

Impacts potentiels des changements climatiques sur les événements hydrologiques extrêmes : sévérité des étiages et risques de crues



Auteur : Jean-François Cyr, M.Sc., ingénieur, responsable des projets de gestion intégrée
Centre d'expertise hydrique du Québec et coordonnateur adjoint du programme
« Ressources hydriques », Ouranos, Québec

RÉSUMÉ

Le dernier rapport de synthèse du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2007) décrit, pour le siècle prochain, les perturbations anticipées du climat à l'échelle de la planète. Ces travaux représentent l'état à cette date des connaissances scientifiques en matière de science du climat. Les plus récents travaux du consortium Ouranos (2010) indiquent qu'une hausse généralisée des températures et des précipitations induira des répercussions sur la distribution des ressources en eau sur le territoire québécois à l'horizon 2050. Les différentes projections hydroclimatiques effectuées pour le territoire de l'Amérique du Nord permettent notamment d'entrevoir la tendance qui se dessine quant aux impacts potentiels des changements climatiques sur les événements hydrologiques extrêmes, soit, pour ce qui est de la partie méridionale du Québec, des crues printanières hâtives et réduites, des étiages plus sévères ainsi que des changements dans l'intensité et la fréquence des crues estivales et automnales (Ouranos, 2010).

Outre ces grandes tendances, il est nécessaire, pour le bénéfice d'un grand nombre d'utilisateurs impliqués dans le domaine de la gestion de l'eau et de son adaptation, de formaliser davantage la quantification de cette tendance en la traduisant au travers d'indicateurs hydrologiques spécifiques fréquemment utilisés dans ce domaine. En ce sens, et conformément aux éléments de sa mission de gestionnaire du régime hydrique du Québec, le Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) s'est fixé comme objectif d'estimer et d'utiliser l'état des connaissances afin d'évaluer l'impact des changements climatiques sur le régime hydrique québécois afin de favoriser la conception et le développement de stratégies d'adaptation dans le domaine de la gestion des ressources en eau. À cette fin, le CEHQ a adopté, dans le cadre de la mesure 25a du plan d'action 2006-2012 sur les changements climatiques du gouvernement du Québec, une approche fondée sur la modélisation hydroclimatique afin de conduire ces analyses.

Des simulations hydrologiques ont donc été effectuées à l'aide du modèle hydrologique Hydrotel, alimenté à partir de différentes projections climatiques issues du Modèle régional canadien du climat (MRCC), lui-même piloté par différents membres du Modèle global canadien du climat (MCCG3). Le modèle hydrologique a d'abord été mis en place, puis calé sur une grande portion du bassin versant du fleuve Saint-Laurent localisée principalement au Québec, représentant une superficie de 390 000 km², ce que l'on appelle la plateforme de modélisation hydrologique. Pour ce faire, une méthode novatrice de calage dit « global » a été développée, appliquée puis évaluée.

La production des simulations hydroclimatiques a ensuite permis l'évaluation de différents indicateurs hydrologiques utilisés sur une base opérationnelle par les acteurs de l'eau. L'analyse de la dérive climatique potentielle de ces indicateurs hydrologiques sur l'horizon 2040-2070 a permis de dresser un portrait préliminaire de l'impact des changements climatiques sur le régime hydrique québécois. Parmi les signaux les plus clairs obtenus à ce jour, il faut mentionner l'augmentation de l'ordre de 10 à 20 % de la quantité d'eau transitant par les bassins versants simulés. Les débits d'étiage estivaux (Q2-7, évalués de juin à novembre) présentent une très forte baisse, jusqu'à 70 %, au sud du territoire étudié. Cette réduction serait cependant plus modérée au nord, soit de l'ordre de 10 à 20 %. Les indicateurs de crues présentent des dérives beaucoup plus variables, donc plus difficilement interprétables. La tendance semble cependant indiquer une augmentation d'environ 10 à 15 % des crues de récurrence deux ans. L'analyse du comportement des hydrogrammes interannuels laisse effectivement présager un devancement de la crue printanière ainsi qu'une augmentation des débits moyens en hiver (de novembre à mars), cela aux dépens des débits normalement observés en été (de juin à septembre). Plusieurs sources d'incertitudes sont évidemment liées à ce processus de calcul, en commençant, du début de la chaîne, par l'incertitude intrinsèque au système climatique naturel lui-même, jusqu'aux incertitudes qui sont liées, en bout de course, au modèle hydrologique et à son calage à l'aide des observations disponibles, en passant par celles se rattachant aux diverses étapes de traitement des données issues des projections climatiques destinées à alimenter les simulations hydrologiques. C'est pourquoi, dans un souci de fournir le meilleur éclairage possible aux usagers, la présentation des diverses projections s'accompagne d'une appréciation systématique des incertitudes associées.

Finalement, mentionnons que l'ensemble des résultats obtenus de ce projet sera présenté sous la forme d'un atlas permettant de visualiser la distribution spatiale des diverses tendances estimées pour chacun des indicateurs hydrologiques concernés. La production de cet atlas en est à ses débuts. L'outil sera amélioré au cours de l'année 2012, en même temps que seront parallèlement poursuivies certaines activités visant à harmoniser et valider les processus de simulation et de calage, pour en arriver à une version finale en mars 2013.

Impacts potentiels des changements climatiques sur les événements hydrologiques extrêmes

Sévérité des étiages et risques de crues

Présenté au



Colloque en
Agroclimatologie
Des données disponibles et changements climatiques



Drummondville
7 mars 2012

Par Jean-François Cyr, ing. M.Sc.

 Centre de référence en agriculture
et agroalimentaire du Québec
Commission agrométéorologie

Centre d'expertise
hydrique
Québec 

Plan de la présentation

- Tendances historiques
- Adaptation aux CC – Le volet des impacts
- Plateforme CEHQ - Méthodologie
- - Résultats
- - Travaux futurs

 Agroclimatologie
Des données disponibles et changements climatiques

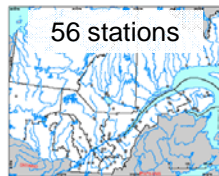
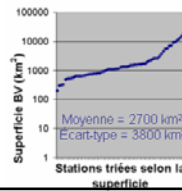
Centre d'expertise
hydrique
Québec 

Tendances historiques

Observations récentes des débits au Québec

20 années récentes (1992-2011) vs 20 années antérieures (1972-1991)

Indicateur (I)	Période	Variation de P1 (1972-1991) à P2 (1992-2011)*	Signification statistique à 1%
Maximum journalier de crue	Été et automne	+ 14% ¹	oui
Maximum journalier de crue	Printemps	- 8 % ¹	oui
Variation journalière du débit	Printemps, été et automne	+ 24% ¹	oui
Étiage consécutif de 7 jours	Été et automne	- 10 % ¹	oui
Durée des étiages les plus sévères	Été et automne	+ 3.5 jours ²	oui
Nombre de jours en étiage	Été et automne	+ 4.4 jours ²	oui
Volume total	Printemps	- 6% ¹	oui
Volume total	Été et automne	+ 1% ¹	non



Source : Larouche, Turcotte et Cyr (2008), CEHQ
Mise à jour : Lachance-Cloutier (2012), CEHQ

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

Centre d'expertise
hydrique
Québec

Plan de la présentation

- Tendances historiques
- Adaptation aux CC – Le volet des impacts
- Plateforme CEHQ - Méthodologie
- - Résultats
- - Travaux futurs

