

Comparaison du climat simulé par le modèle couplé IPSLCM5A sur les différents calculateurs utilisés à l'IPSL

J. Servonnat ⁽¹⁾, M.A. Foujols ⁽²⁾, F. Hourdin ⁽³⁾, A. Caubel
⁽¹⁾, P. Terray ⁽⁴⁾, O. Marti ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement

⁽²⁾ Institut Pierre Simon Laplace

⁽³⁾ Laboratoire de Météorologie Dynamique

⁽⁴⁾ Laboratoire d'Océanographie et de Climatologie : Approches
Expérimentales et Numériques



- 1. Le Pôle de modélisation de l'IPSL et le modèle de système Terre**
- 2. Contexte de l'étude = CMIP5 et l'arrêt de la NEC SX9 dédiée au climat**
- 3. IPSLCM5A sur les différents calculateurs**



1. Le Pôle de modélisation de l'IPSL et le modèle de système Terre

2. Contexte de l'étude = CMIP5 et l'arrêt de la NEC SX9 dédiée au climat

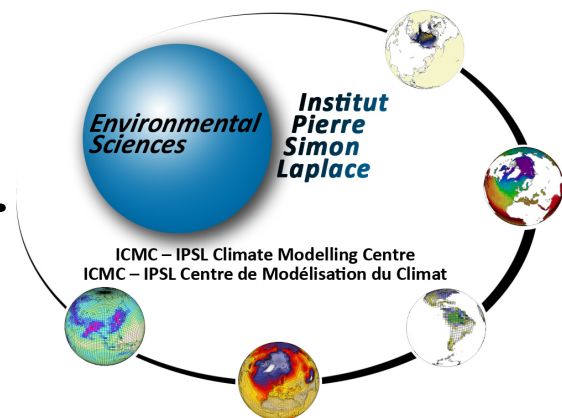
3. IPSLCM5A sur les différents calculateurs



L'Institut Pierre Simon Laplace = IPSL

Fédération de 6 laboratoires, liée à 3
Observatoires des Sciences de l'Univers :

