



Gestion des eaux et changements climatiques

Richard Turcotte et Jean-François Cyr
Centre d'expertise hydrique du Québec

- Contexte
 - Consortium Ouranos
 - Rôle du CEHQ dans Ouranos
 - Plan d'Action sur les Changements Climatiques (PACC)
- Grands concepts en changements climatiques et ressources en eau
- Programme « Ressources Hydriques » d'Ouranos
- Projets de connaissance de fond sur les impacts des changements climatiques
- Projets d'adaptation
- Exemples détaillés de projets réalisés au CEHQ
- Conclusion

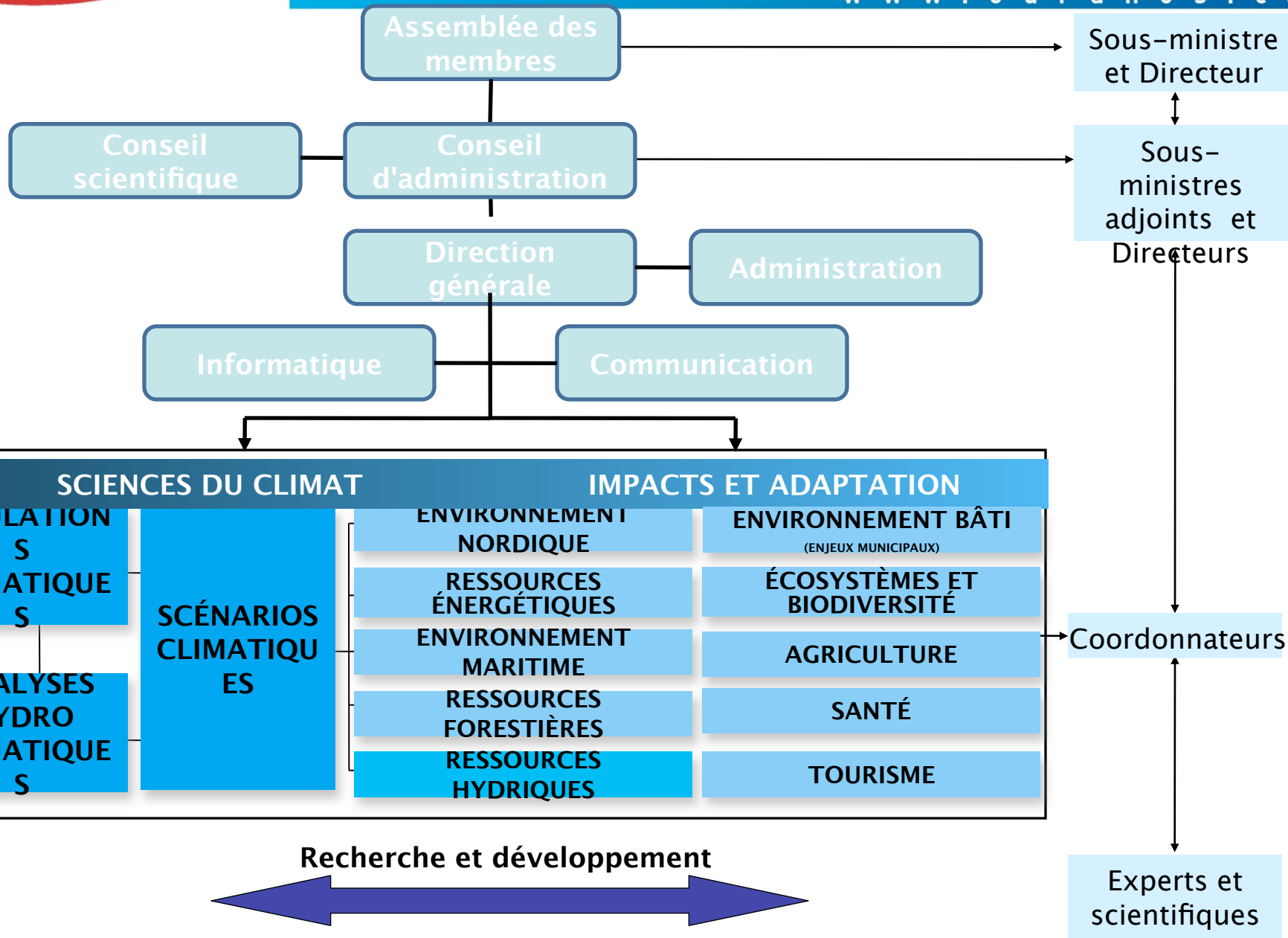
- **Contexte**
 - Consortium Ouranos
 - Rôle du CEHQ dans Ouranos
 - Plan d'Action sur les Changements Climatiques (PACC)
- Grands concepts en changements climatiques et ressources en eau
- Programme « Ressources Hydriques » d'Ouranos
- Projets de connaissance de fond sur les impacts des changements climatiques
- Projets d'adaptation
- Exemples détaillés de projets réalisés au CEHQ
- Conclusion

Créé en 2001, Ouranos est né de la vision commune du Gouvernement du Québec, d'Hydro-Québec et d'Environnement Canada.

La mission

Acquérir et développer des connaissances sur les changements climatiques régionaux, leurs impacts, et les vulnérabilités socio-économiques et environnementales;

Informier et conseiller les décideurs et les usagers pour identifier, évaluer, promouvoir et mettre en œuvre des stratégies d'adaptation aux changements climatiques sur les plans locaux et régionaux.



Contexte

Plan d'action sur les changements climatiques

Mesures 25a et 26

Actions en adaptation

- 21. Instaurer des mécanismes qui permettront de prévenir et d'atténuer les impacts
- 22. Consolider les réseaux de surveillance du climat, des ressources hydriques, et des écosystèmes
- 23. Réaliser diverses évaluations et recherches reliées aux impacts et à l'adaptation et des problématiques d'érosion côtière
- 24. Déterminer la vulnérabilité des forêts québécoises et du secteur forestier au changement climatique
- 25. Renforcer les modes de gestion de l'eau et de la qualité de l'air
- 26. Soutenir la programmation du consortium Ouranos

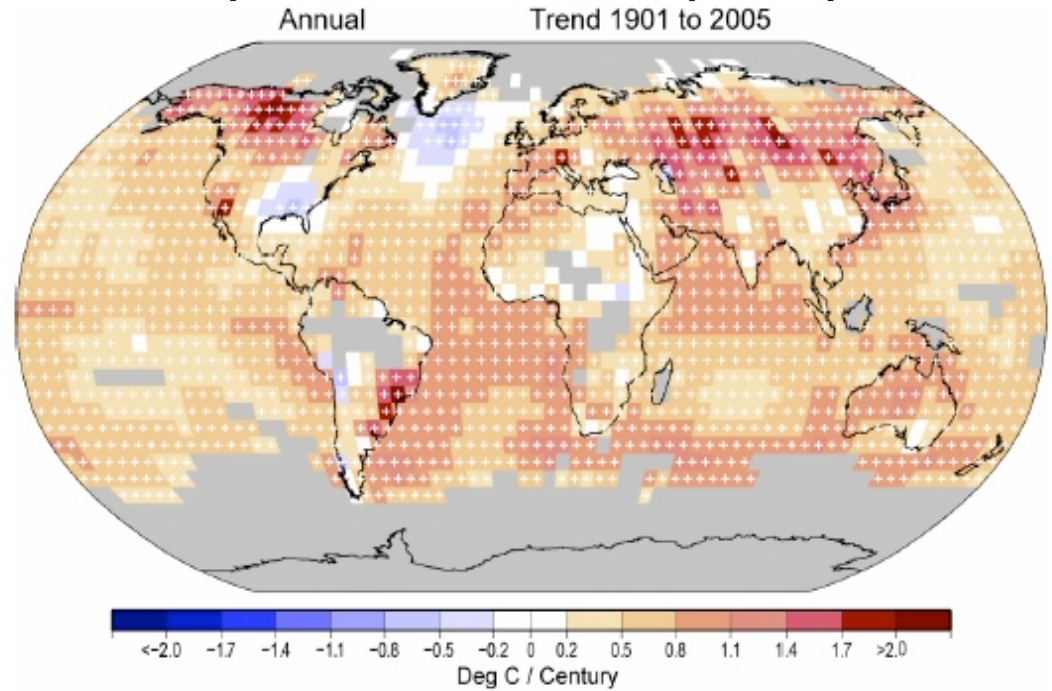


- Contexte
 - Consortium Ouranos
 - Rôle du CEHQ dans Ouranos
 - Plan d'Action sur les Changements Climatiques (PACC)
- **Grands concepts en changements climatiques et ressources en eau**
- Programme « Ressources Hydriques » d'Ouranos
- Projets de connaissance de fond sur les impacts des changements climatiques
- Projets d'adaptation
- Exemples détaillés de projets réalisés au CEHQ
- Conclusion