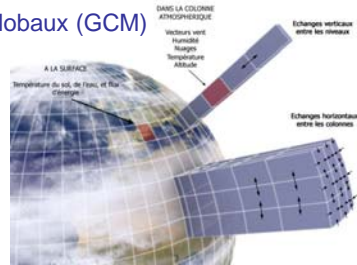
Agroclimatologie
Outils disponibles et changements climatiques

Centre d'expertise
hydrique
Québec

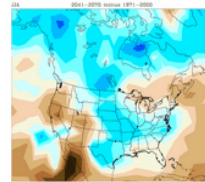
Adaptation aux CC – Le volet des impacts

Modèles du climat:

Modèles globaux (GCM)

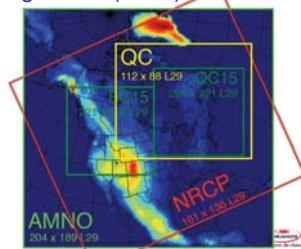


CGCM3 Change In Seasonal Avg Precip

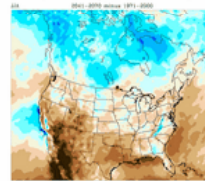


Source : www.narccap.ucar.edu

Modèles régionaux (RCM)



RCM3-cgcm3 Change In Seasonal Avg Precip



Centre d'expertise
hydraulique
Québec

Adaptation aux CC – Le volet des impacts

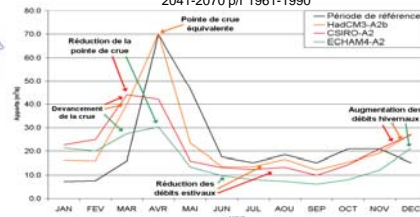
Impacts hydrologiques globaux pour le Québec

- Volumes annuels modifiés
 - Augmentation au Nord
 - Sud plus incertain
- Écoulements plus soutenus l'hiver
- Crues de printemps avancées
- 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



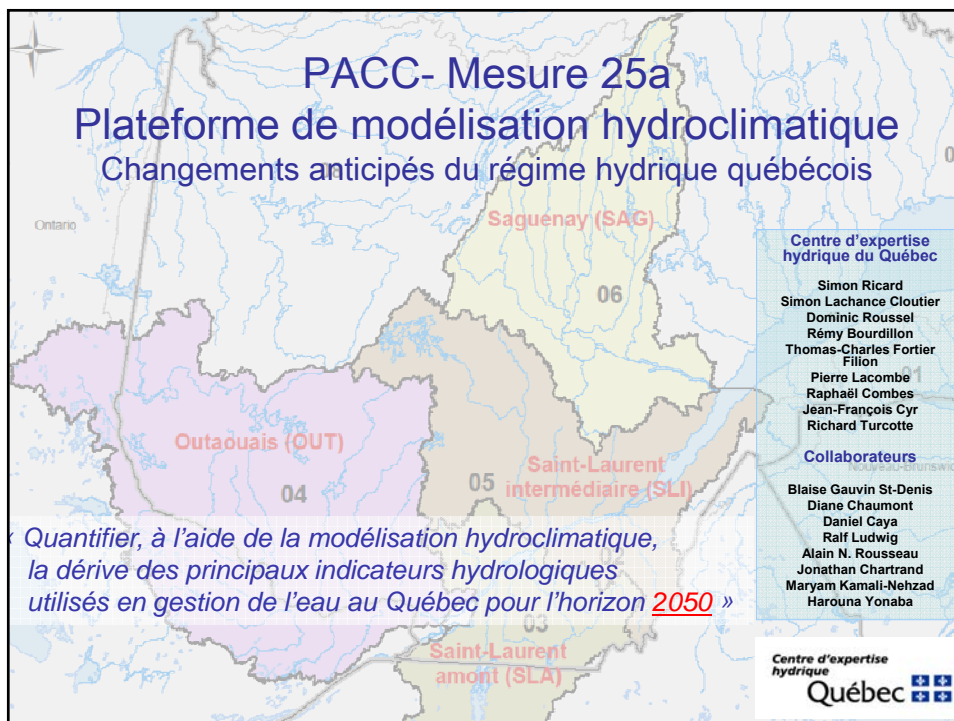
Source: Fortin, Turcotte, Pugin, Cyr, Picard (2007), CJCE

Centre d'expertise
hydraulique
Québec



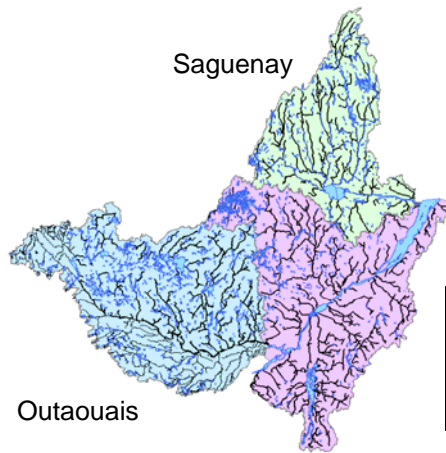
Plan de la présentation

- Tendances historiques
- Adaptation aux CC – Le volet des impacts
- Plateforme CEHQ - Méthodologie
 - - Résultats
 - - Travaux futurs



Méthodologie

Plateforme de modélisation hydrologique



→ Superficie totale = 388 000 km²

→ Plus de 90% de la population du Québec

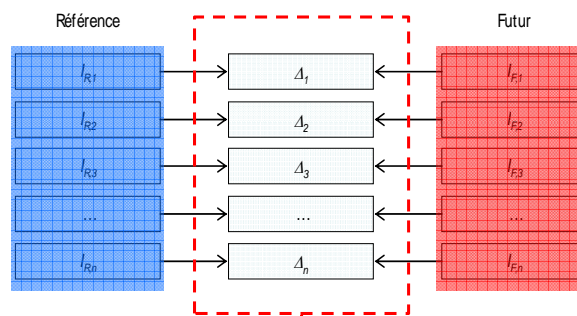
→ 31 zones de gestion intégrée des ressources en eau

→ Portion québécoise de l'Entente sur les ressources en eaux durables du bassin des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent

	Superficie totale (km ²)	UHRH	Superficie par UHRH (km ²)
Outaouais	143 700	1 242	116
Saguenay	86 882	606	143
Saint-Laurent	157 228	1 000	157
Total	387 810	2 848	136