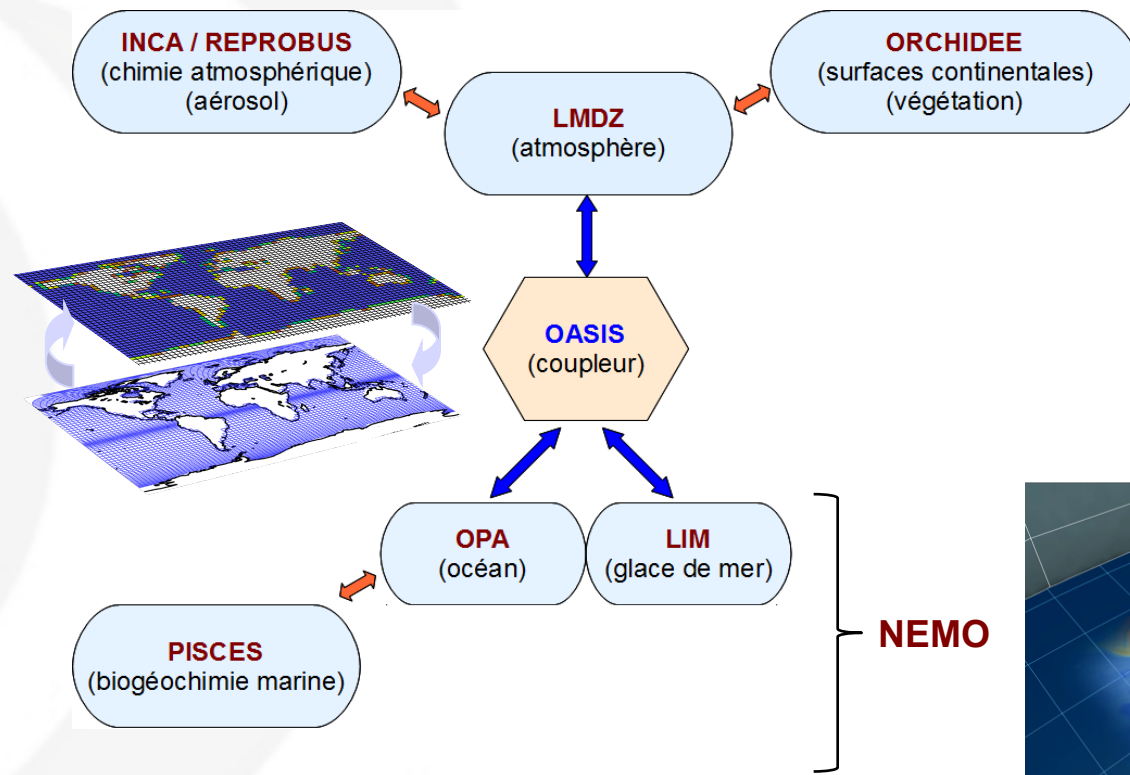
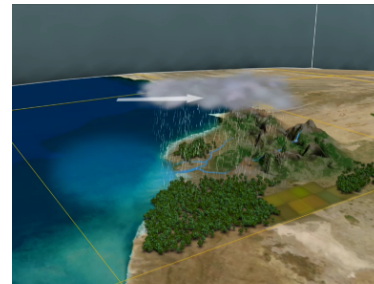
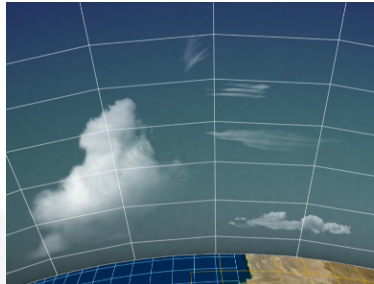
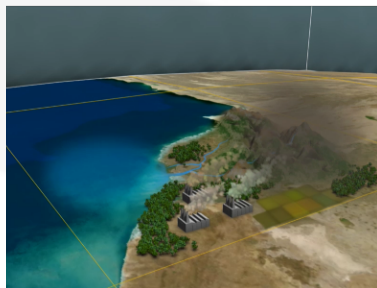
- Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales (LATMOS)
- Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques (LISA)
- Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD)
- Laboratoire d'Océanographie et du Climat : Expérimentation et Approches Numériques (LOCEAN)
- Laboratoire de Physique Moléculaire pour l'Atmosphère et l'Astrophysique (LPMAA)
- Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE)