Tendances historiques dans les températures et les précipitations

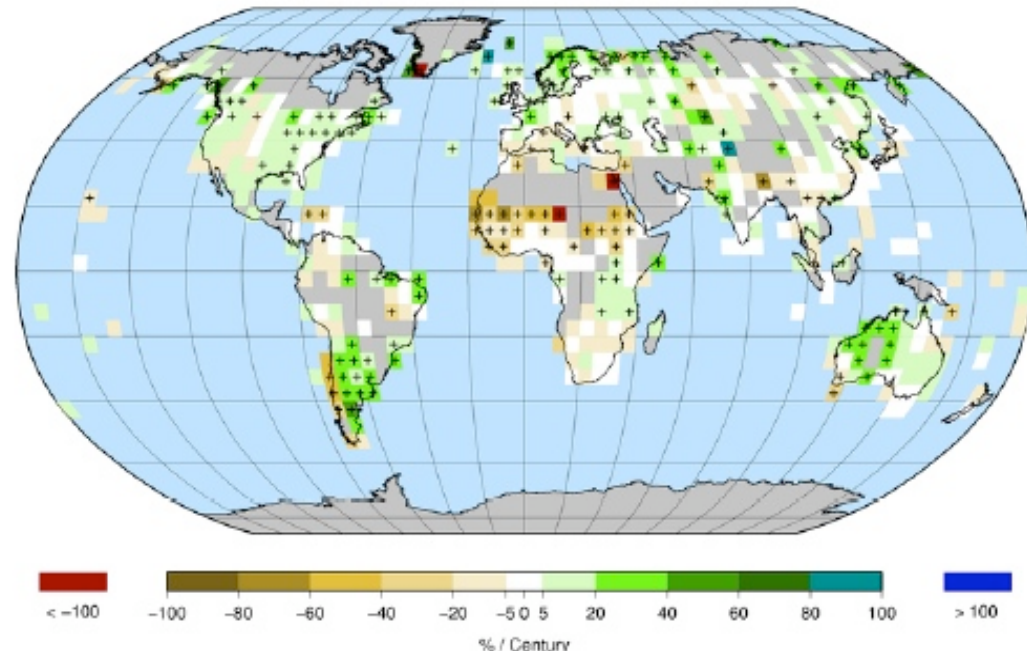
Observations des tendances des températures (GIEC, 2007)

Le climat change: le réchauffement est significatif d'un point de vue statistique (+)



Observation des tendances des précipitations (GIEC, 2007)

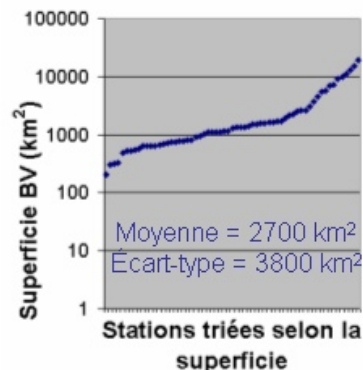
Le réchauffement global modifie le cycle de l'eau



Observations récentes des débits au Québec

15 années récentes (1993-2007) vs 15 années antérieures (1978-1992)

Indicateur (I)	Période	Variation de P1 (1978-1992) à P2 (1993-2007)*	Signification statistique à 1%
Maximum journalier de crue	Été et automne	+ 20% ¹	oui
Maximum journalier de crue	Printemps	- 8 % ¹	oui
Variation journalière du débit	Printemps, été et automne	+ 22% ¹	oui
Étiage consécutif de 7 jours	Été et automne	- 11 % ¹	oui
Durée des étiages les plus sévères	Été et automne	+ 3 jours ²	oui
Nombre de jours en étiage	Été et automne	+ 4 jours ²	oui
Volume total	Printemps, été et automne	+ 5% ¹	non

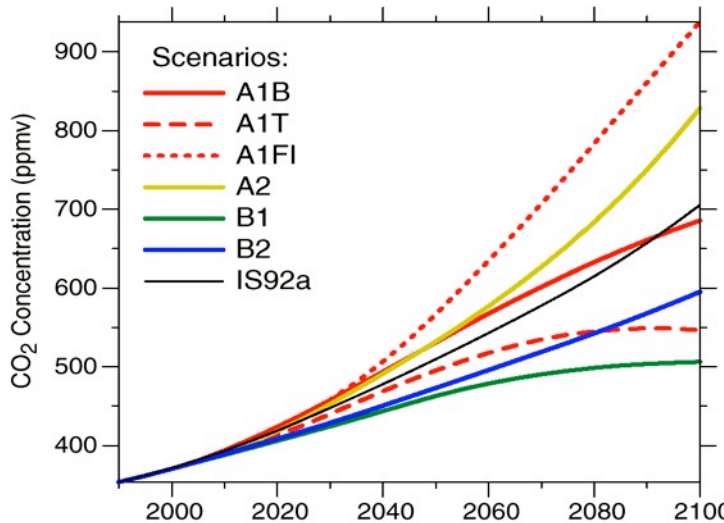


$$1: \frac{I_{P2} - I_{P1}}{I_{P1}} \quad 2: I_{P2} - I_{P1}$$

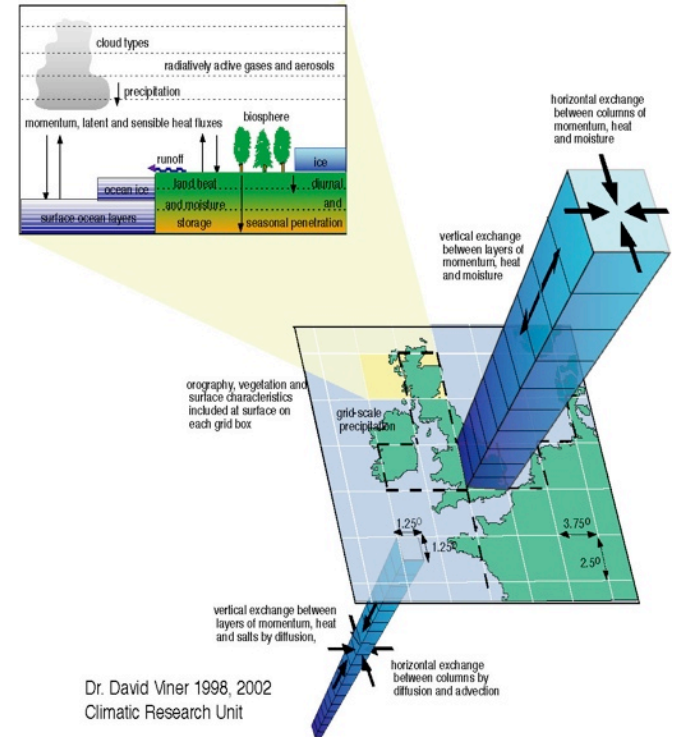
Projections climatiques

Scénarios d'émission de GES et Modèles climatiques

Scénarios d'émission de gaz à effet de serre (GES)