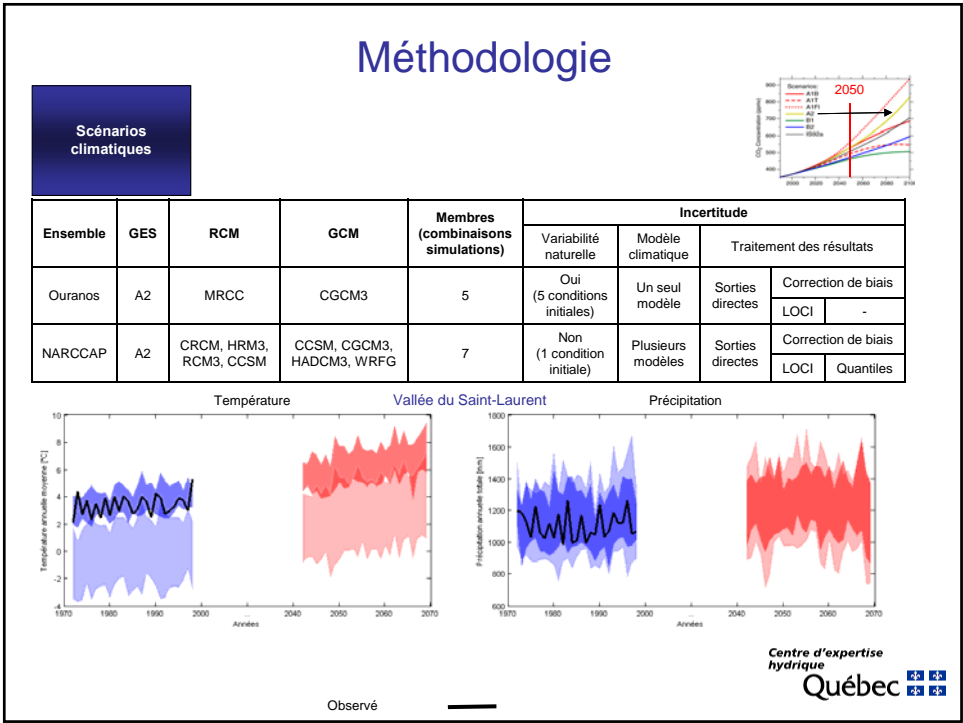
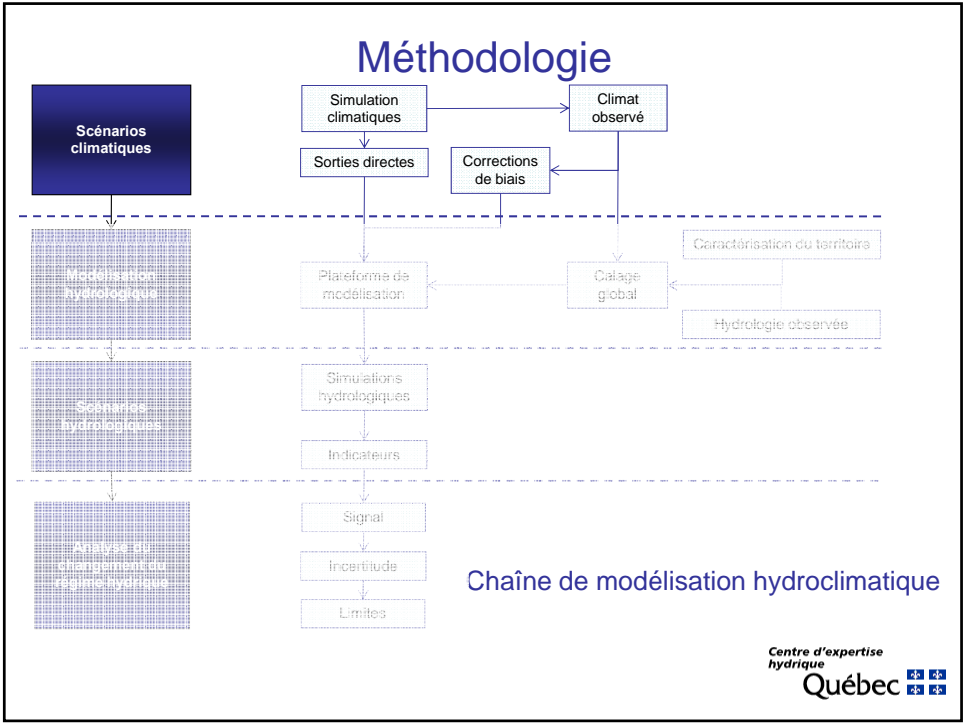
Centre d'expertise
hydrique
Québec

Méthodologie



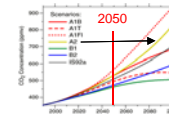
Objectif: évaluer la dérive climatique
Le signal
Pour l'horizon 2050

Centre d'expertise
hydrique
Québec

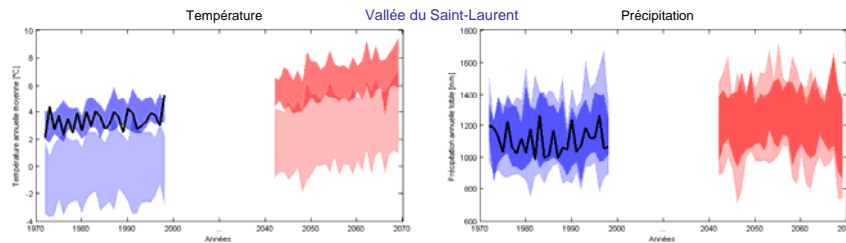


Méthodologie

Scénarios climatiques



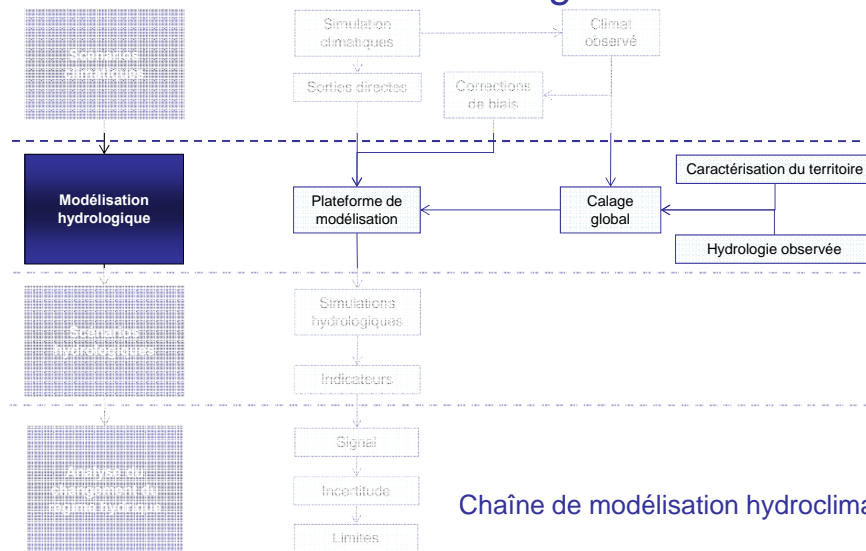
Ensemble	GES	RCM	GCM	Membres (combinaisons simulations)	Incertitude			
					Variabilité naturelle	Modèle climatique	Traitement des résultats	
Ouranos	A2	MRCC	CGCM3	5	Oui (5 conditions initiales)	Un seul modèle	Sorties directes	Correction de biais LOCI
NARCCAP	A2	CRCM, HRM3, RCM3, CCSM	CCSM, CGCM3, HADCM3, WRF	7	Non (1 condition initiale)	Plusieurs modèles	Sorties directes	Correction de biais LOCI, Quantiles



Centre d'expertise
hydraulique
Québec

Observé

Méthodologie



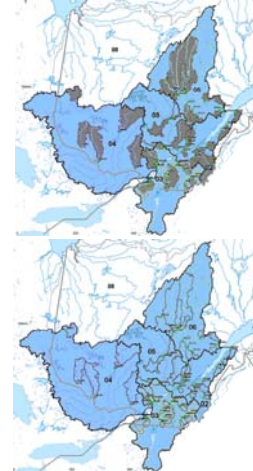
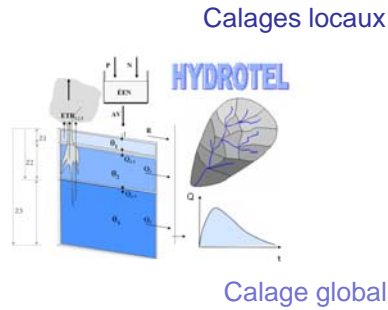
Chaîne de modélisation hydroclimatique

