transport de sédiments : plus fréquentes

Saint-François : 7 jours en 1960-1990; 16 jours fin de la période 2010-2039

## DÉBIT + NIVEAU DE BASE $\Rightarrow$ ÉNERGIE DE LA RIVIÈRE



### HYDROLOGIE DE LA RIVIÈRE

Débits contrôlent l'ajustement morphologique des cours d'eau  
(largeur, profondeur, pente, rugosité et sinuosité du chenal)  
+ changement du niveau de base

## DIVERSITÉ DES TRIBUTAIRES DU SAINT-LAURENT



- Caractéristiques
- Stabilité du lit et des berges
- Dynamique de la rivière
- Dynamique de la confluence



### VARIÉTÉ DES RÉPONSES

## RÉPONSE DES TRIBUTAIRES DU SAINT-LAURENT AUX CHANGEMENTS ENVIRONNEMENTAUX

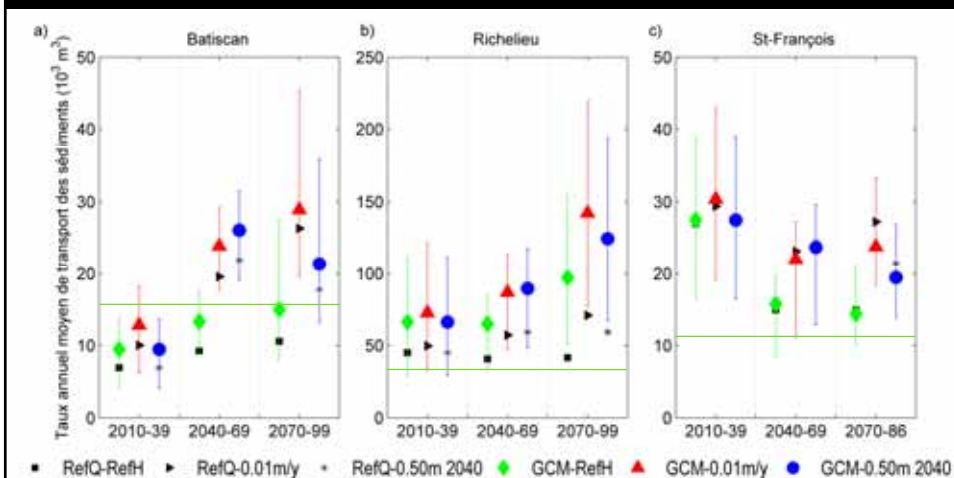
- Simulation des ajustements du lit des tributaires
- Quantification du volume des apports sédimentaires

Modélisation du lit de la rivière 1D (modèle SEDROUT modifié)

Scénarios hydrologiques (3 GCM et trois périodes de 30 ans 2010-2099)

Deux scénarios de changements de niveau d'eau du Saint-Laurent (graduel et brusque)

### Volume des apports sédimentaires selon les scénarios futurs

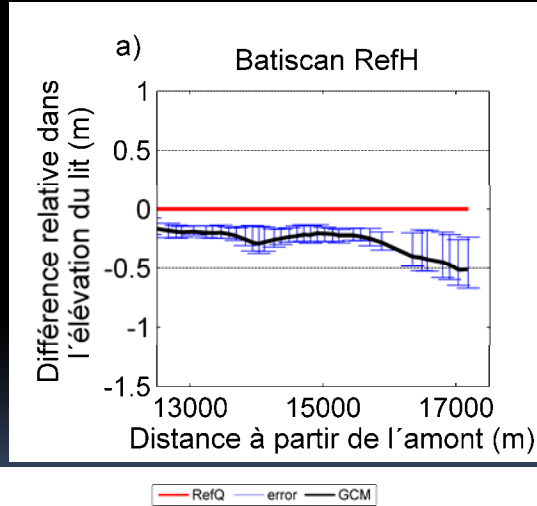


Δ↑ volume annuel moyen des apports 28 % (Saint-François) à 530 % (Richelieu)