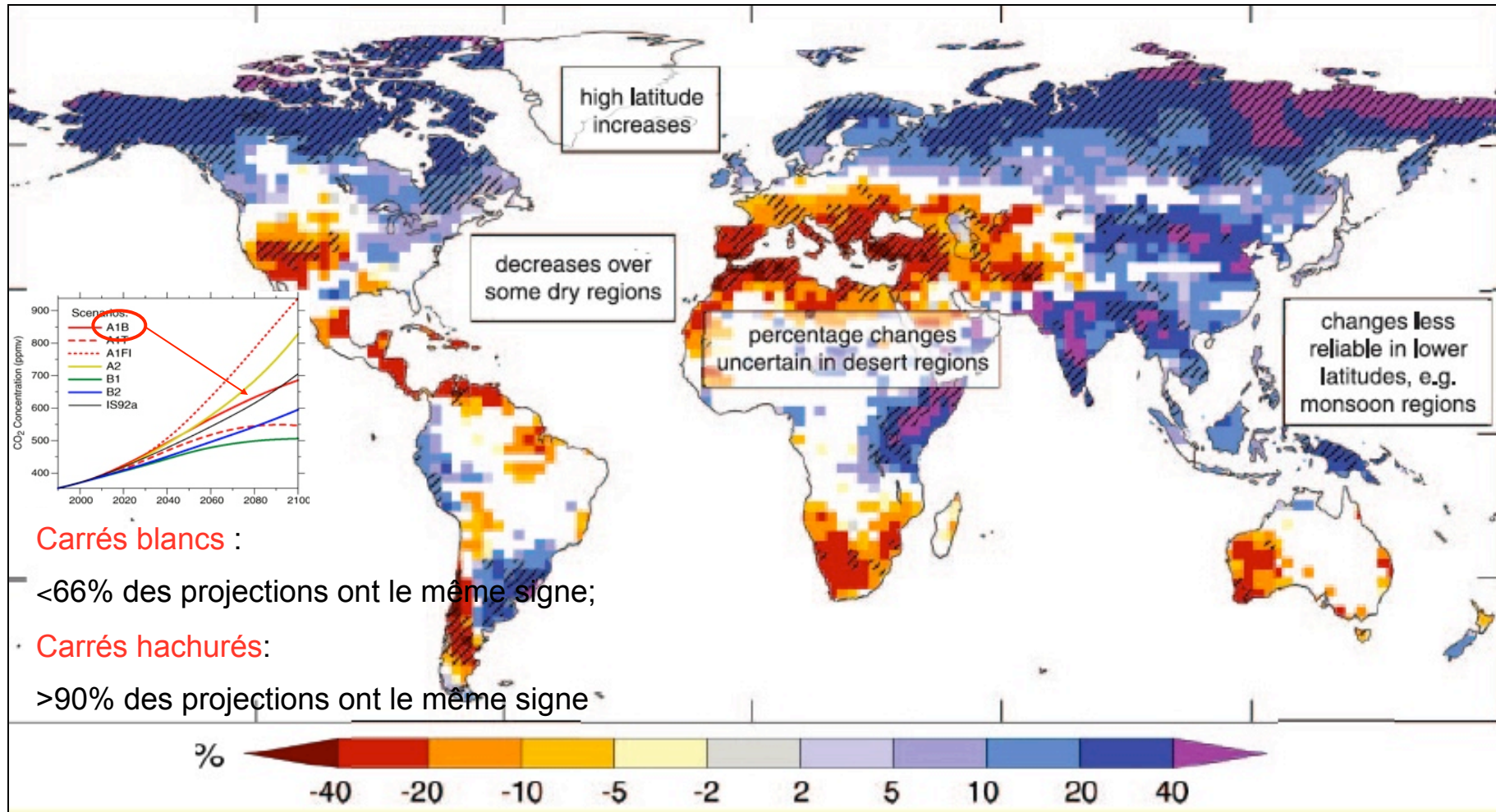
Structure et fonctionnement d'un modèle de circulation générale (MCG)



Scénarios de prospective



Changements dans les volumes annuels d'eau



Carrés blancs :

<66% des projections ont le même signe;

Carrés hachurés:

>90% des projections ont le même signe

Changements dans les écoulements (scénario A1B) à l'horizon 2100, par rapport à 1980-1999, selon 12 modèles (source IPCC, 2007).

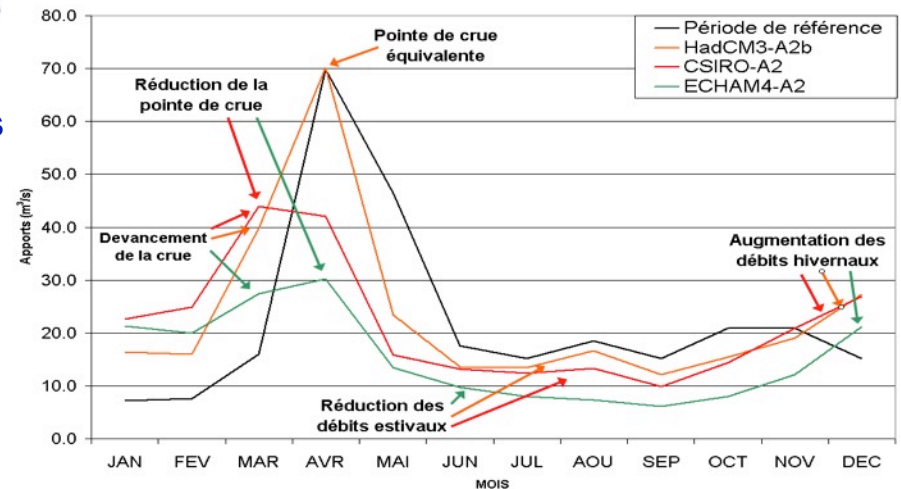
Impacts globaux pour le Québec

- Volumes annuels modifiés
 - Augmentation au Nord
 - Sud plus incertain
- Écoulements plus soutenus l'hiver
- Crues de printemps devancées
- Plus grande variabilité journalière des débits
 - Étiages estivaux plus sévères
 - Crues modifiées

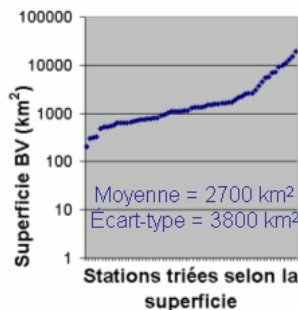


Impacts sur les débits mensuels

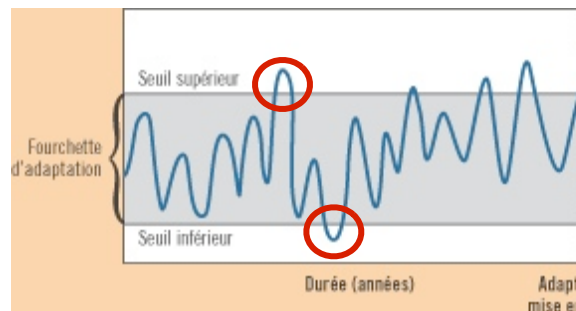
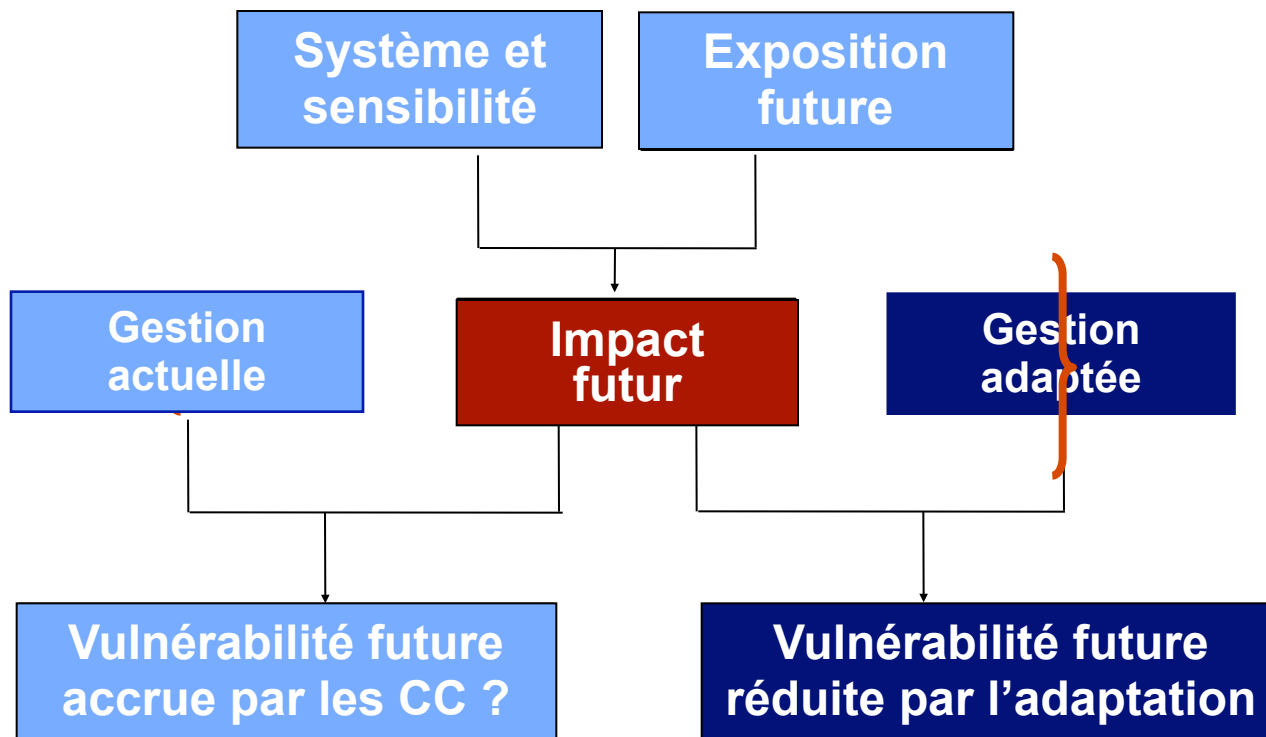
Apports moyens sur 30 ans au lac Saint-François
2041-2070 p/r 1961-1990



Dans le prolongement des tendances observées



Approche de l'adaptation fondée sur les vulnérabilités



- Contexte
 - Consortium Ouranos
 - Rôle du CEHQ dans Ouranos
 - Plan d'Action sur les Changements Climatiques (PACC)
- Grands concepts en changements climatiques et ressources en eau
- **Programme « Ressources Hydriques » d'Ouranos**
- Projets de connaissance de fond sur les impacts des changements climatiques
- Projets d'adaptation
- Exemples détaillés de projets réalisés au CEHQ
- Conclusion