Centre d'expertise
hydraulique
Québec

Méthodologie

Calage préalable du modèle hydrologique

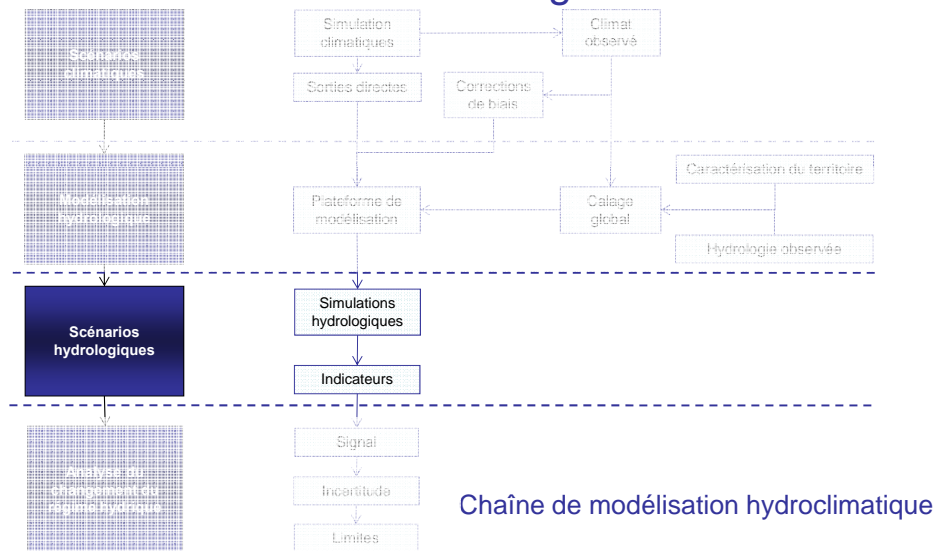
Modélisation hydrologique



- Calage : 1990-1999
- Validations: 1970-1979, 1980-1989 et 2000-2009

Centre d'expertise
hydrique
Québec

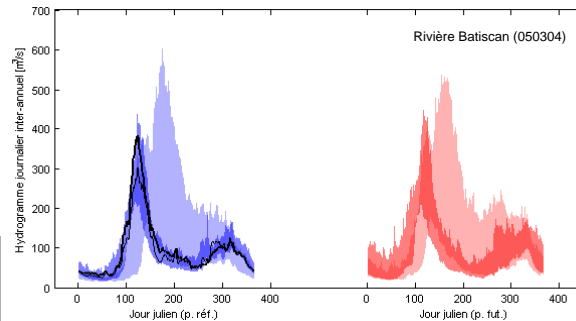
Méthodologie



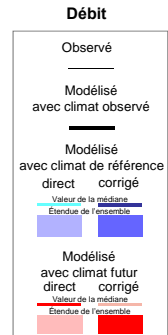
Centre d'expertise
hydrique
Québec

Méthodologie

Scénarios hydrologiques



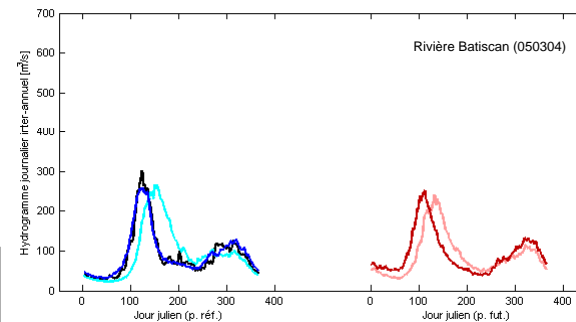
Indicateur	Unité	Définition
QM	m³/s	Débit journalier moyen sur toute la période
Q2		Débit de crue de période de retour 2 ans
Q20		Débit de crue de période de retour 20 ans
Q100		Débit de crue de période de retour 100 ans
Q2-7		Débit d'étiage sur 7 jours de retour 2 ans
Q10-7		Débit d'étiage sur 7 jours de retour 10 ans
MV26	Jour	Jour moyen de la crue de printemps



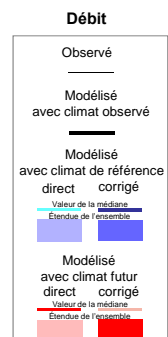
Centre d'expertise hydrique Québec

Méthodologie

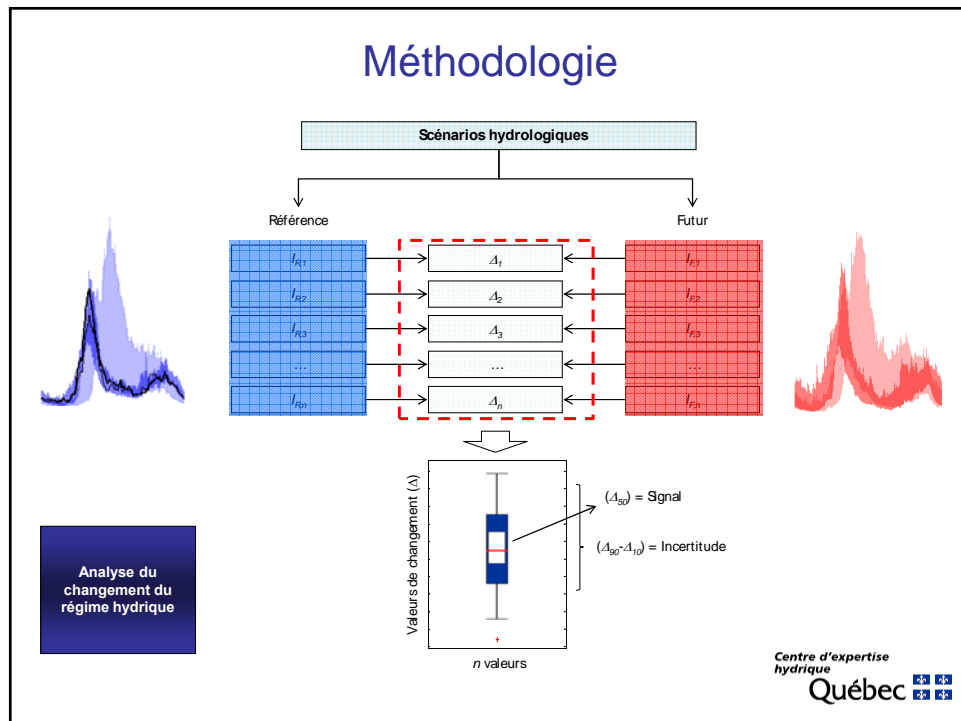
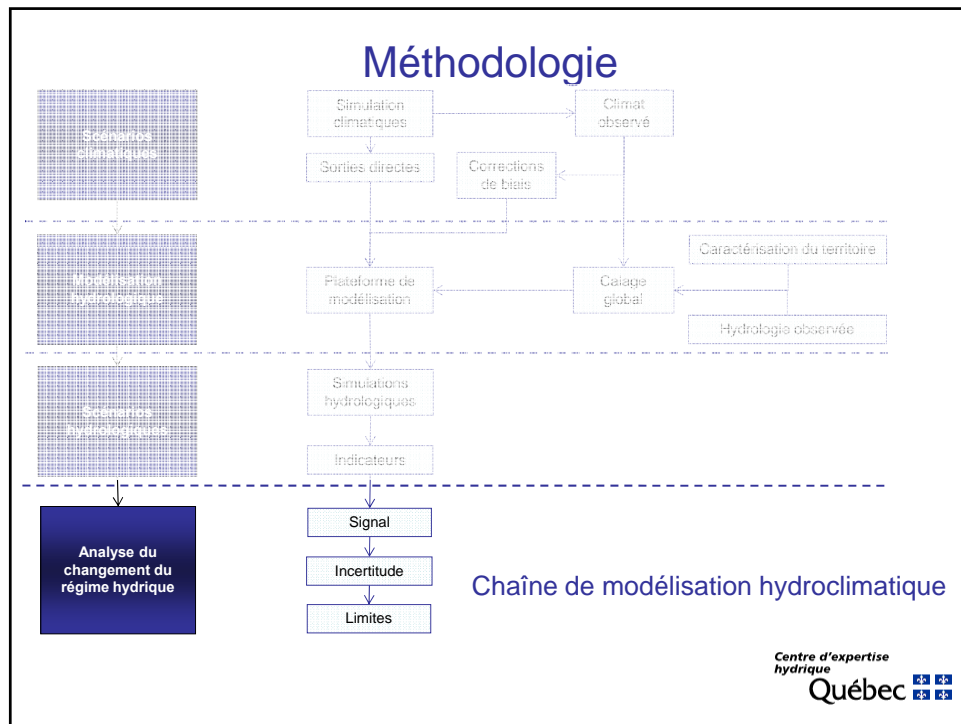
Scénarios hydrologiques