Boyer *et al.* (2010b)



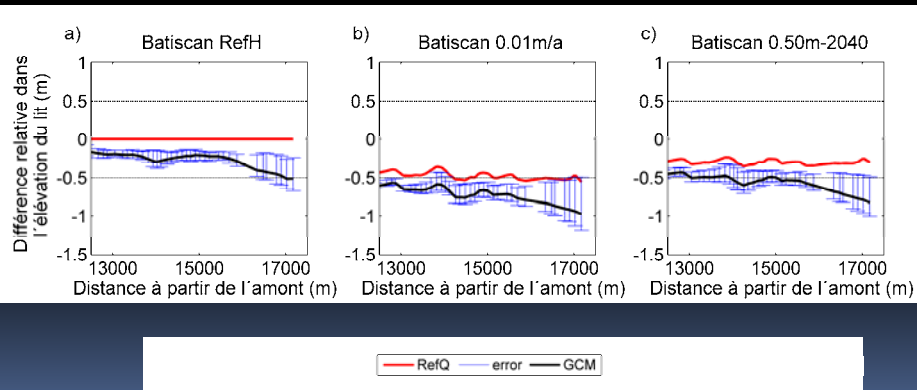
*Modification du profil en long des rivières selon les scénarios futurs  
à la fin de la troisième période – sans changer le niveau de base*



Boyer et al (2010b)

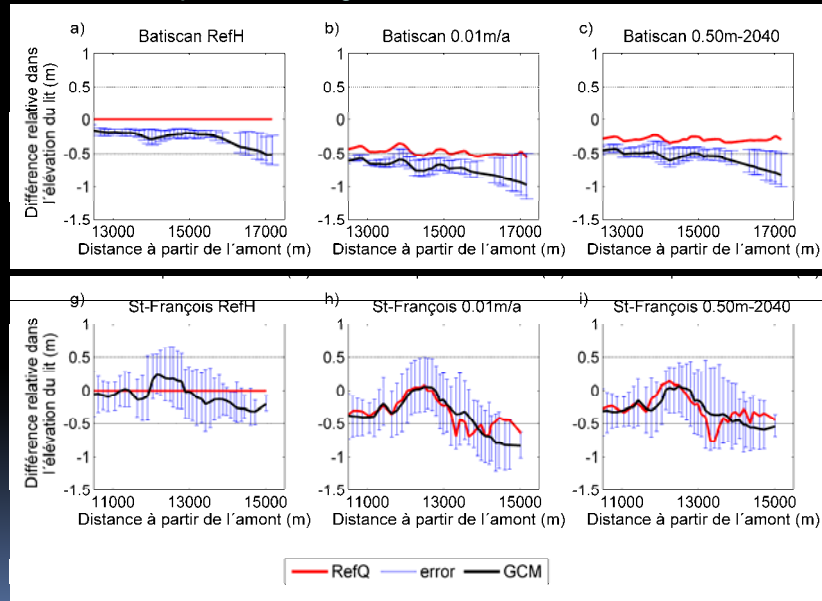
*Modification du profil en long des rivières selon les scénarios futurs*

Référence      Baisse graduelle      Baisse brusque 2040



Boyer et al (2010b)

## *Modification du profil en long des rivières selon les scénarios futurs*



Boyer et al (2010b)

## *EFFETS DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES PROCESSUS FLUVIAUX À INCLURE*

### Processus hivernaux

Contribution des berges à la dynamique sédimentaire

Distribution spatiale des sédiments  
dans la rivière et à l'embouchure (Modèle 2D)

Impacts sur les milieux riverains et les milieux humides à  
l'embouchure des tributaires

*EFFETS DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES  
PROCESSUS FLUVIAUX À INCLURE*

Processus hivernaux

Contribution des berges à la dynamique sédimentaire

Distribution spatiale des sédiments  
dans la rivière et à l'embouchure (Modèle 2D)

