Apprivoiser la science des changements climatiques

Auteure : Dominique Paquin, *M.Sc.*, *spécialiste simulations climatiques*
Ouranos, *Montréal*

La science des changements climatiques se distingue d'autres domaines scientifiques par le fait qu'elle est impossible à reproduire en laboratoire traditionnel : le sujet de l'expérience est unique et il n'y a qu'une seule Terre sur laquelle une seule réalisation du climat se produit. Afin de pallier à cette caractéristique et de représenter le mieux possible le climat terrestre et les multiples composantes et interactions du système climatique dans son ensemble, les modèles numériques de climat ont été développés. En plus de permettre la répétition de diverses réalisations du climat terrestre, ces modèles permettent de faire des expériences de sensibilité sur certains paramètres climatiques. Malgré la complexité de ces outils, il est important d'en saisir les concepts et fonctionnement afin de permettre une meilleure utilisation et interprétation des études basées sur les données produites par ces modèles.

La présentation vise d'abord à mettre en place certains concepts de base afin d'élaborer un langage commun. Dans ce but, nous commencerons par définir la terminologie et les acronymes du domaine des sciences du climat. Dès le départ, nous pourrons donc échanger sur les distinctions entre scénario d'émission, scénario, simulations et projections climatiques.

La seconde partie de la présentation décortique les différentes composantes d'un modèle de climat. En débutant par la partie atmosphérique d'un modèle, nous verrons les différents processus physiques qui sont représentés numériquement et qui, par la résolution d'équations, permettent de suivre l'évolution d'une simulation du climat terrestre. La structure d'un modèle, les équations de base, les différentes interactions, rétroactions (couplages) seront abordés. Nous accorderons une attention particulière à la représentation de la surface et donnerons en exemple le schéma de surface CLASS (*Canadian LAnd Surface Scheme*) utilisé dans les modèles canadiens, en plus de décrire les différents champs géophysiques pris en considération par le schéma de surface et les modèles. Plus spécifiquement concernant la formulation des modèles globaux (qui couvrent le globe dans son entièreté), nous discuterons de l'évolution historique de la complexité en termes des paramétrages (représentation numérique des phénomènes physiques de sous-échelle) et de l'augmentation de la résolution. Cette résolution spatiale demeure toutefois à ce jour encore trop grossière pour une représentation adéquate des phénomènes régionaux, locaux et en topographie variée.

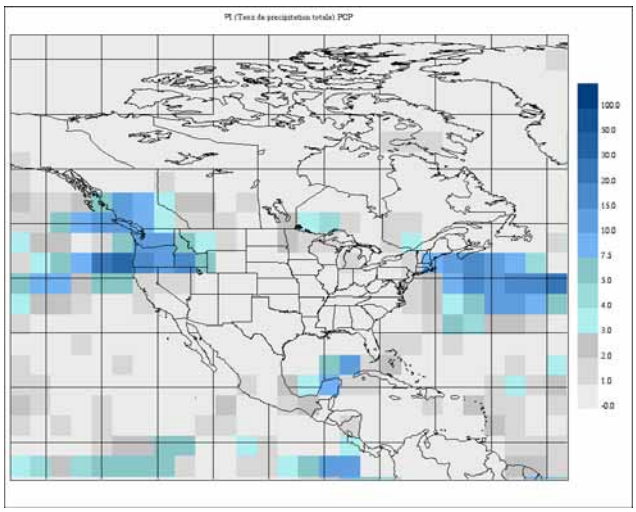
Les modèles régionaux de climat sont par la suite présentés. Ces modèles suivent la structure générale des modèles globaux, mais sont appliqués sur une région, soit une aire limitée et non tout le globe. De par la plus petite surface couverte, pour des ressources informatiques comparables, les modèles régionaux sont en mesure d'atteindre des résolutions spatiales plus fines que les modèles globaux et ainsi offrir une mise à l'échelle dite *dynamique* des modèles globaux. Par contre, ils ont besoin d'informations au pourtour de leur domaine et sont ainsi dépendants de cette source de données pilote, laquelle est un modèle global lorsqu'il est question de projections climatiques.

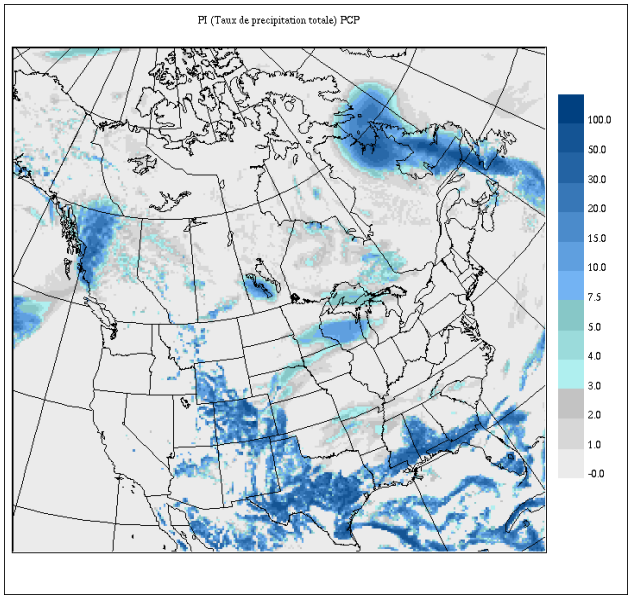
Une fois la structure générale d'un modèle, tant global que régional, décrite, nous parlerons brièvement de validation et comparerons les résultats de simulations climatiques à des observations avant de passer aux projections de changements climatiques.