Pôle de Modélisation du Climat



Le modèle couplé « Système Terre » de l'IPSL

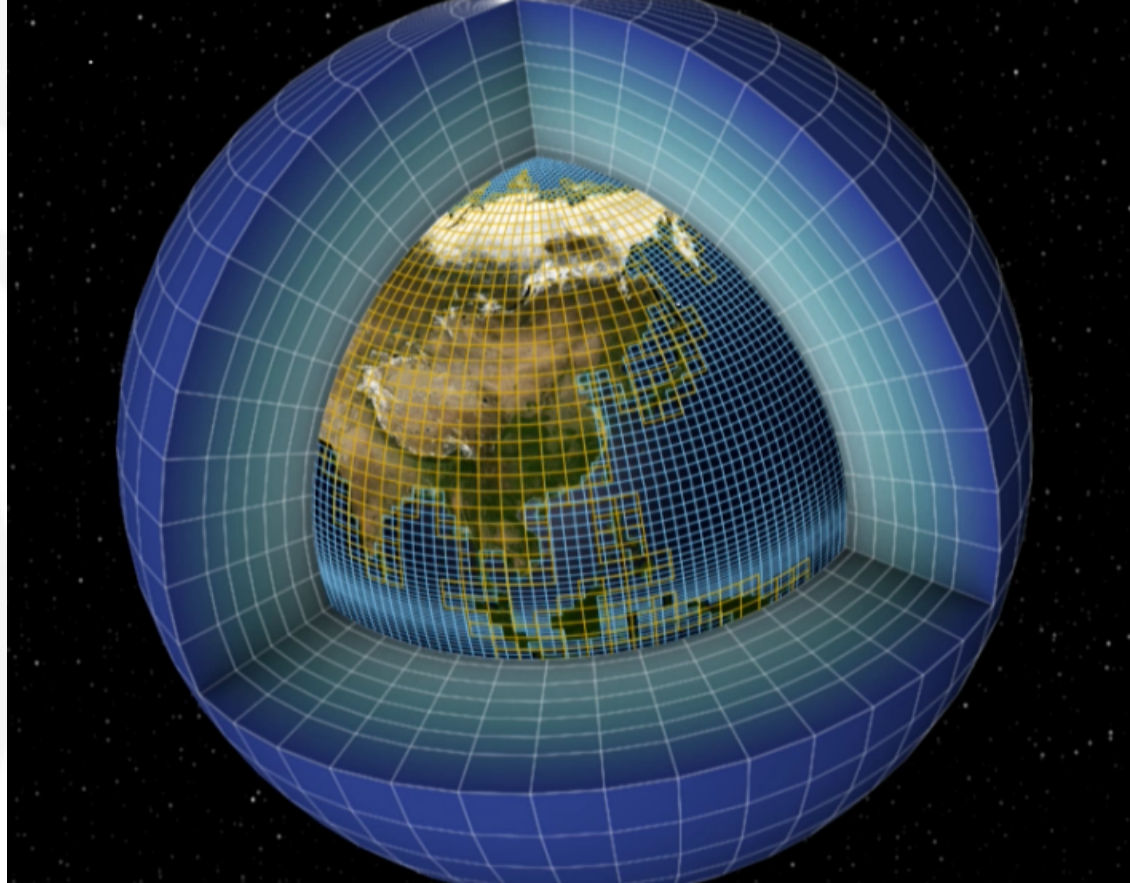


LABORATOIRE DES SCIENCES DU CLIMAT & DE L'ENVIRONNEMENT

Journées RAIM, 20/11/2013, IHP



Le modèle couplé « Système Terre » de l'IPSL



LABORATOIRE DES SCIENCES DU CLIMAT & DE L'ENVIRONNEMENT

Journées RAIM, 20/11/2013, IHP

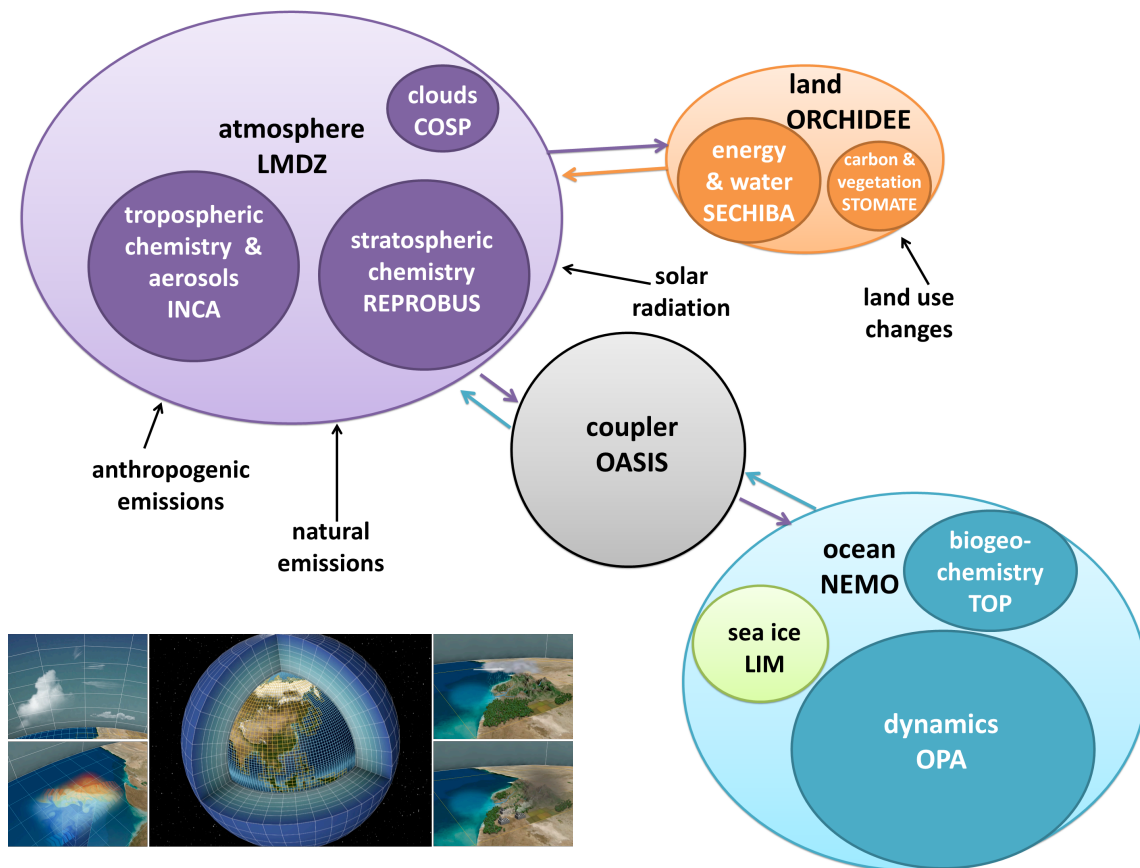


Institut
Pierre
Simon
Laplace