Impacts sur les milieux riverains et les milieux humides à  
l'embouchure des tributaires

*PROCESSUS HIVERNAUX  
TRANSPORT DES SÉDIMENTS SOUS COUVERT DE GLACE*



## *TRANSPORT DES SÉDIMENTS SOUS COUVERT DE GLACE*

Estimation du bilan sédimentaire au cours de la période hivernale  
⇒ changement morphologique

Utilisation du Géoradar (GPR)



## *TRANSPORT DES SÉDIMENTS SOUS COUVERT DE GLACE*

**Batiscan** (20-25 transects)  
22-23 février 2009

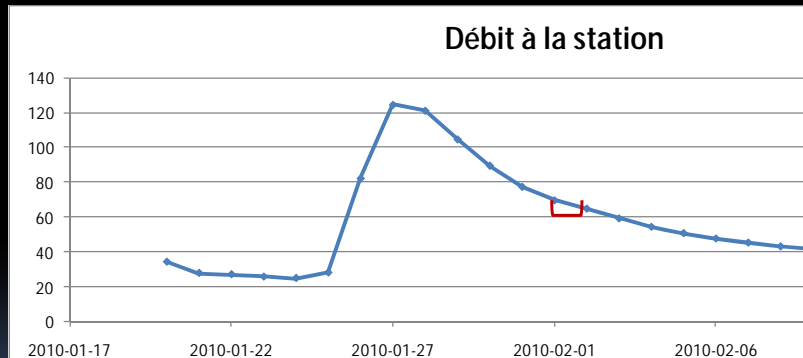


2-3 février 2010

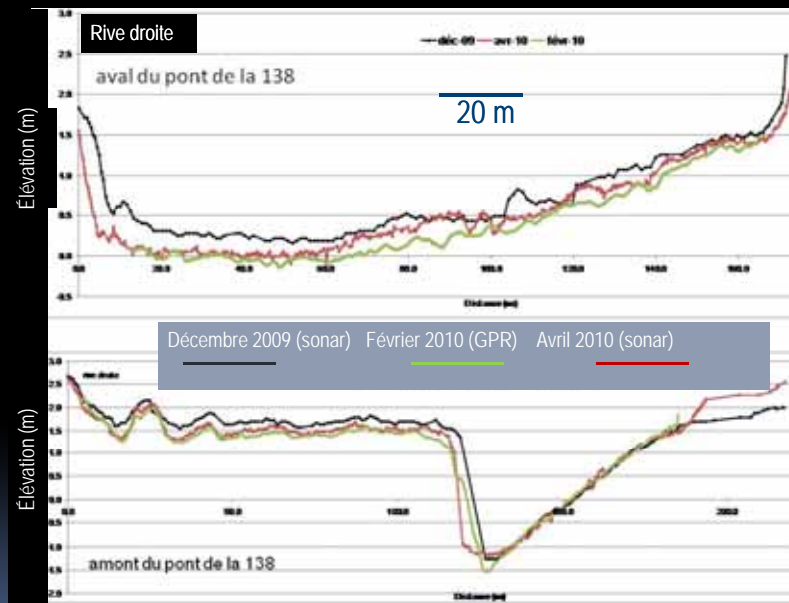


## TRANSPORT DES SÉDIMENTS SOUS COUVERT DE GLACE

Débit max : 121 m<sup>3</sup>/s



Débit à la station amont  
20 janvier 2010 au 9 février 2010



Érosion importante à ces transects :  
= Hivernale ≠ Printanière



## *DYNAMIQUE DES BERGES*

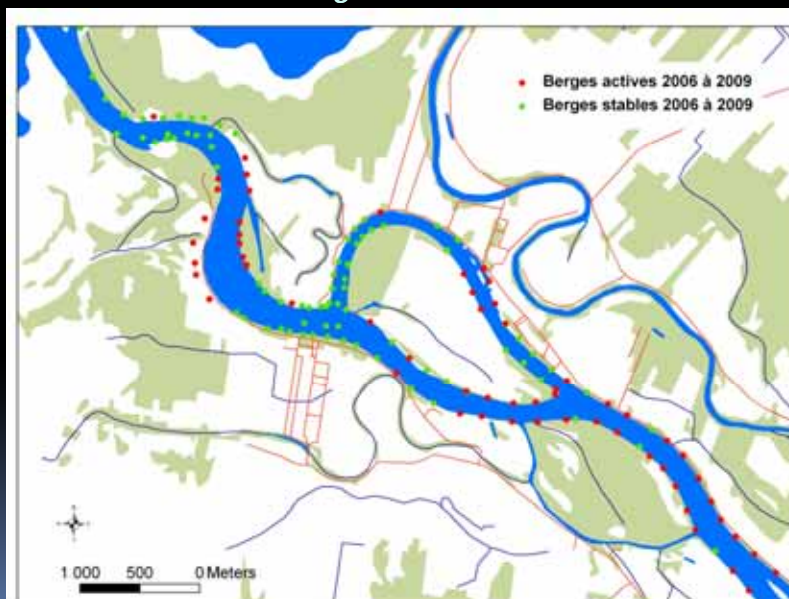


Milieu sableux



Milieu mixte (sable et argile)

## *Stabilité des berges rivière Saint-François*



## Stabilité des berges rivière Saint-François

Processus actifs de 2006 à 2009

Zone active = 2/3 de la longueur totale de la section d'étude (chenal principal)  
 ⇒  
 Érosion fluviale domine (avec action des vagues)