Pour simuler le climat futur, certaines hypothèses concernant les futures émissions et concentrations de gaz à effet de serre doivent être posées et seront examinées. Ces hypothèses contribuent à élargir la fourchette d'incertitudes inhérentes aux projections de changements climatiques. Ces incertitudes s'ajoutent à d'autres incertitudes, telles la représentation des phénomènes physiques dans les modèles, la qualité des modèles, la variabilité naturelle et sa représentation par les modèles et la fiabilité du réseau d'observations utilisé pour la validation.

Tout au long de la présentation, des exemples de simulations globales et régionales seront donnés, en utilisant de préférence les modèles globaux et régionaux canadiens. Ainsi, il sera possible de voir des animations de l'évolution temporelles de variables météorologiques à différentes résolutions spatiales, de visualiser les biais obtenus pour des simulations régionales et de constater l'importance des différentes sources d'incertitudes sur des variables, telles la précipitation ou la température à la surface.

Exemple de précipitation accumulée dans une journée provenant d'une simulation du modèle global canadien CGCM3 (zoom au-dessus de l'Amérique du Nord) pour une résolution d'environ 250 km [unités mm/jour].





Exemple de précipitation accumulée dans une journée provenant d'une simulation du modèle régional canadien MRCC4 pour une résolution d'environ 22,5 km [unités mm/jour].

Apprivoiser la science des changements climatiques

Vocabulaire et acronymes de base
Anatomie d'un modèle climatique et présentation d'un schéma de surface
Modélisation globale
Modélisation régionale
Principe de projections climatiques
Incertitudes

Dominique Paquin

Colloque en agroclimatologie

9 mars 2011

OURANOS
CONSORTIUM SUR LA CLIMATOLOGIE RÉGIONALE ET L'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Vocabulaire et acronymes de base

D. Paquin

- Projections de changement climatique > incertitude
  - Et non pas des prévisions météorologiques (déterministe ou probabiliste) ni des prédictions (intuitif)
- Simulation climatique (*run*)
  - Représentation modélisée du climat obtenue en « roulant » un modèle numérique du climat
- Passé récent (climat actuel)
  - Typiquement, période de 30 / 40 / 50 années entre 1960 et 2010
- Climat transient
  - Simulation en continu avec évolution des gaz à effet de serre (GHG) (1850-2100)

Vocabulaire et acronymes de base

- IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change
  - Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)
- Scénario d'émission de l'IPCC
  - Représentation plausible du futur développement de substances, tels gaz à effets de serre, aérosols
- Scénario climatique
  - Représentation vraisemblable et souvent simplifiée (adaptée) du futur climat établie pour l'étude des changements climatiques
- GCM / MCG :
  - Global Circulation Model ou Global Climate Model ou Global Coupled Model / Modèle de Circulation Générale
  - CGCM : Canadian GCM (CCCma)
- MRC / RCM:
  - Modèle Régional du Climat / Regional Climate Model
  - MRCC / CRCM : Modèle Régional Canadien du Climat / Canadian Regional Climate Model (UQÀM-Ouranos)

Anatomie d'un modèle climatique

Modèle atmosphérique

Modèle équilibre énergétique 1-D

Du plus simple au plus complexe…

Ajouts :

Effet de serre

Absorption par l'atmosphère d'une fraction du rayonnement solaire

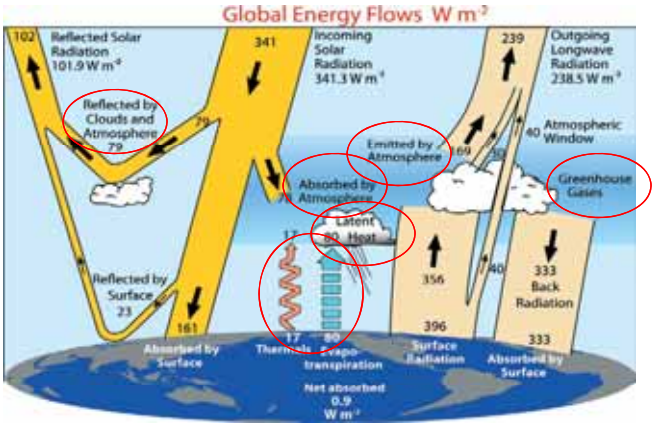
Échanges turbulents entre la surface de la terre et l'atmosphère :

Chaleur sensible

Chaleur latente

Changements de phase de l'eau

Structure verticale



The global annual mean Earth's energy budget for the Mar 2000 to May 2004 period (W m–2).
Trenberth *et al*. (2008)