Un modèle numérique IPSL pour étudier le climat

IPSL Climate Model 5A
Institut Pierre Simon Laplace, France

372 367 lignes de codes
100.13 homme*an

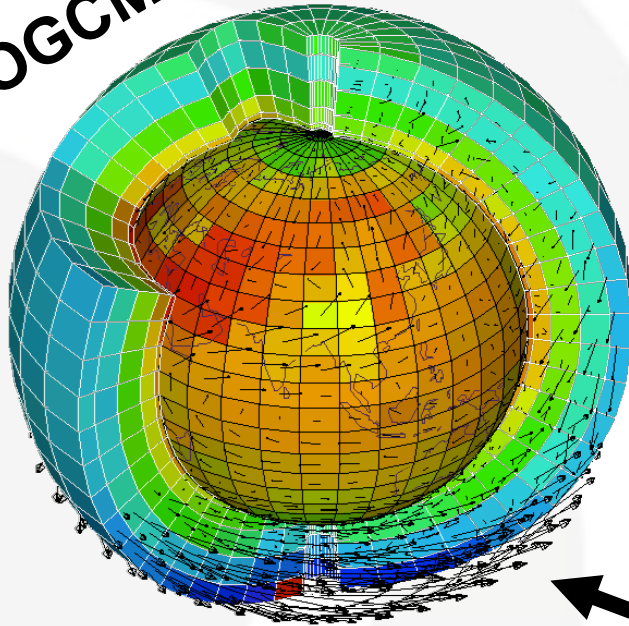


From K. Alexander & S. Easterbrook

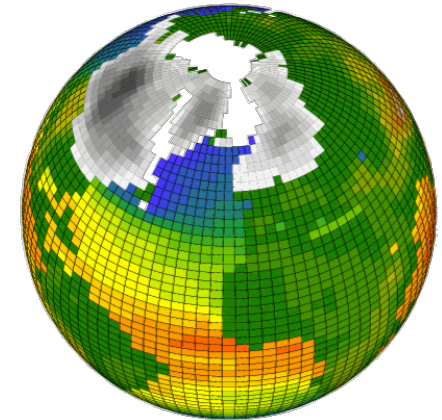


Simulations du Dernier Maximum Glaciaire

AOGCM



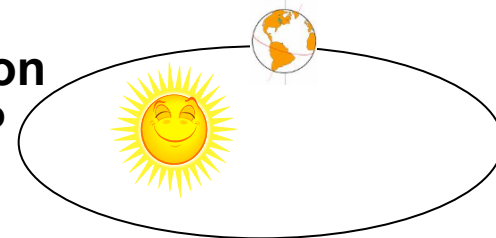
Calottes
glaciaires



Composition
atmosphérique
CO₂: 185 ppm
CH₄: 350 ppb...