Indicateur	Unité	Observé	Modélisé	Observé	Modélisé	Observé	Modélisé
QM	m³/s	100.0	83.6	100.0	83.6	100.0	83.6
Q2		585.5	474.6	585.5	474.6	585.5	474.6
Q20		835.8	762.7	835.8	762.7	835.8	762.7
Q100		954.9	820.2	954.9	820.2	954.9	820.2
Q2-7		22.2	13.0	22.2	13.0	22.2	13.0
Q10-7		17.9	15.4	17.9	15.4	17.9	15.4
MV26	Jour	123.9	124.5	123.9	124.5	123.9	124.5



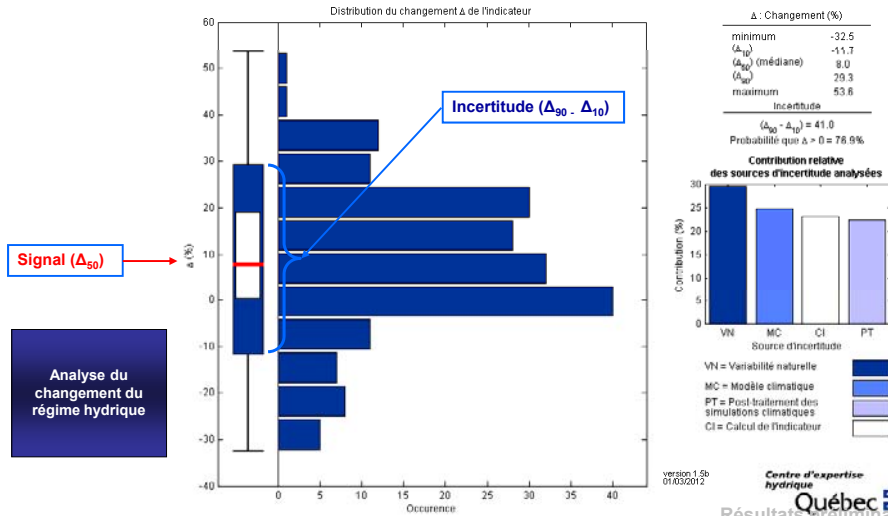
Centre d'expertise hydrique Québec



Méthodologie

Analyse par tronçon de l'incertitude liée à l'évaluation du signal de changement

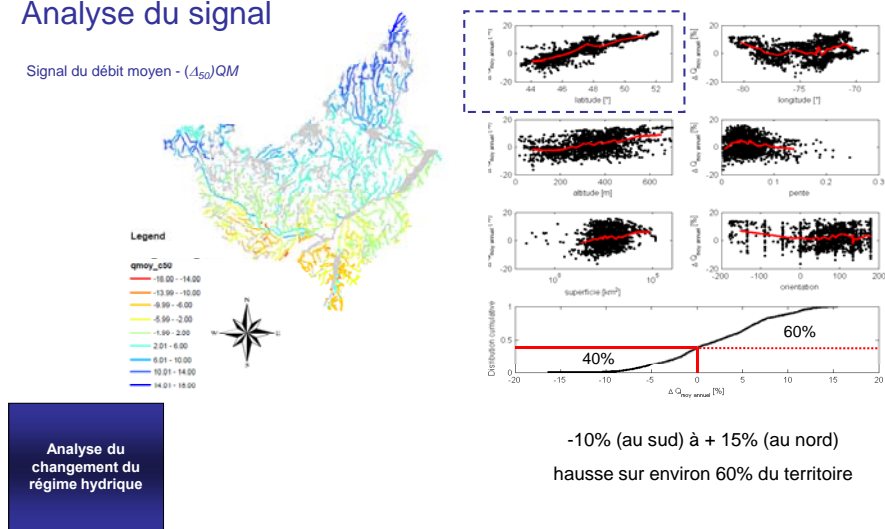
Q20 - Tronçon : STL648



Méthodologie

Analyse du signal

Signal du débit moyen - (Δ_{50})QM

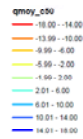


Méthodologie

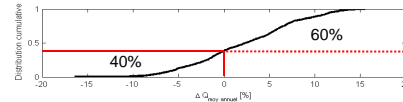
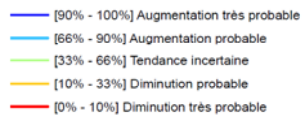
Analyse du signal

Signal du débit moyen - $(\Delta_{50})_{QM}$

Legend



Direction probable du signal
du débit moyen - $(\Delta_{50})_{QM}$



Analyse du
changement du
régime hydrique

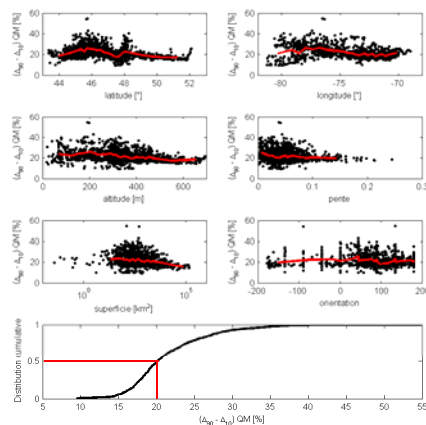
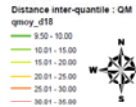
Centre d'expertise
hydrique
Québec
Résultats préliminaires

Méthodologie

Analyse de l'incertitude

Incertainité relative au débit moyen
 $(\Delta_{90}-\Delta_{10})_{QM}$

Legend



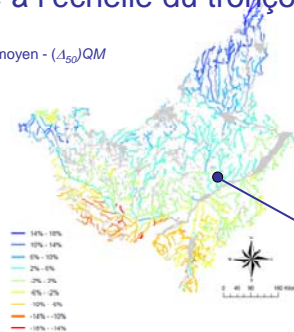
Analyse du
changement du
régime hydrique