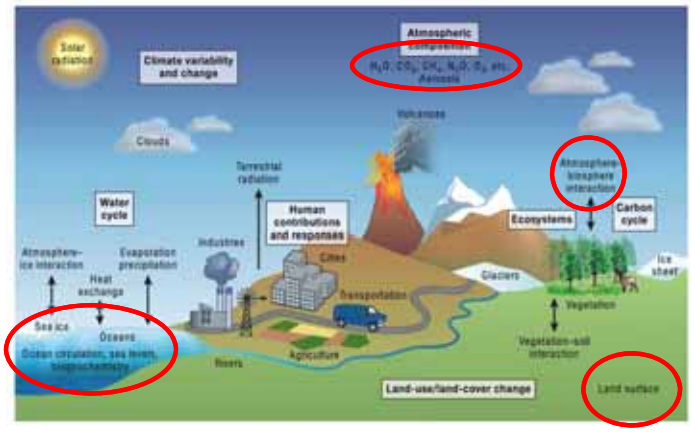
4

Anatomie d'un modèle climatique

Le système climatique dans sa totalité

Global Coupled Model (GCM)

Couplage
- Schéma de surface
- Océans
- Glace marine
- Biosphère
- Chimie



Moss et al, 2010

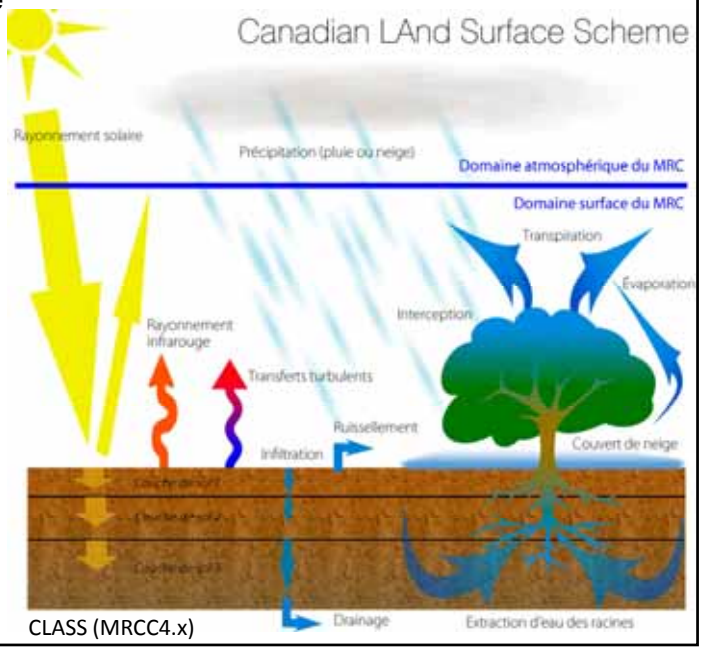
5

Anatomie d'un modèle climatique - surface

Un schéma de surface agit comme un simulateur d'échange entre la surface et l'atmosphère

Les flux provenant de la surface transfèrent les quantités d'énergie et d'eau vers l'atmosphère *via* l'évapotranspiration et le transfert de chaleur sensible

Une bonne simulation de la surface demande que l'atmosphère lui fournisse des quantités réalistes de précipitations et d'énergie rayonnante



CLASS (MRCC4.x)

Anatomie d'un modèle climatique - surface

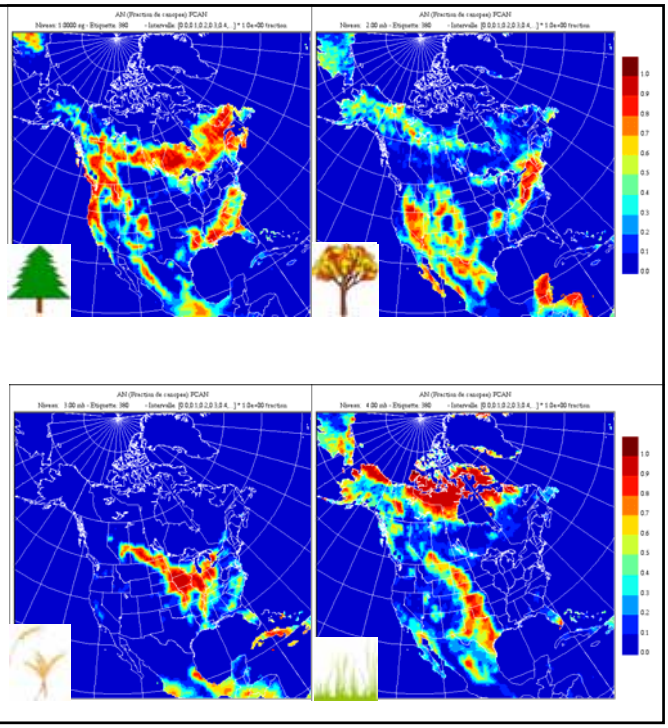
Distribution de la végétation

Quatre types principaux
- Conifères
- Feuillus
- Cultures
- Herbes

Interception de la précipitation
- Stockage d'eau sur le feuillage
  (… et réévaporation)
- Le reste tombe au sol
  (… et s'infiltre ou ruisselle)