Insolation
21ky BP



LABORATOIRE DES SCIENCES DU CLIMAT & DE L'ENVIRONNEMENT

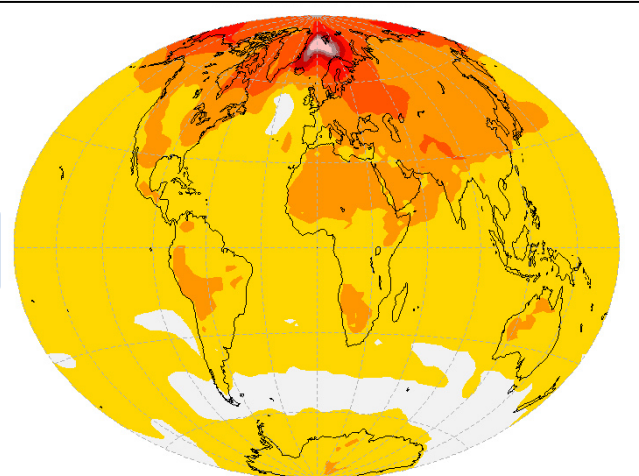
Journées RAIM, 20/11/2013, IHP



Réchauffement global fin du 21^{ème} siècle

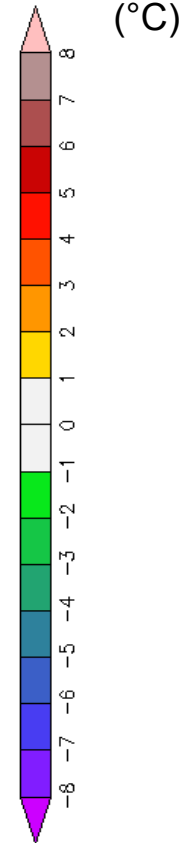
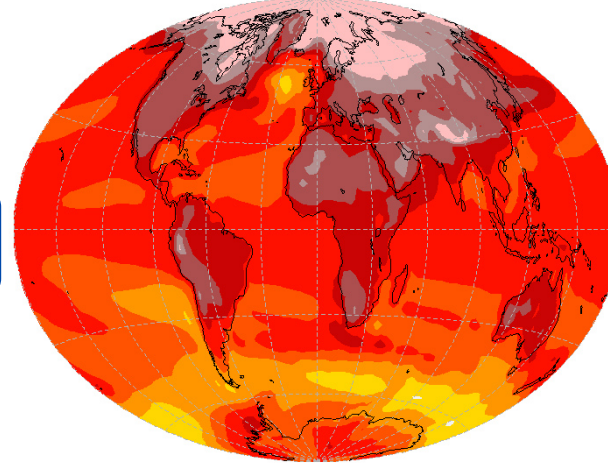
Différence entre 2100 et 1990

RCP2.6



IPSL-CM5A-LR

RCP8.5



LABORATOIRE DES SCIENCES DU CLIMAT & DE L'ENVIRONNEMENT

Journées RAIM, 20/11/2013, IHP



1. Le Pôle de modélisation de l'IPSL et le modèle de système Terre
- 2. Contexte de l'étude = CMIP5 et l'arrêt de la NEC SX9 dédiée au climat**
3. IPSLCM5A sur les différents calculateurs



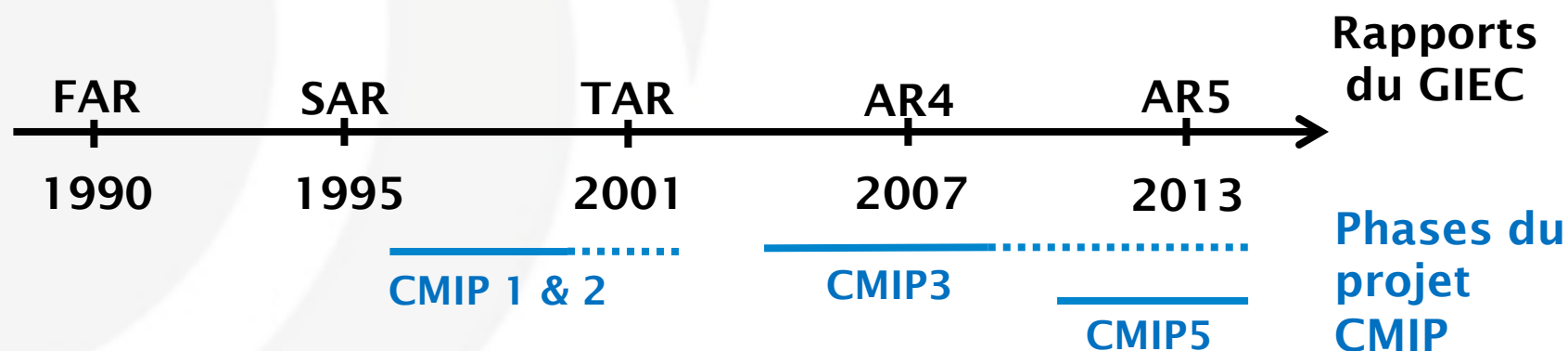
Les projets CMIP et les rapports du GIEC