Centre d'expertise
hydrique
Québec
Résultats préliminaires

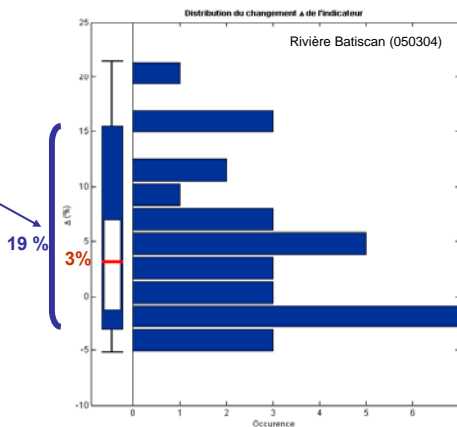
Méthodologie

Analyse à l'échelle du tronçon

Signal du débit moyen - $(\Delta_{50})_{QM}$



Analyse du
changement du
régime hydrique



Centre d'expertise
hydrique
Québec
Résultats préliminaires

Plan de la présentation

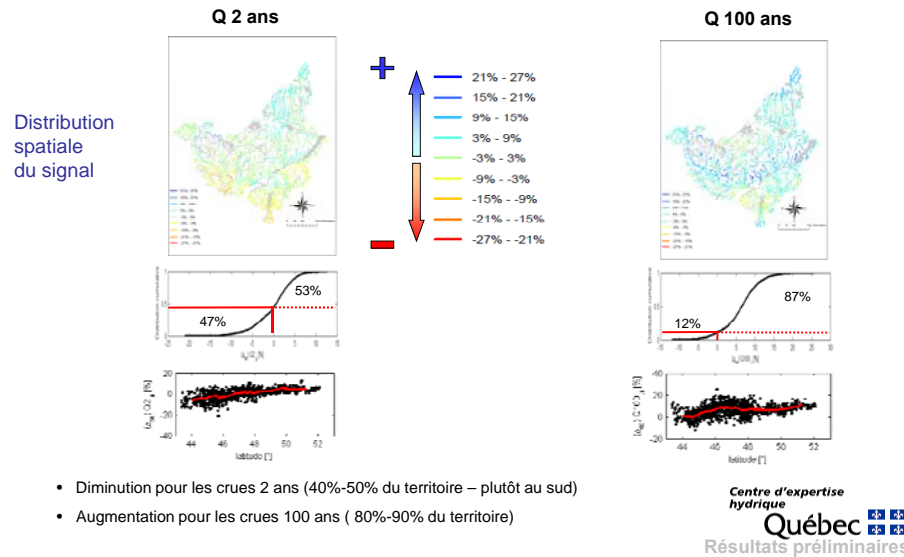
- Tendances historiques
- Adaptation aux CC – Le volet des impacts
- Plateforme CEHQ - Méthodologie
 - - Résultats
 - - Travaux futurs