RESSOURCES HYDRIQUES

**Préparer l'adaptation
de la gestion des ressources en eau
aux impacts des changements climatiques
dans les bassins versants du sud du Québec**



RESSOURCES HYDRIQUES

Objectifs

Améliorer les connaissances
sur les impacts des changements climatiques
sur les ressources hydriques et leurs usages

et

Analyser diverses options d'adaptation
en concertation avec les usagers,
dans une perspective de gestion intégrée

- Étiages d'été plus sévères
- Changements dans l'intensité et la fréquence des crues
- Devancement des crues de fonte de neige

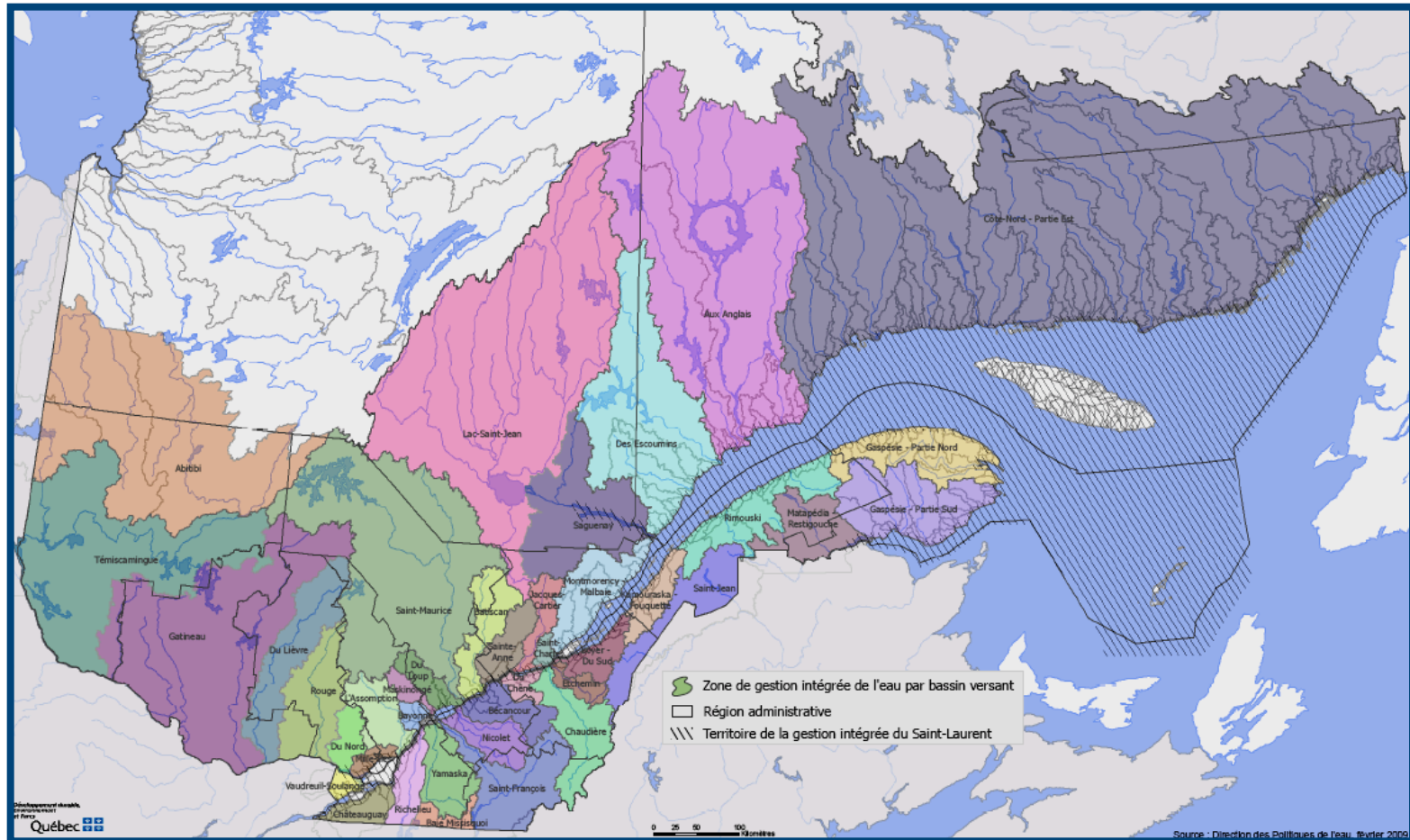
- Approvisionnement en eau
- Dilution des eaux usées
- Hydro-électricité
- Transport
- Agriculture
- Activités récréatives

- Politique de l'eau (2002)
- Entente Grands-Lacs / St-Laurent (2005)
- Loi 27 sur l'eau (2009)
- Plan Saint-Laurent



RESSOURCES HYDRIQUES

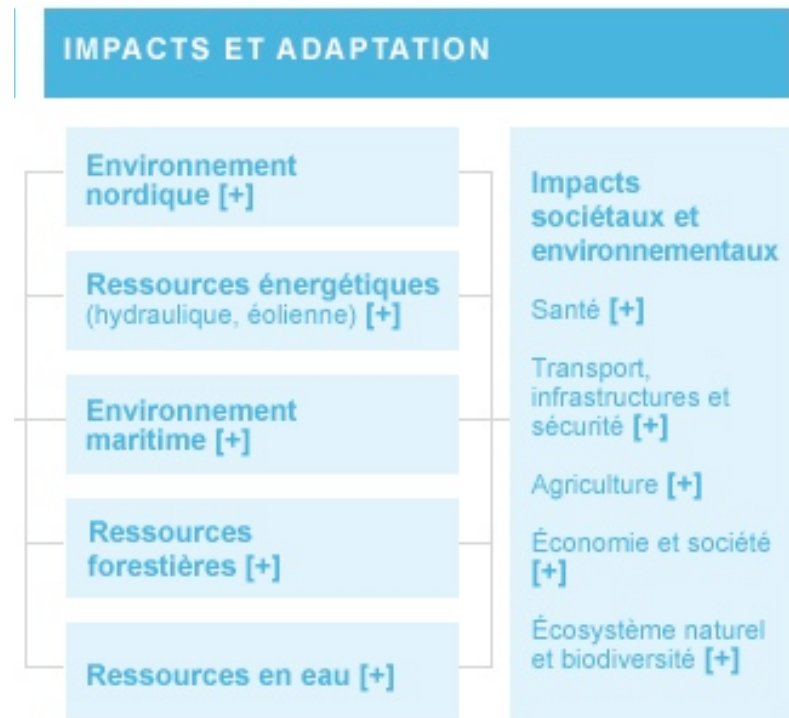
Territoire ciblé



Territoire de la GIRE par BV et GISL

Programme transversal et intégrateur

- Enjeux liés à l'eau présents dans tous les programmes I&A
- Usages multiples, conflits d'usages et gestion intégrée