CMIP = Coupled Model Intercomparison Project

GIEC (IPCC) = Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

Un projet de comparaison de résultats de modèles climatiques en amont des rapports du GIEC

- Modèle couplé Atmosphère – Continent - Océan – Glace
- Simulations numériques en respectant un protocole défini
- Mise à disposition des résultats selon un protocole défini
- Publications scientifiques décrivant le modèle et ses résultats
- Piloté par le Programme Mondial de Recherche sur le Climat



Simulations réalisées avec IPSL-CM5 pour CMIP5

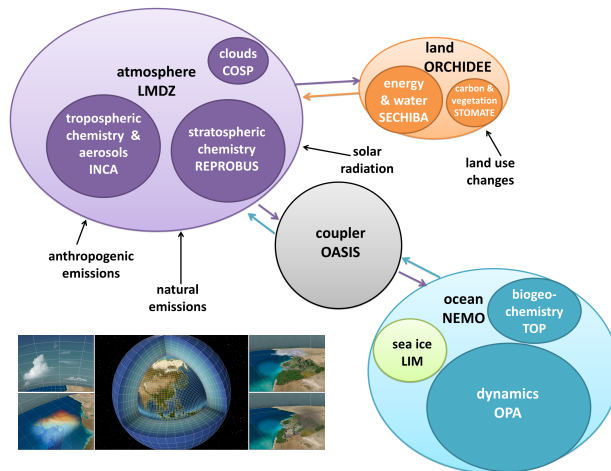
Simulations	CM5A-LR		CM5A-MR		CM5B-LR	
	# Yr	#Expe	# Yr	#Expe	# Yr	#Expe
piControl+historical+AMIP	2900	16	1260	8	490	4
Paleo	3000	3	-	-	500	1
Future climate projections	2200	16	800	4	200	2
Carbon emission	800	8	140	1	-	-
Diagnostic & understanding	1750	22	280	2	510	9
Detection and attribution	4800	30	960	6	-	-
Others	4400	35	-	-	-	-
Total	19850	130	3440	21	1700	16

- Un nombre de simulations, de variables, de fichiers, et un volume de données sans précédent pour nous.



Un ordinateur dédié au climat

IPSL Climate Model 5A
Institut Pierre Simon Laplace, France

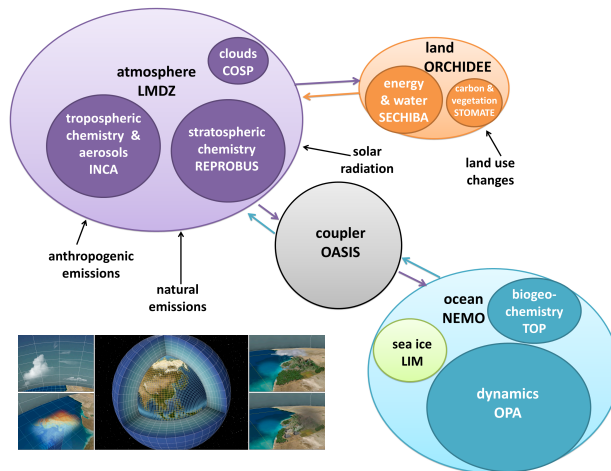


- Un ordinateur NEC SX9 Mercure dédié Climat
- financé par GENCI, mise en service en 2009
- Occupé pendant 3½ ans à plein temps
- Calculateur principal pour les simulations CMIP5 (en amont du 5^{ème} rapport du GIEC)