Agroclimatologie
Outils disponibles et changements climatiques

Centre d'expertise
hydrique
Québec

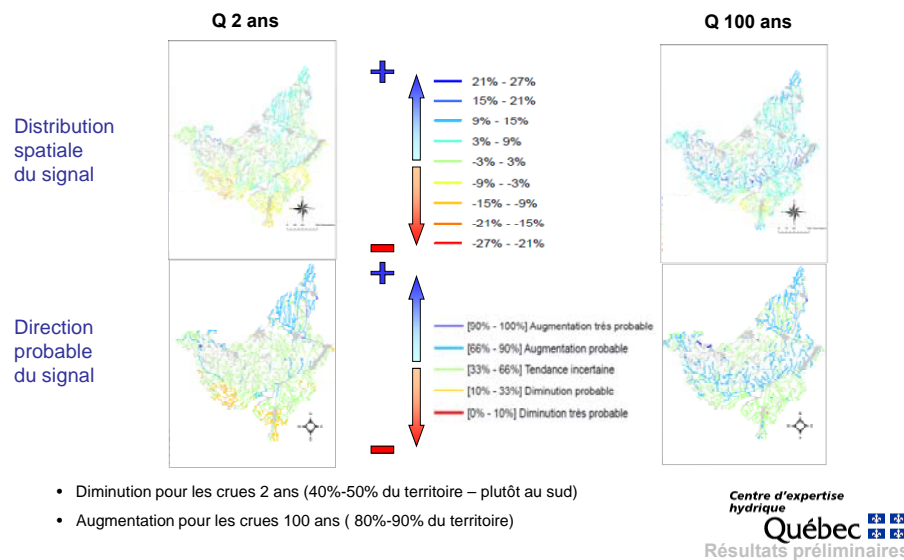
Résultats

Changements dans la crue printanière à l'horizon 2050



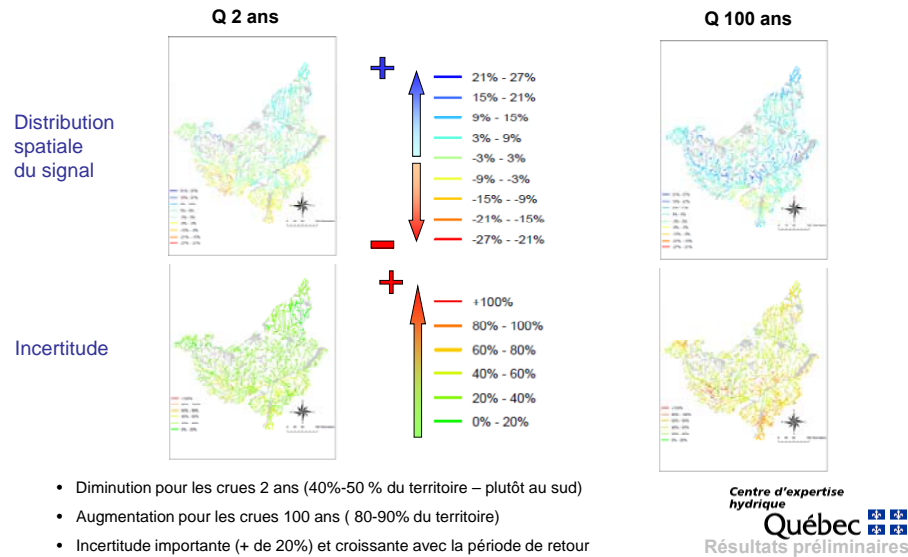
Résultats

Changements dans la crue printanière à l'horizon 2050



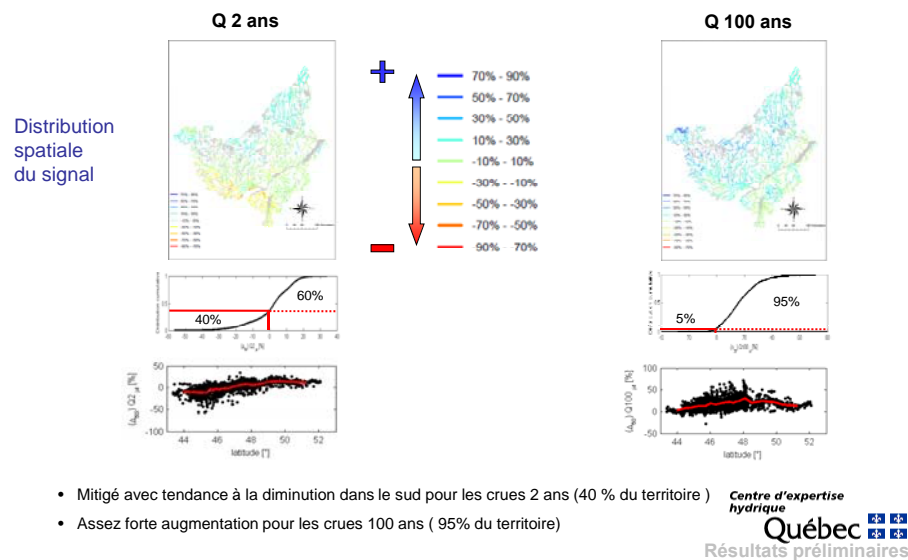
Résultats

Changements dans la crue printanière à l'horizon 2050



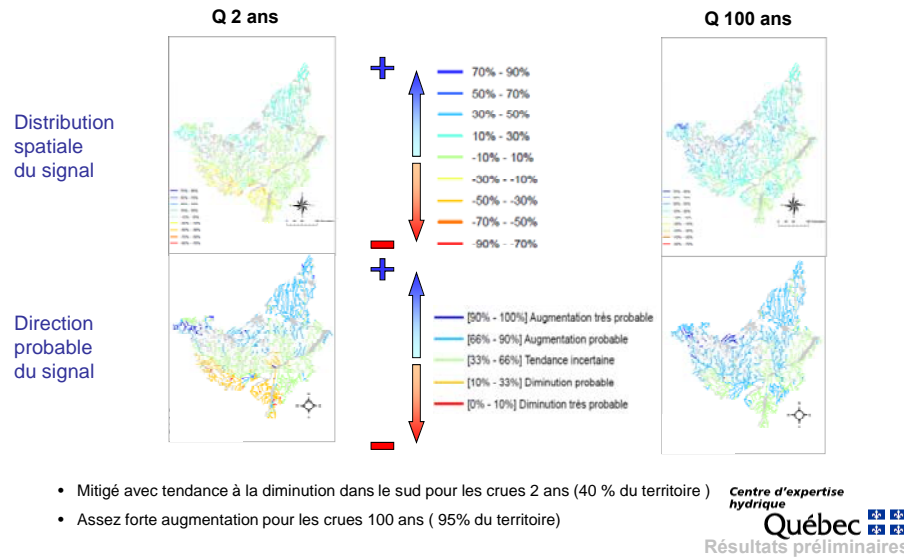
Résultats

Changements dans la crue estivale à l'horizon 2050



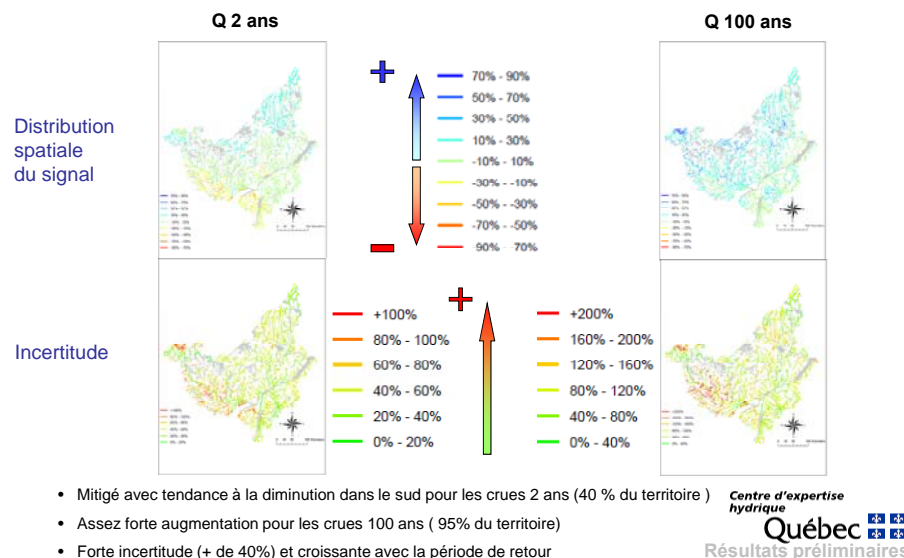
Résultats

Changements dans la crue estivale à l'horizon 2050



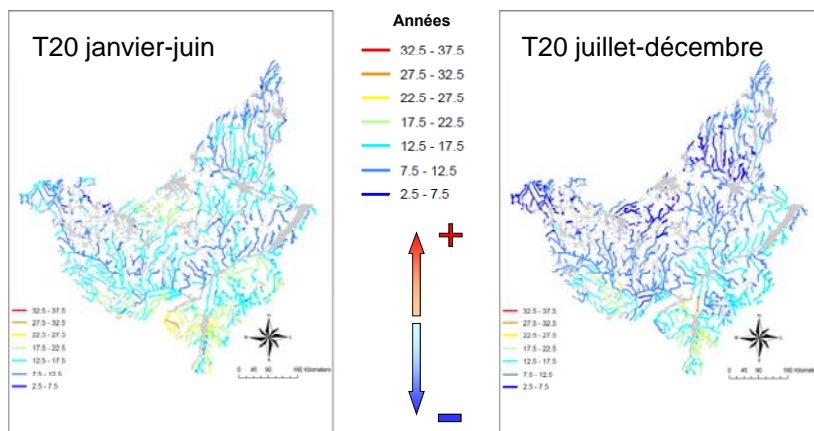
Résultats

Changements dans la crue estivale à l'horizon 2050



Résultats

Changements dans la récurrence des crues à l'horizon 2050

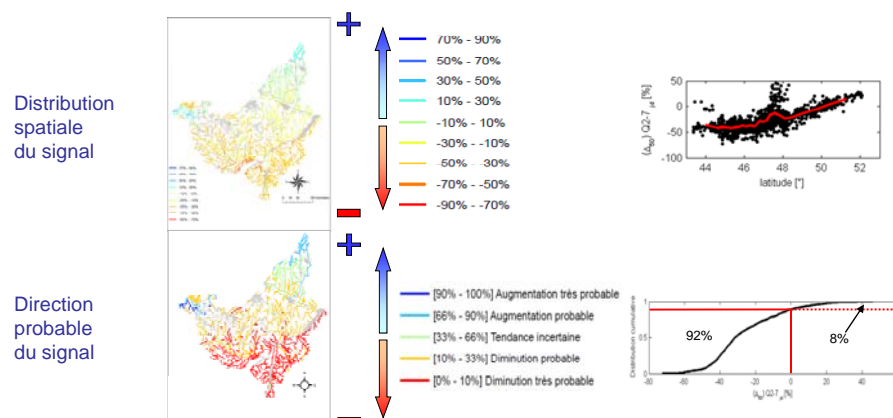


- Diminution (70-80 % du territoire)
- Diminution plus forte en été-automne

Centre d'expertise
hydrique
Québec
Résultats préliminaires

Résultats

Changements dans l'étiage estival $Q_{2,7}$ à l'horizon 2050

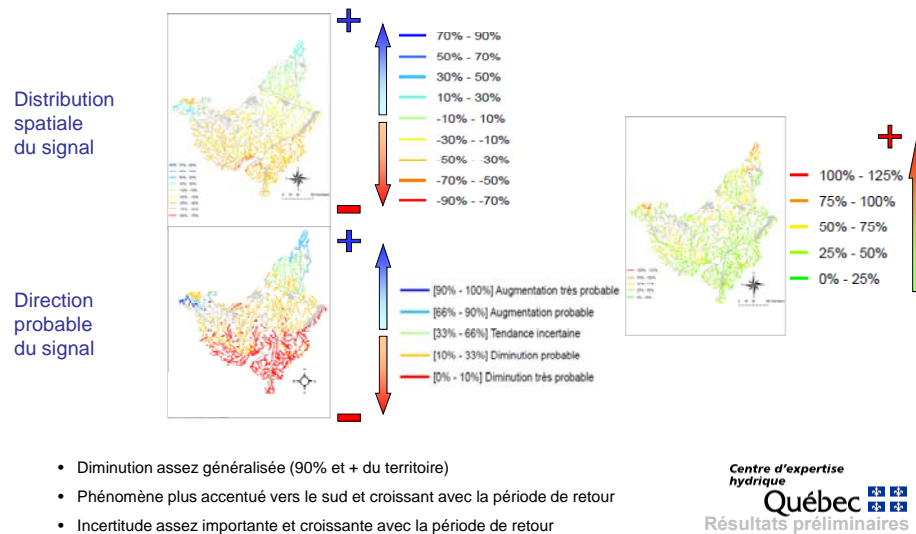


- Diminution assez généralisée (90% et + du territoire)
- Phénomène plus accentué vers le sud et croissant avec la période de retour