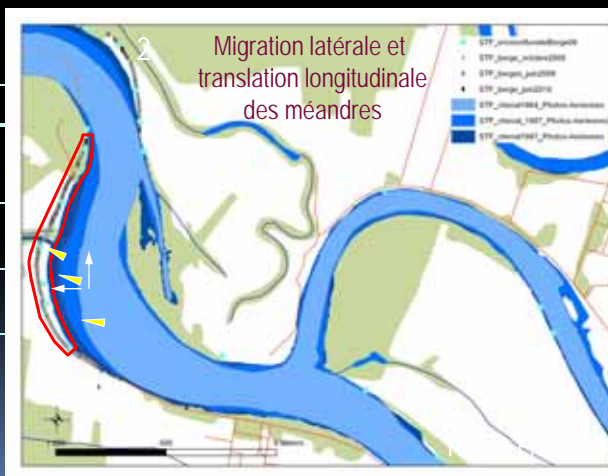


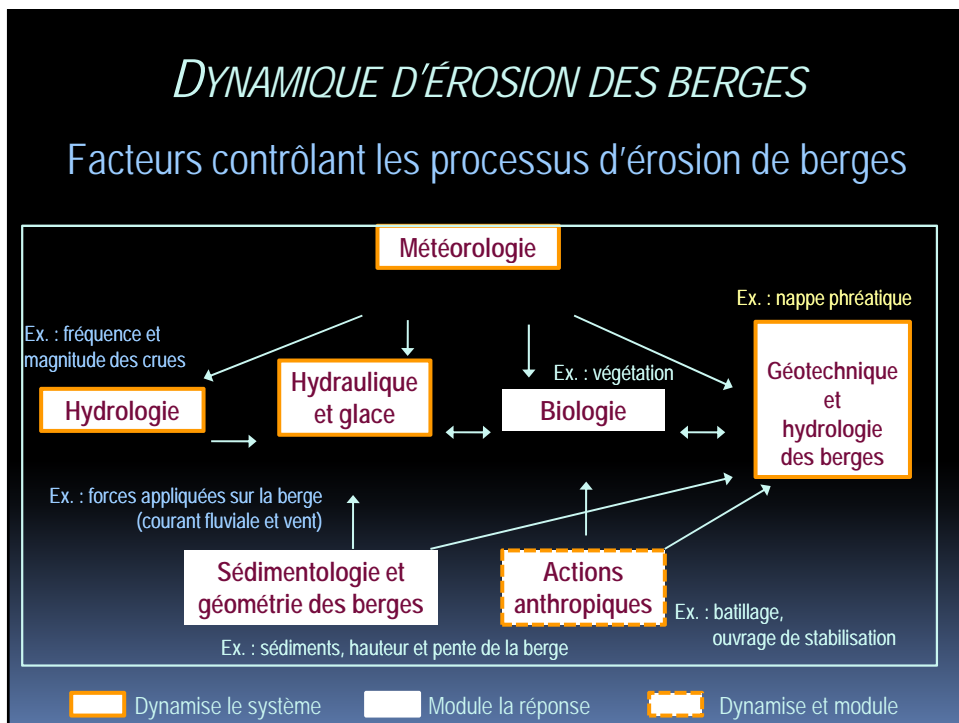
## CONTRIBUTION SÉDIMENTAIRE DES BERGES

Évolution d'un tronçon de la section d'étude 1964-2008

Taux moyen de recul annuel (m/an)		
	1964 – 1997	1997 – 2008
berge externe méandre 1	2.27	3.01
berge externe méandre 2	0.28	2.38

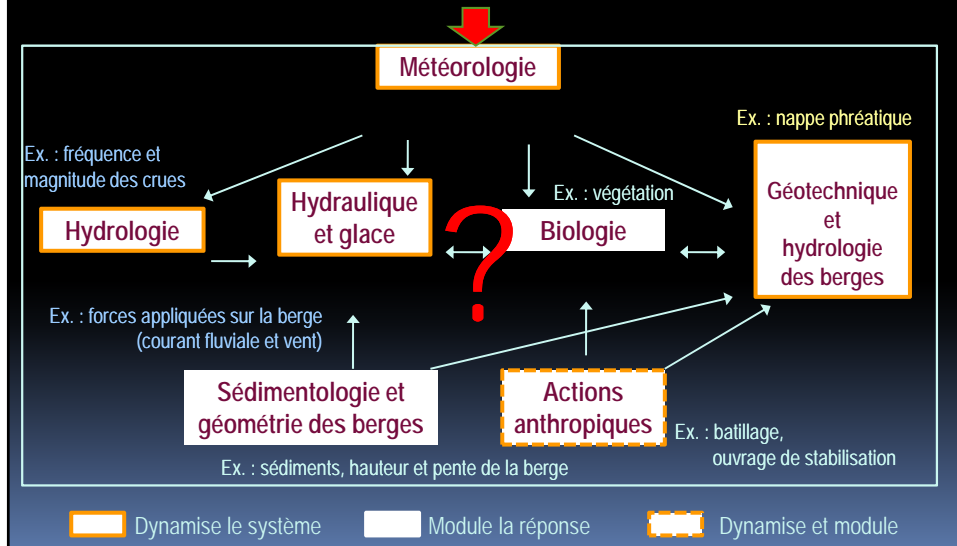
Volume estimé des apports :  
 6 000 m<sup>3</sup>/an





# DYNAMIQUE D'ÉROSION DES BERGES

## EFFETS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES



# DYNAMIQUE D'ÉROSION DES BERGES

## CHANGEMENT DU RÉGIME HYDROLOGIQUE



Rivière Saint-François aval  
Crue fin septembre – début octobre 2010  
Faible niveau d'eau dans le fleuve

## *Conclusions*

- ✓ *Effet majeur des changements climatiques sur les tributaires du Saint-Laurent et sur le Saint-Laurent notamment en ce qui concerne les débits et les apports sédimentaires*
- ✓ *Réponse variable et complexe des tributaires*
- ✓ *Processus à documenter et à intégrer : dynamique hivernale, la réponse des berges et la connexion des tributaires au fleuve*

## *Conséquences de ces changements*

*Écosystèmes fluviaux et riverains (instabilité)*

*Habitats et la biodiversité*

*Infrastructures*

*Activités économiques*

*Etc.*