Un ordinateur dédié au climat

IPSL Climate Model 5A
Institut Pierre Simon Laplace, France



- Un ordinateur NEC SX9 Mercure dédié Climat
- financé par GENCI, mise en service en 2009
- Occupé pendant 3½ ans à plein temps
- Calculateur principal pour les simulations CMIP5 (en amont du 5^{ème} rapport du GIEC)
- Et le 15 décembre 2012, Mercure s'arrête



D'autres calculateurs pour le climat

Vargas - IBM

Ada - IBM

IDRIS

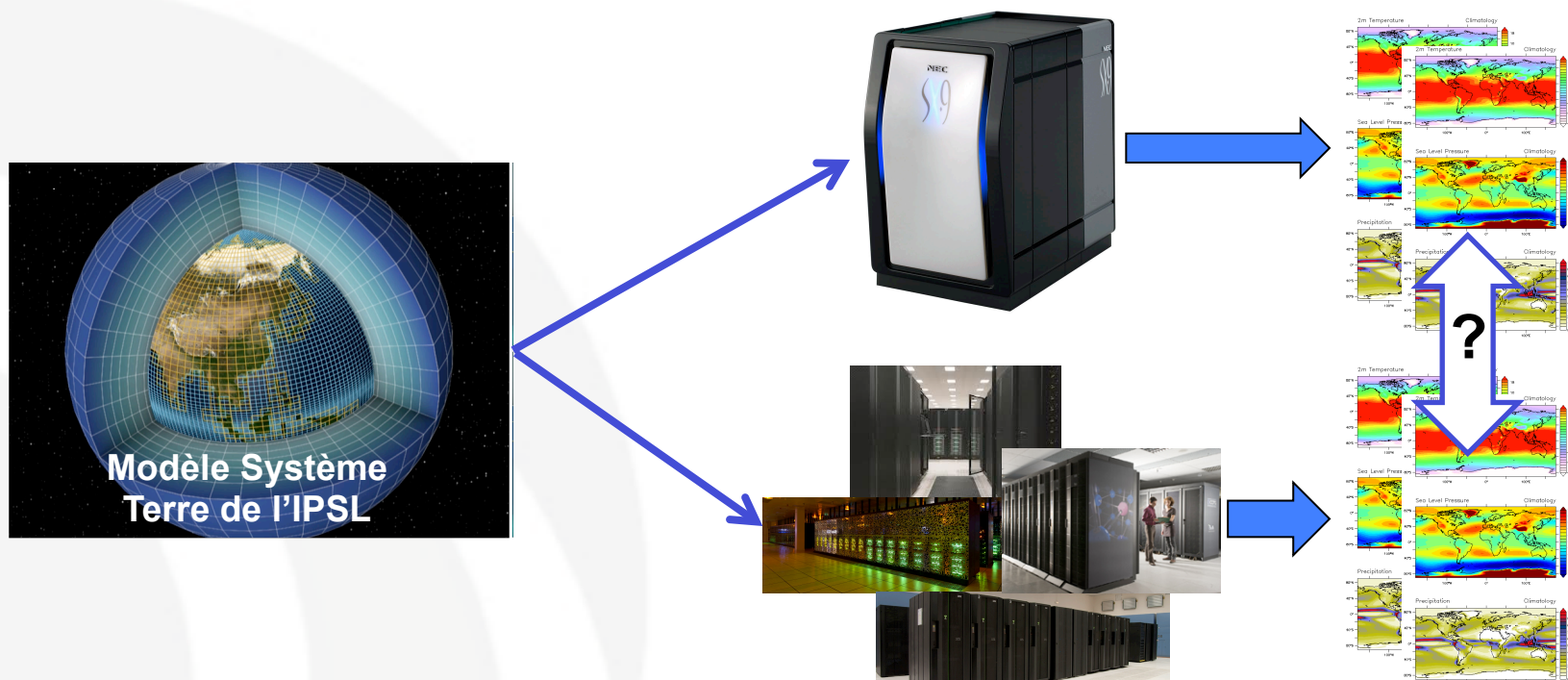
Quid des
études en
cours, ou
utilisant les
simulations
produites sur la
SX9?

Titane - Bull

CCRT-TGCC



Questions



La question « utilisateur »

Est-ce qu'on peut changer de calculateur au cours d'une étude, d'un projet (passer de SX9 à Curie au CCRT-TGCC par exemple)?