Présence de racines pour extraire l'eau du sol

Évapotranspiration du couvert est somme de :
- Évaporation de l'eau sur le feuillage
- Évaporation de la surface sous-jacente
- Transpiration du feuillage



Modélisation globale

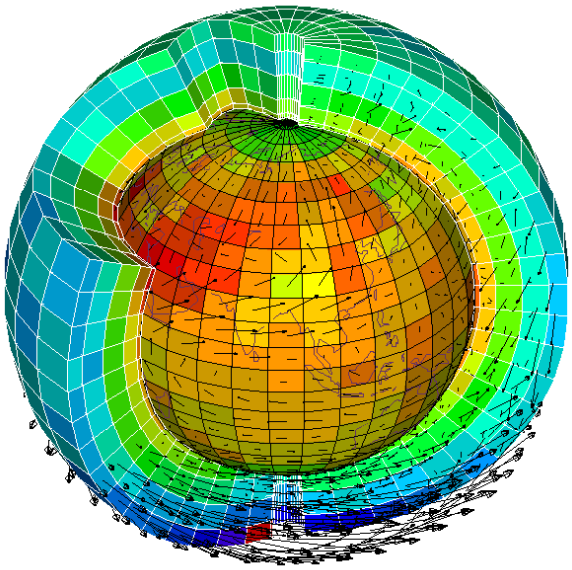
Modèle atmosphérique

GCM Global Climate Model

Modèle physique qui représente les événements météorologiques

Variables physiques sont consistantes entre elles (température, humidité, pression, …)

Résolution type
200 km
30 niveaux verticaux
Dt = 20 minutes



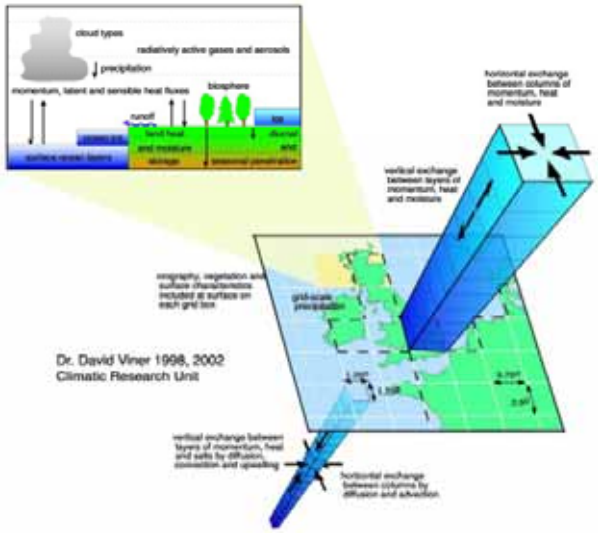
Météo-France

Modélisation globale

Le système climatique dans sa totalité

Global Coupled Model (GCM)