Centre d'expertise
hydrique
Québec
Résultats préliminaires

Résultats

Changements dans l'étiage estival $Q_{2,7}$ à l'horizon 2050



Résultats

Résumé

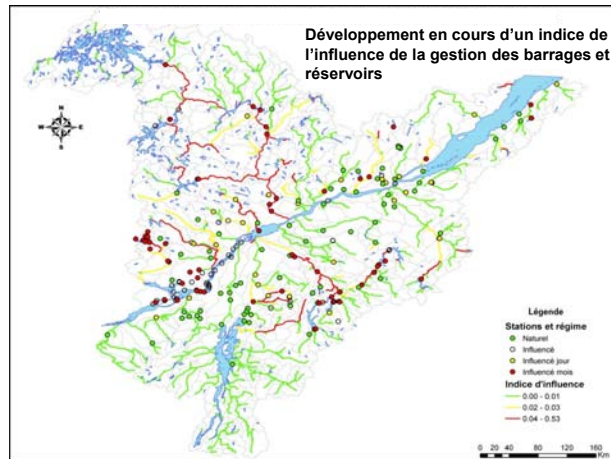
- **Débit moyen annuel :**
 - 10% à +15% (hausse sur environ 70% du territoire)
- **Crues :**
 - Q → Baisse à légère hausse au sud / Forte hausse au nord
 - Tendance à la hausse plus forte en été-automne
 - Tendance à la hausse augmente avec période de retour
 - TR → Diminution pour 70% à 80% du territoire
 - Phénomène plus accentué pour été-automne
- **Étiage estival :**
 - Diminution assez généralisée (70% à 90% du territoire)
 - Phénomène plus accentué vers le sud
 - Phénomène croissant avec la période de retour
- **Incertitude :**
 - Augmente avec la période de retour TR
 - Encore très élevée en regard des projections en crues

Changements anticipés du régime hydrique



Résultats

Limites: sans considération actuelle de l'influence de la gestion des barrages et réservoirs



Centre d'expertise
hydrique
Québec
Résultats préliminaires

Plan de la présentation

- Tendances historiques
- Adaptation aux CC – Le volet des impacts
- Plateforme CEHQ - Méthodologie
- - Résultats
- - Travaux futurs

Agroclimatologie
Outils disponibles et changements climatiques

Centre d'expertise
hydrique
Québec

Travaux futurs

- Ensemble de scénarios climatiques
- Amélioration de la méthode
 - Calage global
 - Méthodes de correction de biais
 - Analyse de l'incertitude
- Indiciation des tronçons à régime influencé
- Transfert aux usagers et atlas

Tendances historiques

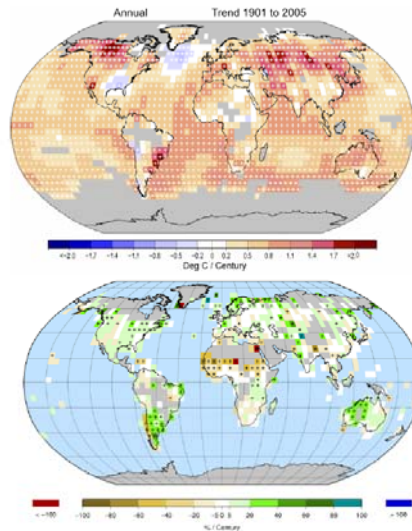
Températures et précipitations mondiales

Observations des tendances des températures (GIEC, 2007)

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

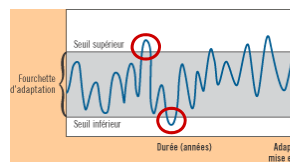
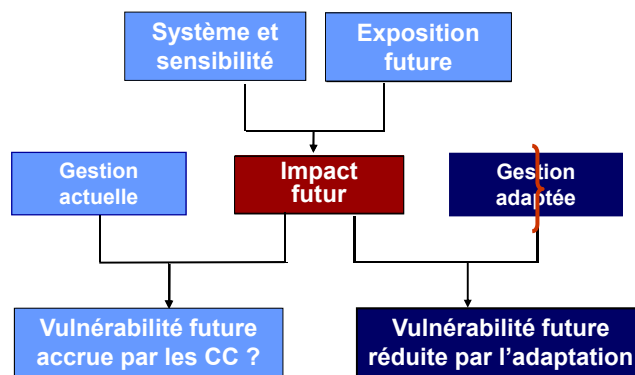
Observation des tendances des précipitations (GIEC, 2007)

Le réchauffement global modifie le cycle de l'eau



Centre d'expertise
hydrique
Québec

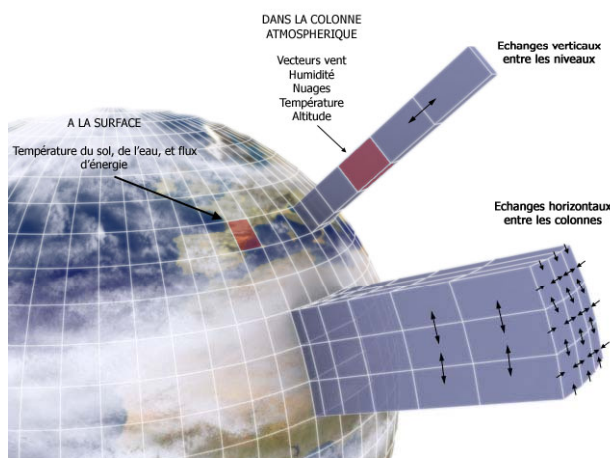
Adaptation aux CC



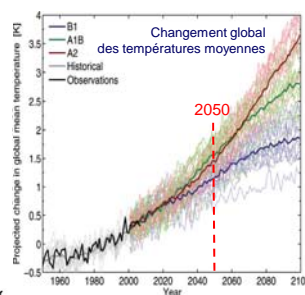
Centre d'expertise
hydrique
Québec

Adaptation aux CC – Le volet des impacts

Projections climatiques
Scénarios d'émission de GES et Modèles climatiques



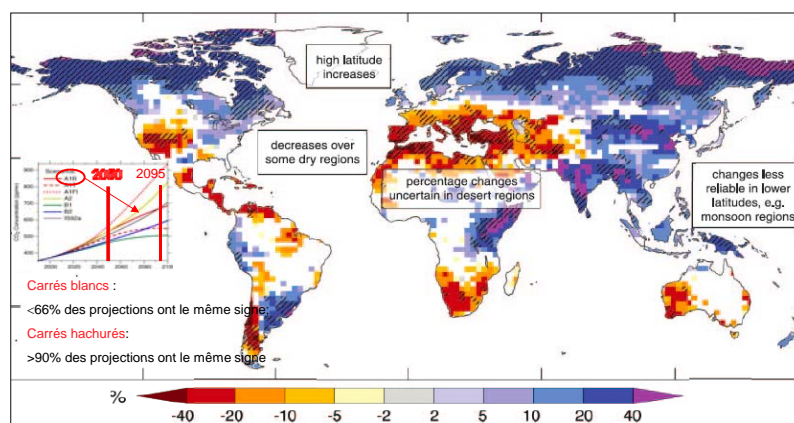
Source : IPCC fourth assessment report 2007



Centre d'expertise
hydrique
Québec

Adaptation aux CC – Le volet des impacts

Changements dans les volumes annuels d'eau



Changements dans les écoulements (scénario A1B) pour la période 2090-2099, par rapport à 1980-1999, selon 12 modèles (source IPCC, 2007).

Centre d'expertise
hydrique
Québec