RESSOURCES HYDRIQUES

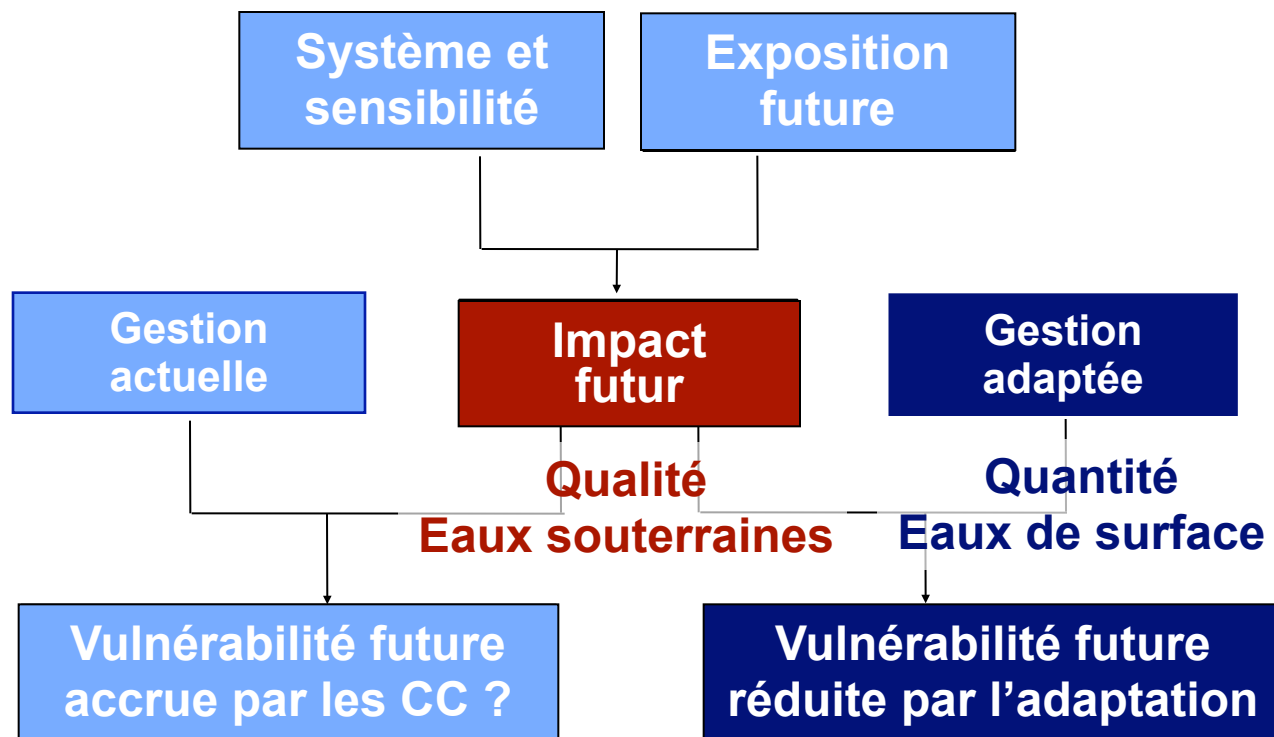
Comité de programme



Domaines d'expertise		Membre	Organisation
Domaines techniques	Eaux de surface – quantité	Paula Bergeron	MDDEP, CEHQ
	Eaux de surface – qualité	Linda Tapin	MDDEP, Suivi de l'état de l'environnement
	Eaux souterraines – quantité et qualité	Normand Boulianne	MDDEP, Direction des politiques de l'eau
	Sciences du climat	Daniel Caya	Ouranos
Approches territoriales de gestion intégrée	Gestion intégrée de l'eau par bassins versants	Jean-Paul Raîche	ROBVQ
	Gestion intégrée du Saint-Laurent	Jean-Éric Turcotte	Stratégies Saint-Laurent
Usages / enjeux liés à la ressource eau	Agriculture	Michel Carignan Myriam Renaud	MAPAQ / Ouranos
	Ressources énergétiques	René Roy	HQ / Ouranos
	Infrastructures municipales	Caroline Larrivée	MAMROT / Ouranos
	Biodiversité et écosystèmes	Robert Siron	Ouranos
	Santé	Patrick Levallois (à confirmer)	MSSS
Impacts et adaptation		Alain Bourque	Ouranos
		Nicolas Audet	Ouranos
Coordination du comité		Richard Turcotte	MDDEP, CEHQ / Ouranos
		Jean-François Cyr	MDDEP, CEHQ / Ouranos

RESSOURCES HYDRIQUES

Approche de l'adaptation fondée sur les vulnérabilités



[illegible]

Axes de recherche

Impacts

Impacts hydrologiques

Débts sur une grande partie du territoire

Impacts biophysiques

Adaptation

Options d'adaptation

Barrages à objectifs multiples

Gestion des prélèvements

Aménagement(s)

Données et outils

Mise en œuvre de l'adaptation

Impacts	Impacts hydrologiques	Débits sur une grande partie du territoire									
	Impacts biophysiques	Hydrodynamique, qualité de l'eau, sédiments et indicateurs écohydrologiques sur des bassins pilotes									
Adaptation	Options d'adaptation										
	Barrages à objectifs multiples Gestion des prélèvements Aménagement(s) Données et outils										
	Mise en œuvre de l'adaptation										

Impacts	Impacts hydrologiques	Débits sur une grande partie du territoire
	Impacts biophysiques	Hydrodynamique, qualité de l'eau, sédiments et indicateurs échohydrologiques sur des bassins pilotes
Adaptation	Options d'adaptation	Analyse de problématiques documentées mobilisant les usagers sur des bassins pilotes
	Barrages à objectifs multiples Gestion des prélèvements Aménagement(s) Données et outils	
	Mise en œuvre de l'adaptation	

PROJETS



Axes de recherche

Impacts	Impacts hydrologiques	Débits sur une grande partie du territoire
	Impacts biophysiques	Hydrodynamique, qualité de l'eau, sédiments et indicateurs écohydrologiques sur des bassins pilotes
Adaptation	Options d'adaptation	Analyse de problématiques documentées mobilisant les usagers sur des bassins pilotes
	Mise en œuvre de l'adaptation	Formation des acteurs, processus sociaux et institutionnels et barrières à l'adaptation

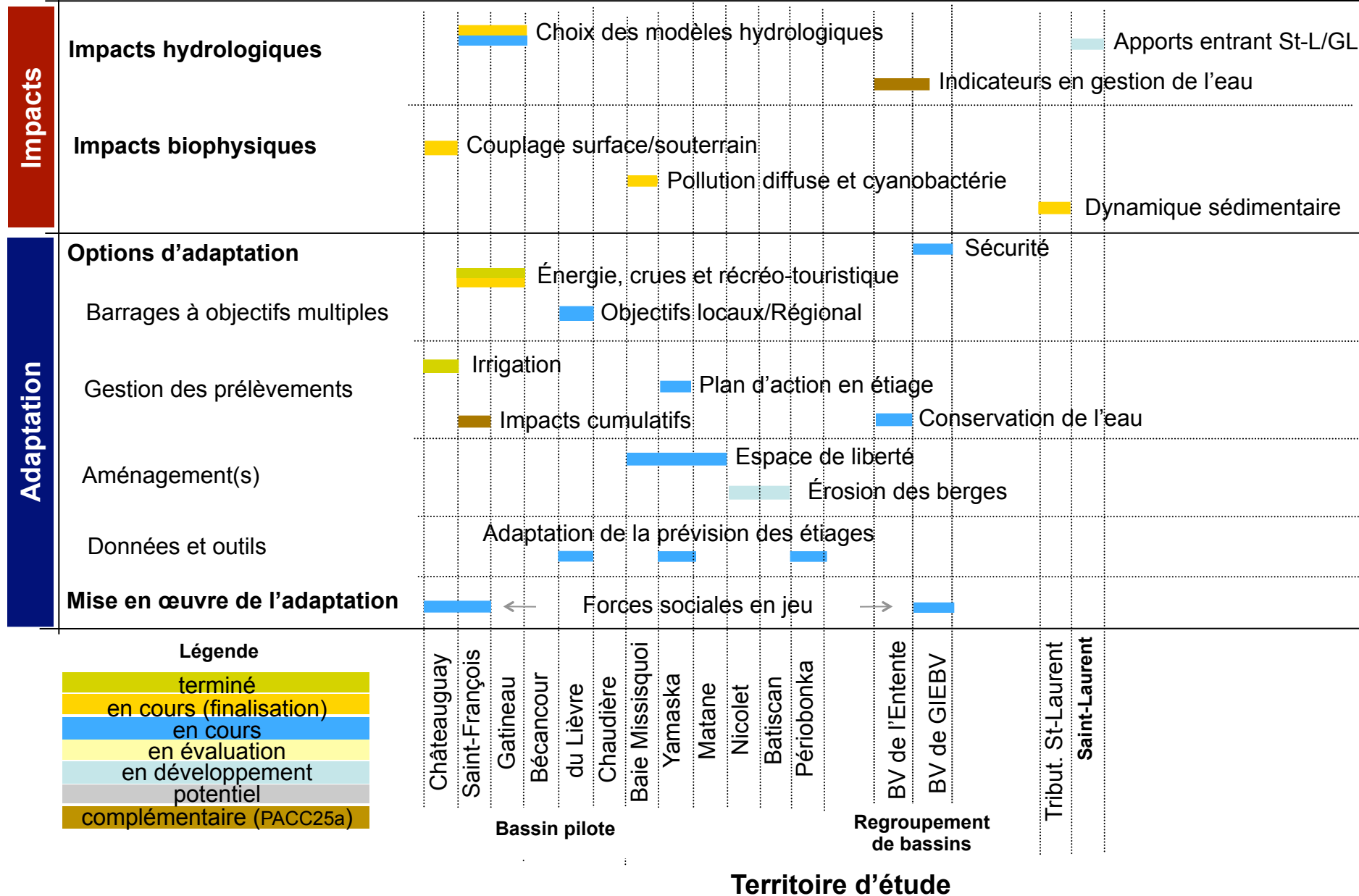
Axes de recherche

Impacts	Impacts hydrologiques
	Impacts biophysiques
Adaptation	Options d'adaptation
	Barrages à objectifs multiples
	Gestion des prélèvements
	Aménagement(s)
	Données et outils
	Mise en œuvre de l'adaptation
Légende terminé en cours (finalisation) en cours en évaluation en développement potentiel complémentaire (PACC25a) Châteauguay Saint-François Gatineau Bécancour du Lièvre Chaudière Baie Missisquoi Yamaska Matane Nicolet Batiscan Périobonka Bassin pilote Regroupement de bassins	
Territoire d'étude	