Structure



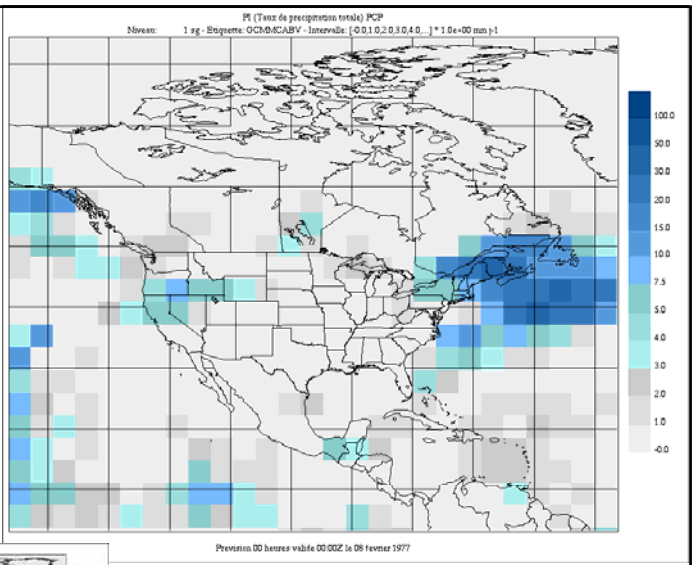
9

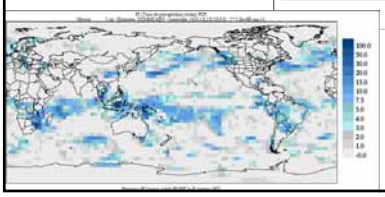
Modélisation globale

GCM

Précipitation (mm/j)
CGCM3.1v2 mc_abv
T47
Février 1977, quotidien

Manque de détails
- processus physiques
- résolution





Simulations climatiques

10

Modélisation régionale

MRC

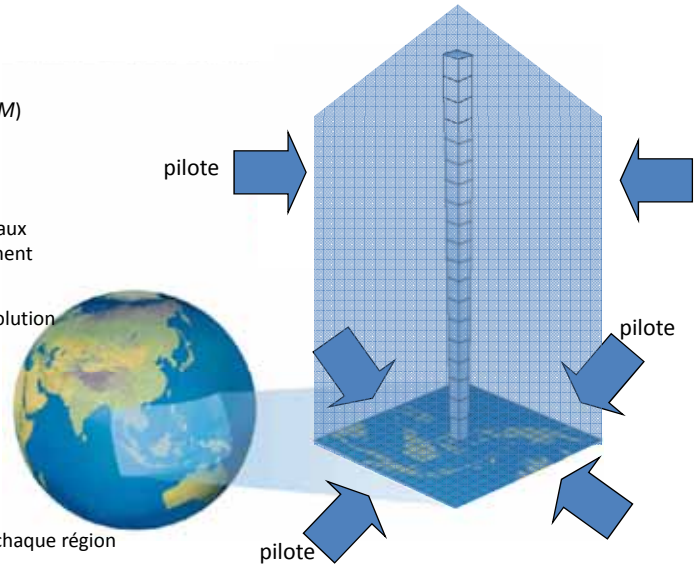
Aire limitée
(*Limited Area Model – LAM*)

Résolution horizontale
45, 25, 15 km

De 30 à 60 niveaux verticaux distribués non uniformément

+
Génère info de haute résolution
Modèle physique
Plusieurs variables
Extrêmes

-
Coûteux
Dépend des biais du gcm
Peu de simulations pour chaque région

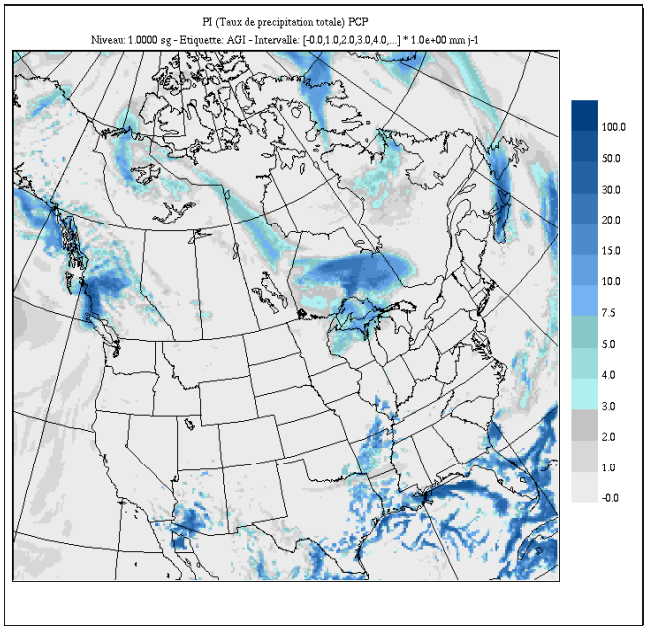


Adapté du Hadley Centre

Modélisation régionale

MRC

Précipitation (mm/j)
MRCC4.3 agi
22.5 km
Février 1977, aux 6 heures



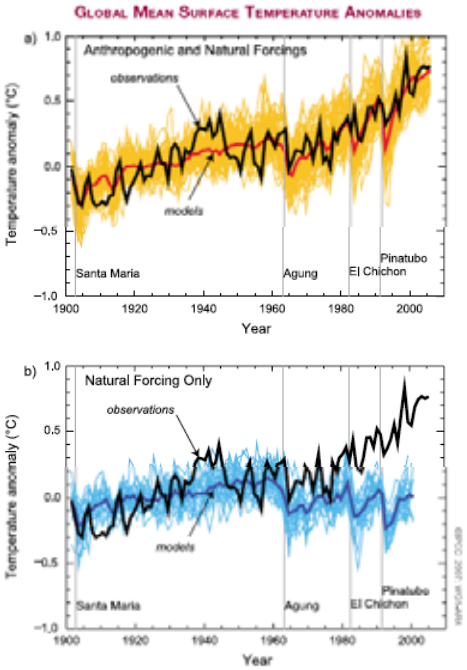
Simulations climatiques

Principe de projections climatiques

Validation des GCM

Anomalies globales annuelles de température

Simulation *vs* observations



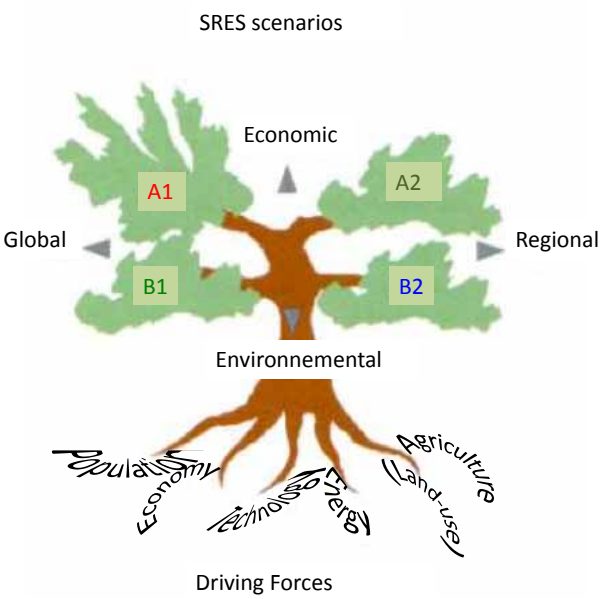
50 simulations par 14 modèles

19 simulations par 5 modèles

IPCC(2007) Fig 9.5

Principe de projections climatiques

Emission Scenarios of the IPCC Special Report on Emission Scenarios (SRES)