PROJETS



Axes de recherche



- Contexte
 - Consortium Ouranos
 - Rôle du CEHQ dans Ouranos
 - Plan d'Action sur les Changements Climatiques (PACC)
- Grands concepts en changements climatiques et ressources en eau
- Programme « Ressources Hydriques » d'Ouranos
- **Projets de connaissance de fond sur les impacts des changements climatiques**
- Projets d'adaptation
- Exemples détaillés de projets réalisés au CEHQ
- Conclusion

Projets de connaissance de fond sur les impacts des changements climatiques



Apports au Grands Lacs / Saint-Laurent (en développement)

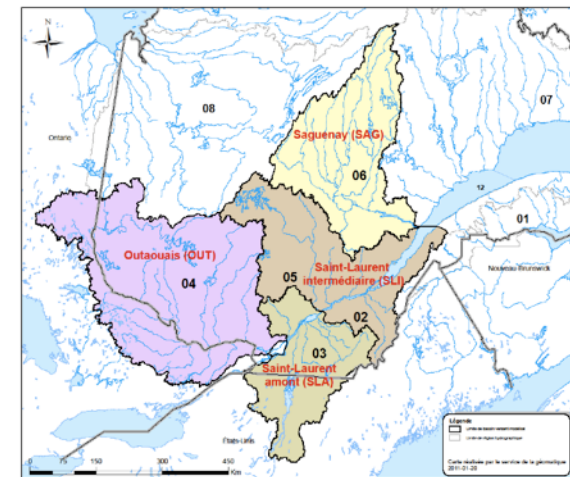
Mise à jour des études de l'impact hydro climatiques sur les apports entrants au Saint-Laurent (excluant le laminage)

Impact sur les indicateurs hydrologiques utilisées en gestion de l'eau

Modélisation hydrologiques appliquée globalement pour le BV de l'entente SL/GL

Crues de faibles récurrences et crues maximales probables

CC et CMP et crues de 1:1000 et 1:10000 ans pour la sécurité des barrages(BV: Chaudière, Kénogami, Haut-St-François, Gatineau, Péribonka, Yamaska et Lièvre)



Conservation de l'eau

Mesures de conservation et d'utilisation efficace de l'eau adaptables aux CC pour le BV de l'entente SL/GL

Collaboration Québec-Bavière en gestion de l'eau

Adaptation et inter-comparaison d'outils québécois et bavarois (BV : Gatineau et Haut-Saint-François)

- Contexte
 - Consortium Ouranos
 - Rôle du CEHQ dans Ouranos
 - Plan d'Action sur les Changements Climatiques (PACC)
- Grands concepts en changements climatiques et ressources en eau
- Programme « Ressources Hydriques » d'Ouranos
- Projets de connaissance de fond sur les impacts des changements climatiques
- **Projets d'adaptation**
- Exemples détaillés de projets réalisés au CEHQ
- Conclusion

Projet

Espaces de liberté des cours d'eau

Méthode hydro-géomorphologique:

- pour la délimitation des zones de crues moyennes et majeures
- pour la définition d'un espace riverain non aménagé nécessaire pour limiter les interventions dues à l'érosion des berges et aux risques d'inondation pour l'environnement bâti à proximité des cours d'eau, incluant le risque d'embâcles.

Contribution de l'eau souterraine au cours d'eau en lien avec les milieux humides dans l'espace de liberté;

Analyse coûts-bénéfices de l'implantation d'un espace de liberté

Réalisation : **Pascale Biron (U. Concordia), UQAM, UQAR**

Collaborateurs : **Parish geomorphic, OBV(2), MRC Brome-Missisquoi, MDDEP, MAPAQ, CEHQ**

Bassins versants : **Yamaska, aux Brochets, Matane**



Projet

- Gestion des barrages de la rivière du Lièvre dans des conditions de CC
- Proposer des adaptations aux outils d'aide à la décision et aux plans de gestion en prenant en compte des objectifs locaux et régionaux (Archipel de Mtl)



Réalisation : **Robert Leconte (U. Sherbrooke)**
Collaborateurs : **CEHQ, CPRRO, Ouranos**
Bassin versant : **Lièvre**

Projet

Plan d'action concertée de gestion des prélèvements en eau en situation d'étiage :

Bassin versant de la rivière Yamaska

- Définir un prototype de plan d'alerte et d'action hiérarchisé s'appuyant sur le suivi et la prévision hydrologiques ainsi que la priorité des usages;
- Évaluer les avantages et inconvénients du recours à un plan d'action comme moyen d'adaptation.

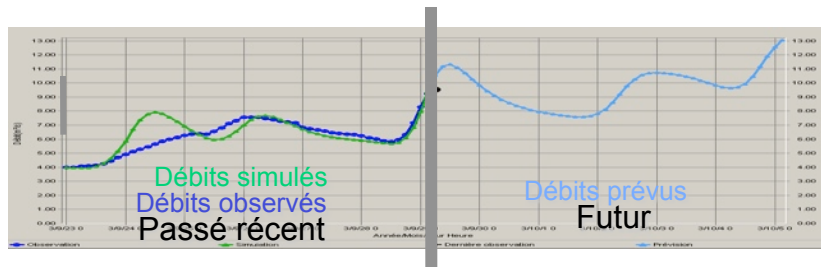


Réalisation : **B. Côté (U. de Sherbrooke)**
Collaborateurs : **CEHQ, MDDEP/DR, Ouranos,**
OBV-Yamaska
Bassin versant : **Yamaska**

Projet

Adaptation de la prévision des débits à moyen terme

- Prototype de système de prévision sur un horizon de 90 jours mieux adapté pour la prévision des étiages
- Prévisions probabilistes basées sur :
 - les générateurs de climat
 - la prévision météorologique d'ensemble et;
 - l'historique avec une pondération tenant compte des CC



Réalisation : **François Brissette (ÉTS)**
Collaborateur : **CEHQ, HQ, E.Canada, Ouranos**
Bassins versants : **Yamaska, Saint-François, Péribonka**

Projet

En développement

- Érosion et gestion des berges
 - Dynamique spatio-temporelle des berges en fonction de leurs caractéristiques physiques
 - Identifier la sensibilité des berges aux modifications des variables de contrôle des processus d'érosion induites par les CC
 - Modéliser et développer une clé diagnostique à utiliser pour aider la prise de décision en CC;
 - Lignes directrices pour développer des approches d'intervention misant sur la connectivité de la berge avec son milieu en favorisant la végétalisation et la biodiversité.



Réalisation : **André Roy (U de M)**
Collaborateurs : **CEHQ, Ouranos, OBV**
Bassins versants : **Nicolet, Batiscan**

Projet

- Contexte communautaire et social pour l'adaptation
 - Déterminer l'influence des dimensions sociales, communautaires et institutionnelles sur la mise en œuvre de stratégies d'adaptation dans un contexte de gestion par bassin versant;
 - Aider les différents acteurs de la GIEBV à intégrer à leur réflexion sur la gestion de l'eau l'information technique relative aux changements climatiques;
 - Haut-Saint-François: Barrages à objectifs multiples;
 - Châteauguay: Besoins en irrigation.



Réalisation : **Laurent Lepage et Nicolas Milot (UQAM)**
Collaborateurs : **SCABRIC, COGESAF, CEHQ**
Bassins versants : **Châteauguay, Saint-François**

- Contexte
 - Consortium Ouranos
 - Rôle du CEHQ dans Ouranos
 - Plan d'Action sur les Changements Climatiques (PACC)
- Grands concepts en changements climatiques et ressources en eau
- Programme « Ressources Hydriques » d'Ouranos
- Projets de connaissance de fond sur les impacts des changements climatiques
- Projets d'adaptation
- **Exemples détaillés de projets réalisés au CEHQ**
- Conclusion

Système du Haut-Saint-François

Quelques objectifs de gestion selon la période de l'année



Propriétaire : Gouv. du Québec



Propriétaire : Gouv. du Québec



Propriétaire : Hydro-Sherbrooke

Décembre-Mars :

- Vidange des réservoirs et
- Production hydro-électrique

Avril-Mai :

- Remplissage des réservoirs

Juin-Novembre :

- Activités récréatives

Toute l'année :