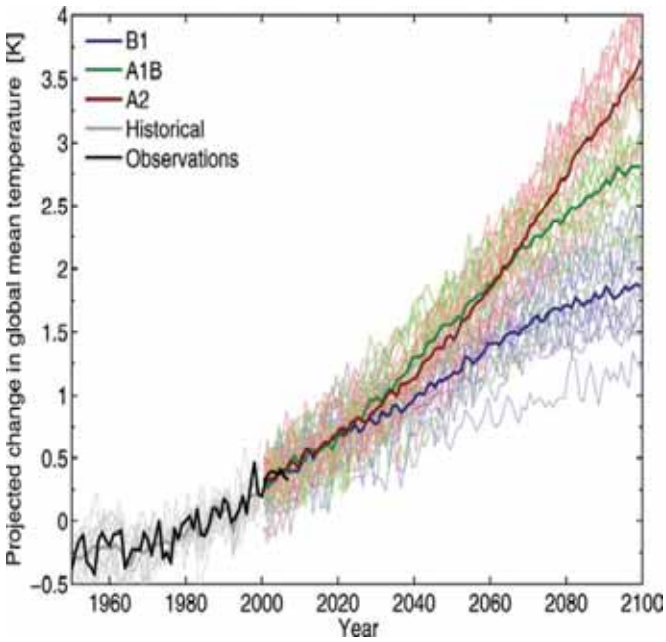


Nakicenovic et al., 2000

Principe de projections climatiques

Moyenne annuelle globale de température de surface pr moyenne 1971-2000

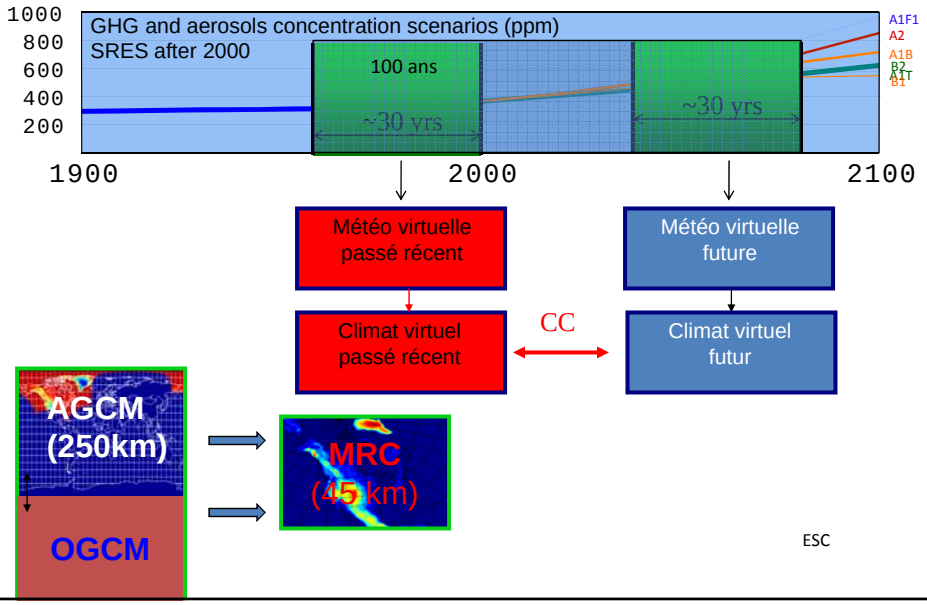
15 GCMs différents



Hawkins & Sutton (2009)

15

Principe de projections climatiques



ESC

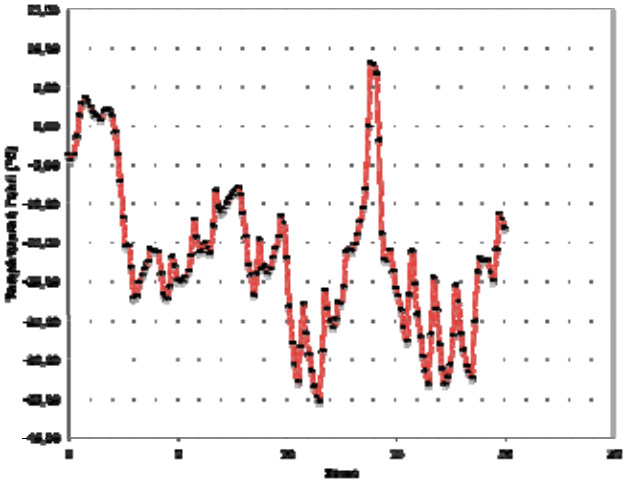
Principe de projections climatiques

Température au niveau de l'abri

Produite aux 15 minutes
Archivée aux 3 heures

Point au nord du Québec

20 jours



17

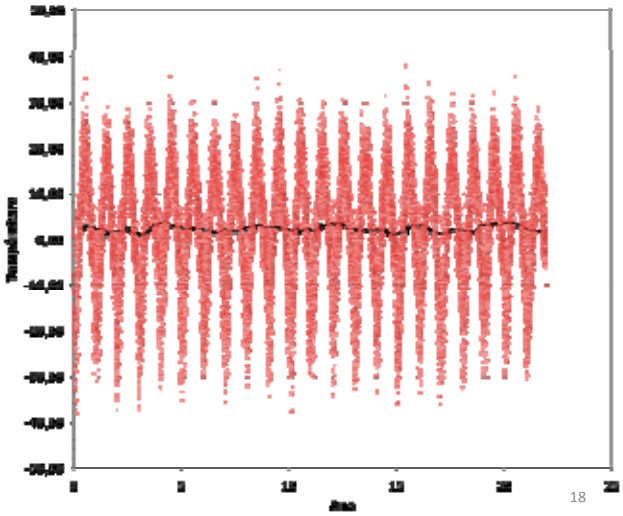
Principe de projections climatiques

Température au niveau de l'abri

Produite aux 15 minutes
Archivée aux 3 heures

Point au nord du Québec

22 ans
Moyenne 3 °C



18

140 ans de température quotidienne maximum

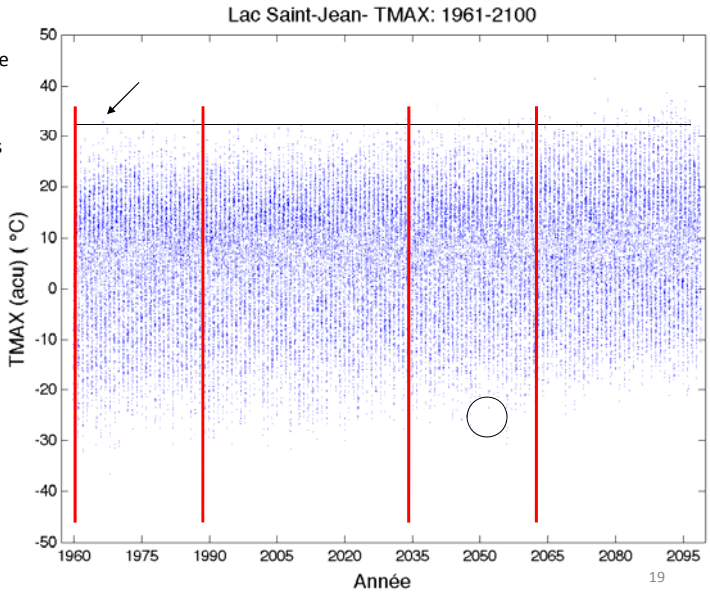
4. Modélisation régionale

Projections régionales de changement climatique

Produite aux 15 minutes

Calcul quotidien

140 ans de température quotidienne maximum au niveau de l'abri



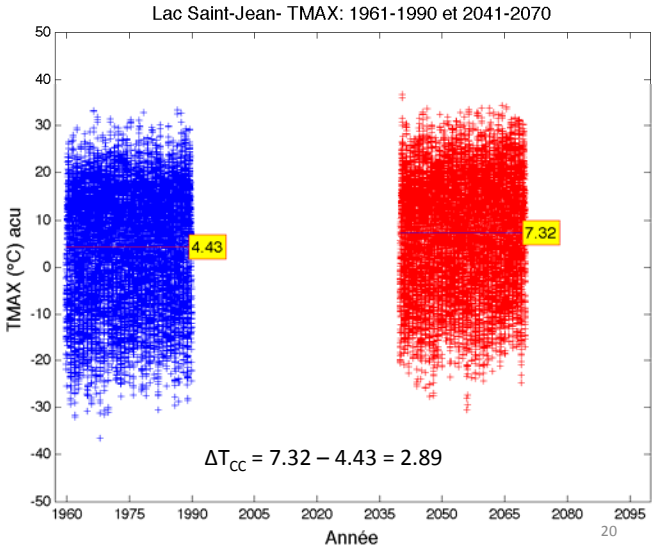
19

Principe de projections climatiques

Température au niveau de l'abri

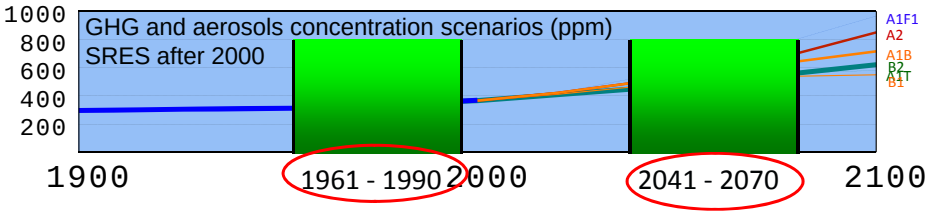
Signal de changement climatique pour la température maximale au niveau de l'abri Lac-Saint-Jean