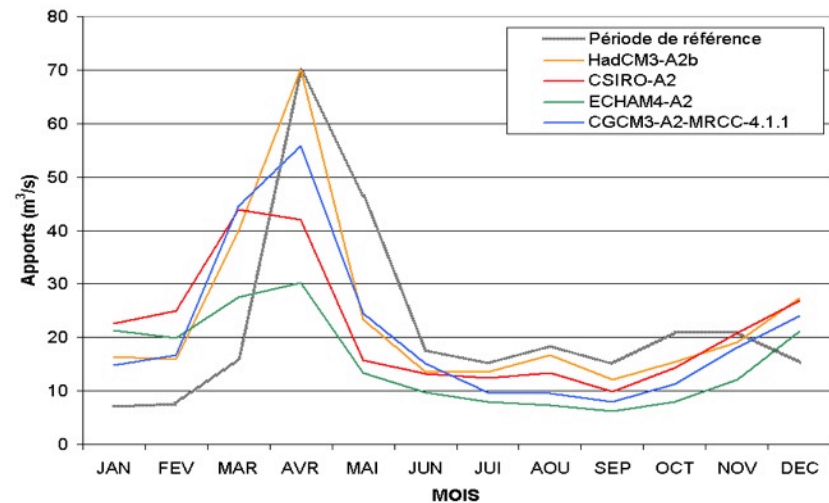
- Alimentation en eau
- Contrôle des crues

Étude exploratoire d'adaptation

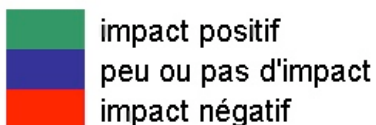
Simulation du compromis entre les différents objectifs du plan de gestion actuel		référence	Valeurs simulées !
Indicateurs			
Sécurité	risque de rupture	0	
	alimentation en eau	0	
Dommages	autour des réservoirs	14	
	en aval d'Aylmer	16	
Valorisation	villégiature	481	
Production	capacité non utilisée	46%	

Indicateurs : nombre de jours sur 30 ans (1961-1990) avec un dépassement (sauf pour la production)

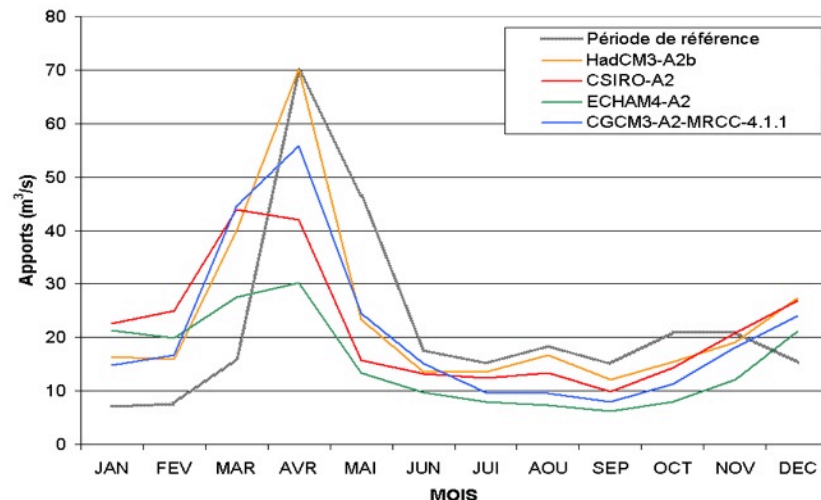
Impact des changements climatiques sur le compromis entre les objectifs



Indicateurs :		Gestion actuelle						
		référence	ECHAM4 A2 Delta	CSIRO A2 Delta	HadCM3 A2B Delta	MRCC direct "débiaisé"	CGCM A2	MRCC Delta
Sécurité	risque de rupture	0	0	0	0	0	0	0
	alimentation en eau	0	310	15	0	0	0	0
Dommages	autour des réservoirs	14	0	8	12	13	6	
	en aval d'Aylmer	16	4	17	13	12	13	
Valorisation	villégiature	481	2634	1137	480	111	876	
Production	capacité non utilisée	46%	67%	52%	47%	48%	53%	

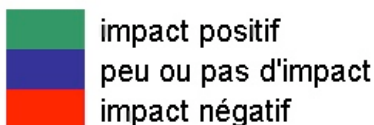


Impact des changements climatiques sur le compromis entre les objectifs

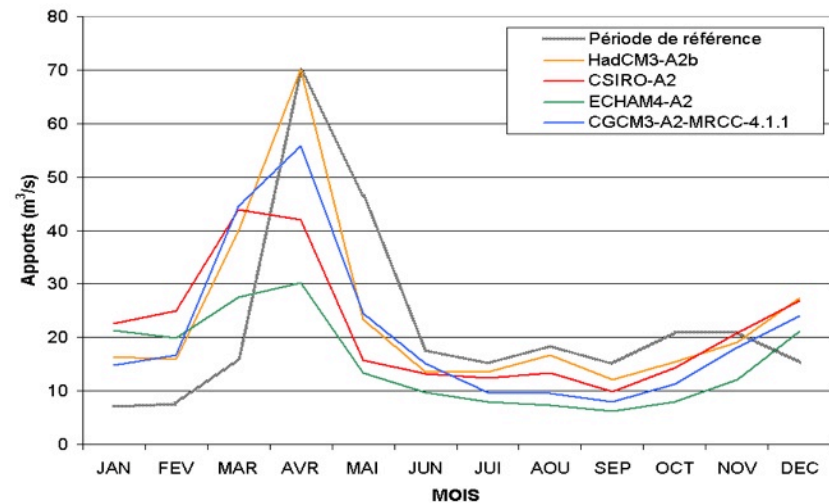


Indicateurs :		Gestion actuelle						
		référence	ECHAM4 A2 Delta	CSIRO A2 Delta	HadCM3 A2B Delta	MRCC direct "débiaisé"	CGCM A2	MRCC Delta
Sécurité	risque de rupture	0	0	0	0	0	0	0
	alimentation en eau	0	310	15	0	0	0	0
Dommages	autour des réservoirs	14	0	8	12	13	6	
	en aval d'Aylmer	16	4	17	13	12	13	
Valorisation	villégiature	481	2634	1137	480	111	876	
Production	capacité non utilisée	46%	67%	52%	47%	48%	53%	

Aucune adaptation nécessaire



Exemple théorique d'options d'adaptation aux impacts des changements climatiques



Indicateurs :		référence	Gestion actuelle						Gestion adaptée			
			ECHAM4 A2 Delta	CSIRO A2 Delta	HadCM3 A2B Delta	MRCC direct "débiaisé"	CGCM A2 Delta	MRCC Delta	ECHAM4 A2 Delta	CSIRO A2 Delta	CGCM A2 Delta	MRCC Delta
Sécurité	risque de rupture	0	0	0	0	0	0		0	0	0	
	alimentation en eau	0	310	15	0	0	0		0	0	0	
Dommages	autour des réservoirs	14	0	8	12	13	6		8	8		15
	en aval d'Aylmer	16	4	17	13	12	13		4	12		9
Valorisation	villégiature	481	2634	1137	480	111	876		461	481		421
Production	capacité non utilisée	46%	67%	52%	47%	48%	53%		68%	52%		53%

Aucune adaptation nécessaire

Niveau normal d'exploitation : 1 m plus bas

Vidange/remplissage : Devancement de 2 mois

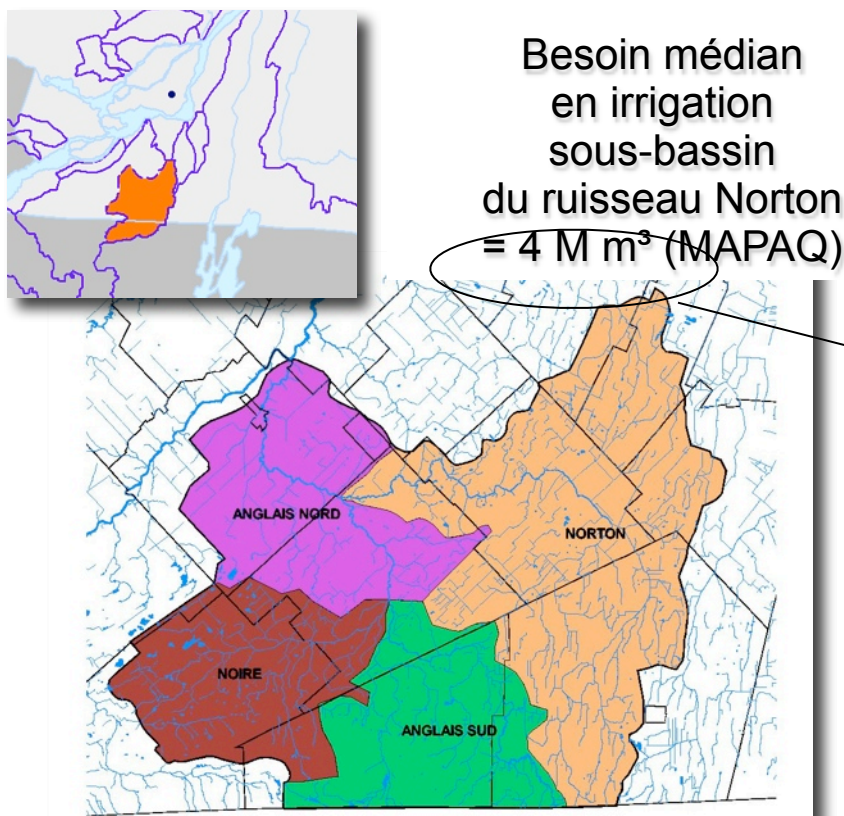
Vidange/remplissage : Devancement de 1 mois