2041-2070 – 1961-1990



20

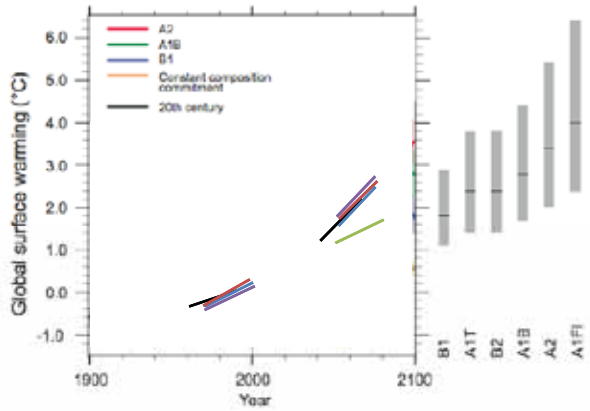
Incertitudes



Regional climate change projection over North America
from CRCM v4.2.3 at 45km resolution
driven at its boundaries by
CGCM3 #4
and the IPCC scenario SRES A2

ESC

Incertitudes



1961 - 1990

2041 - 2070

Regional climate change projection over North America
from CRCM v4.2.3 at 45km resolution
driven at its boundaries by
ARPEGE 3 #5
and the IPCC scenario SRES B1

Incertitudes

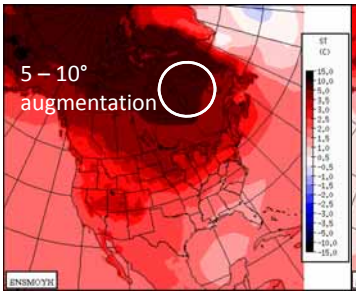
2041-2070 (A2) *vs* 1961-1990

DJF

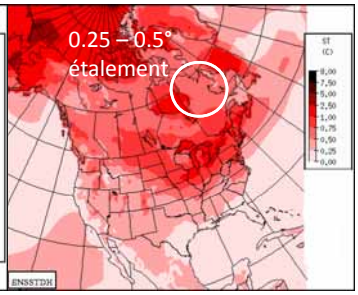
Moyenne d'ensemble de 18 simulations MRCC pilotées CGCM

Version MRCC
Version CGCM
Membres CGCM
Conditions initiales MRCC
Intervalle pilotage

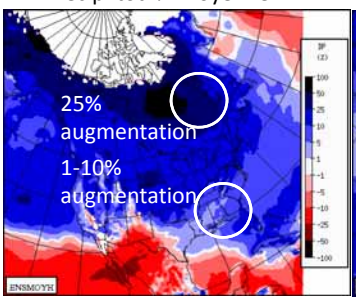
Temp. 2 m °C moyenne



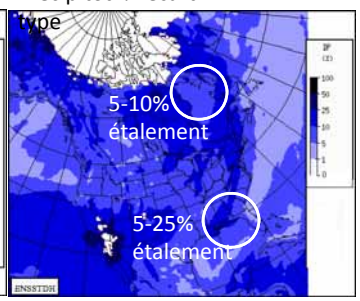
Temp. 2 m °C écart-type



Précip. tot. % moyenne



Précip tot. % écart-type



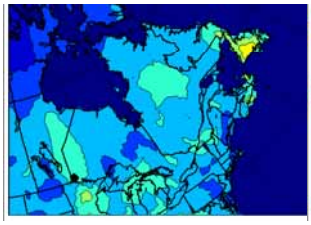
Côté et Elia, 2009

Incertitudes

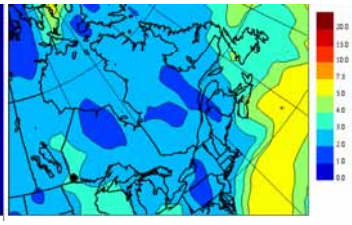
Validation
4 sources différentes

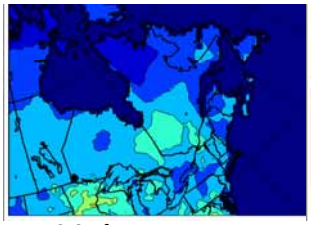
Été (JJA) 1995
Précipitation mm/j

CRU2 0.5°

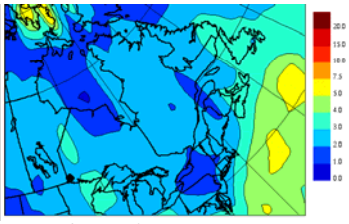


GPCP 2.5°





WM2 0.5°



Xie-Arkin 2.5°

ESC

Remerciements

- Merci
  - Équipe de simulations climatiques : Sébastien Biner, Hélène Côté, Anne Frigon, Michel Giguère, Daniel Caya et tout particulièrement
  - Richard Harvey
- paquin.dominique@ouranos.ca