impact positif
peu ou pas d'impact
impact négatif

Gestion des prélèvements d'eau d'irrigation

Cultures maraîchères du bassin versant du ruisseau Norton

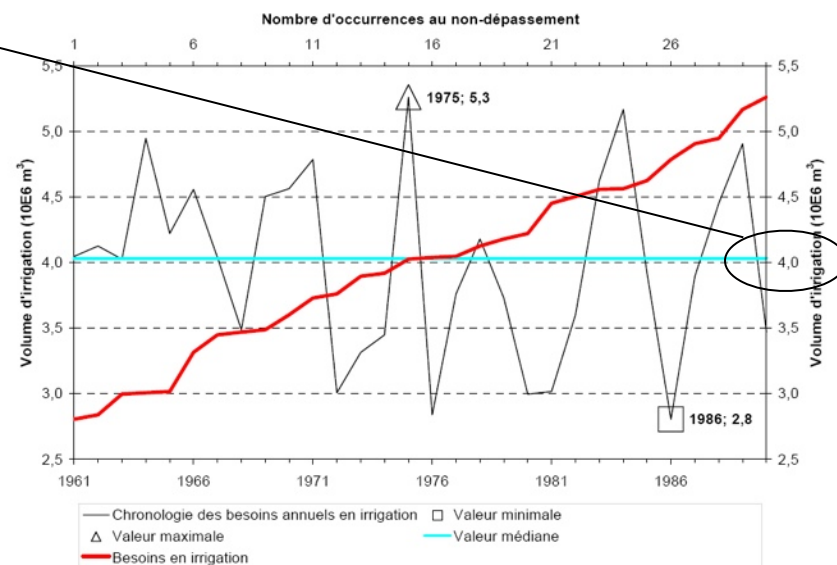
1. Simulation hydrologique du bassin versant
2. Modélisation des besoins journaliers en eau pour l'irrigation



25% prélevé dans les eaux de surface

Exemple :

Vérification du modèle en période de référence avec les observations météorologiques

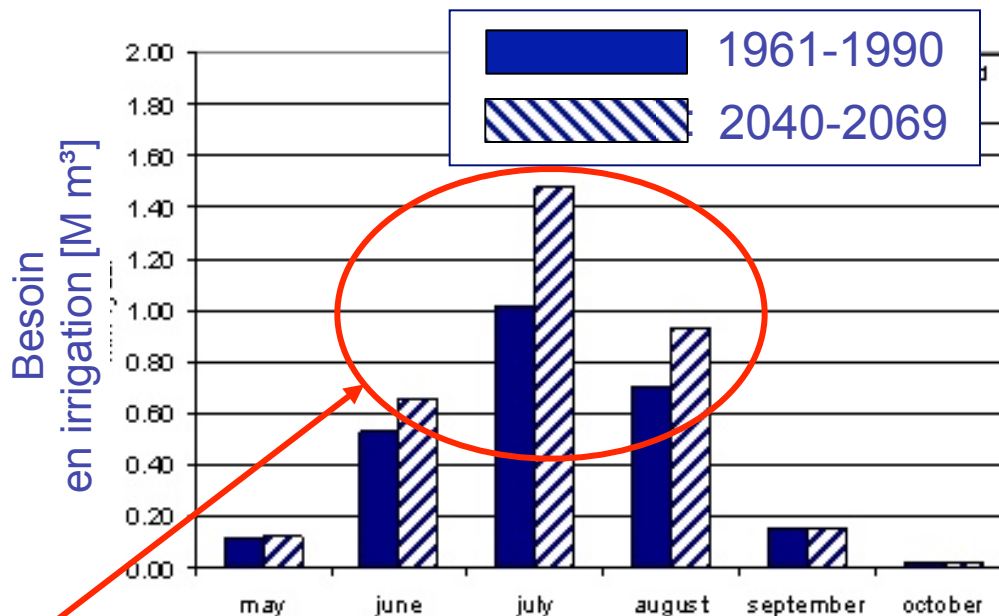


Gestion des prélèvements d'eau d'irrigation

3. Impact des CC sur les besoins en irrigation

Les besoins augmenteront à l'horizon 2050

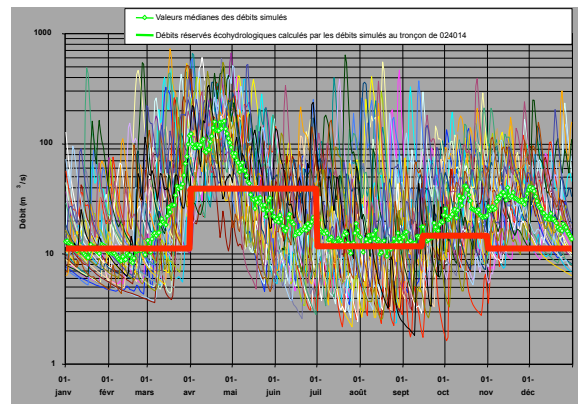
Méthode des perturbations	Augmentation des besoins en irrigation
ECHAM4-A2	14 %
ECHAM4-B2	9 %
CSIRO-A2	19 %
CSIRO-B2	19 %
HadCM3-B2b	14 %
HadCM3-A2b	12 %
CGCM3-MRCC4-A2	25 %
Méthode directe	
CGCM3-MRCC4-A2	33 %



Gestion des prélèvements d'eau d'irrigation

4. Impacts cumulatifs des prélèvements sur les débits du cours d'eau

Hypothèse d'un objectif
de respect de débits
écologiques



Méthode
éco-hydrologique
(Belzile et al., 1997)

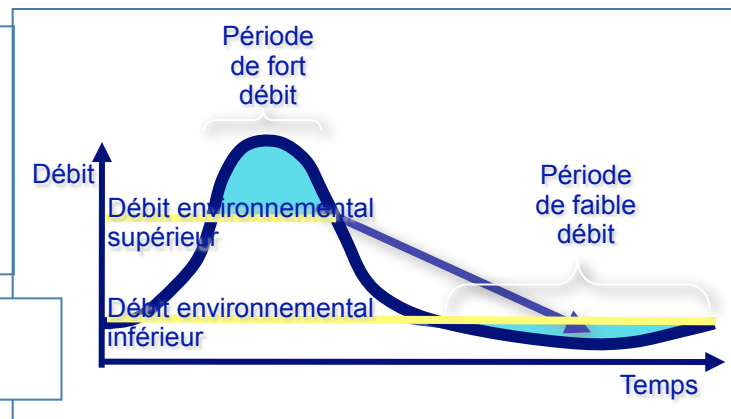
5. Impacts des prélèvements futurs sur les débits du cours d'eau

Le cours d'eau : incapable de supporter ces augmentations
(plus d'une fois sur deux) sans violation de limites de prélèvements



Gestion
concertée
de réserves
en eau

25% prélevé
dans les eaux de surface



Gestion des prélèvements d'eau d'irrigation

6. Analyse préliminaire en cours au CEHQ

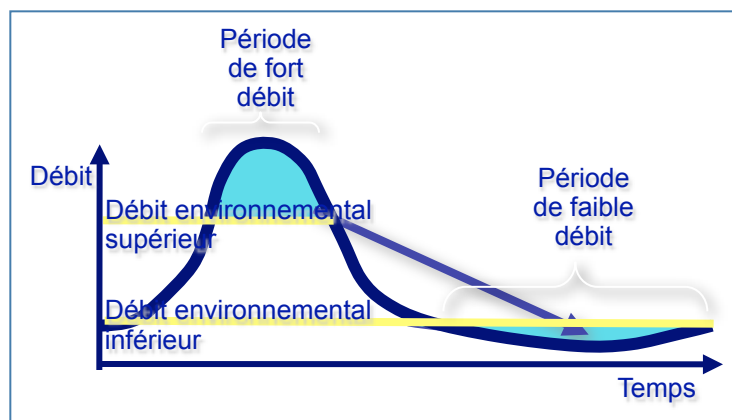
- Quantification des besoins potentiels de réserves en eau
- Même hypothèse de respect des débits écologiques

Climat actuel

Des réserves en eau
seraient requises
à hauteur d'environ 1 100 000 m³



25% prélevé
dans les eaux de surface



Climat futur

Le besoin de réserves en eau
pourrait s'accroître d'environ 25%

Horizon 2050 : $\approx 1\,400\,000$ m³

RESSOURCES HYDRIQUES

Conclusion

- Gestion intégrée des ressources en eau par bassin versant : approche porteuse pour l'adaptation aux changements climatiques
- Premiers résultats alimentant les acteurs de l'adaptation disponibles à compter de 2012