La question scientifique

Est-ce que le climat du modèle climatique IPSL-CM5A est le même quand on l'utilise sur différents calculateurs?

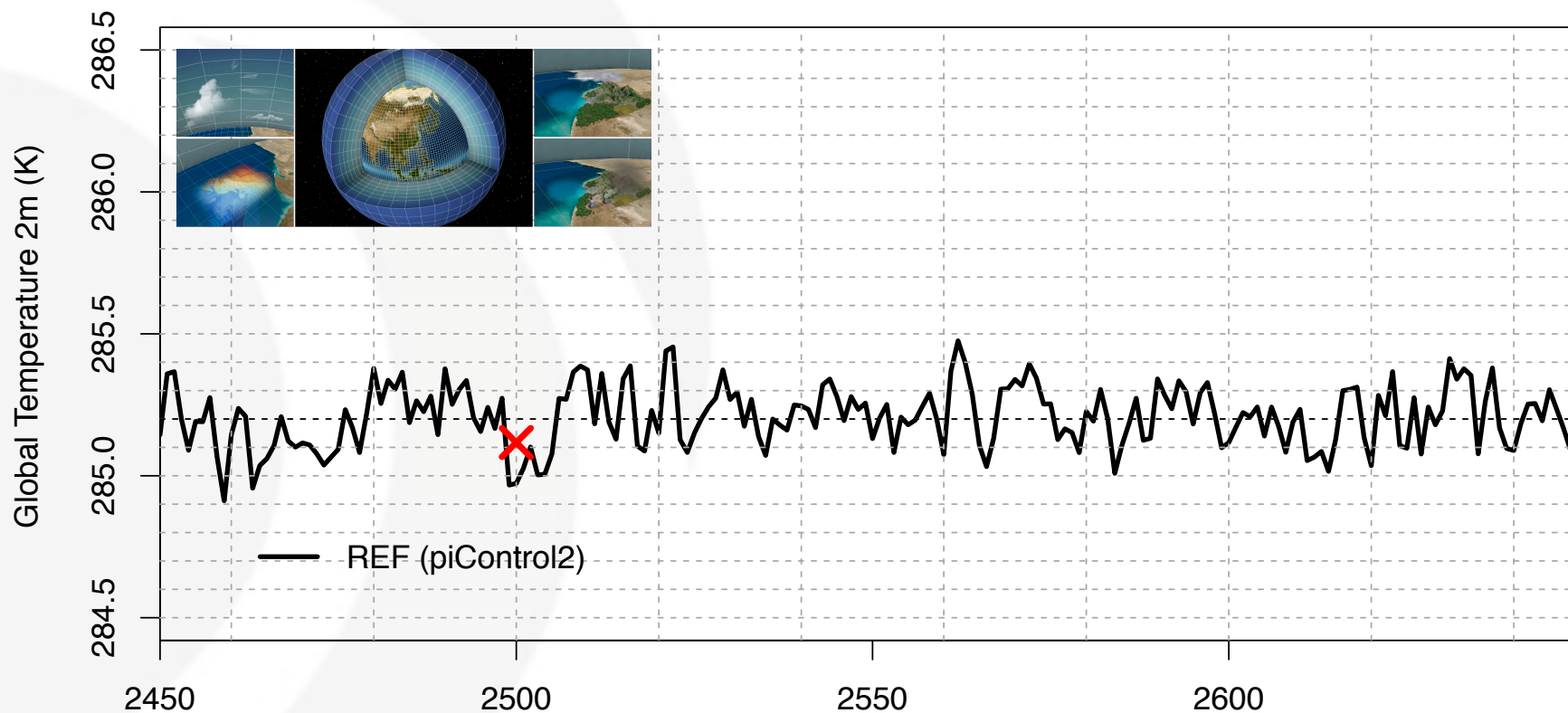


1. Le Pôle de modélisation de l'IPSL et le modèle de système Terre
2. Contexte de l'étude = CMIP5 et l'arrêt de la NEC SX9 dédiée au climat
- 3. IPSLCM5A sur les différents calculateurs**



Protocole

- Une version du modèle IPSLCM5A (référence IPCC AR5)



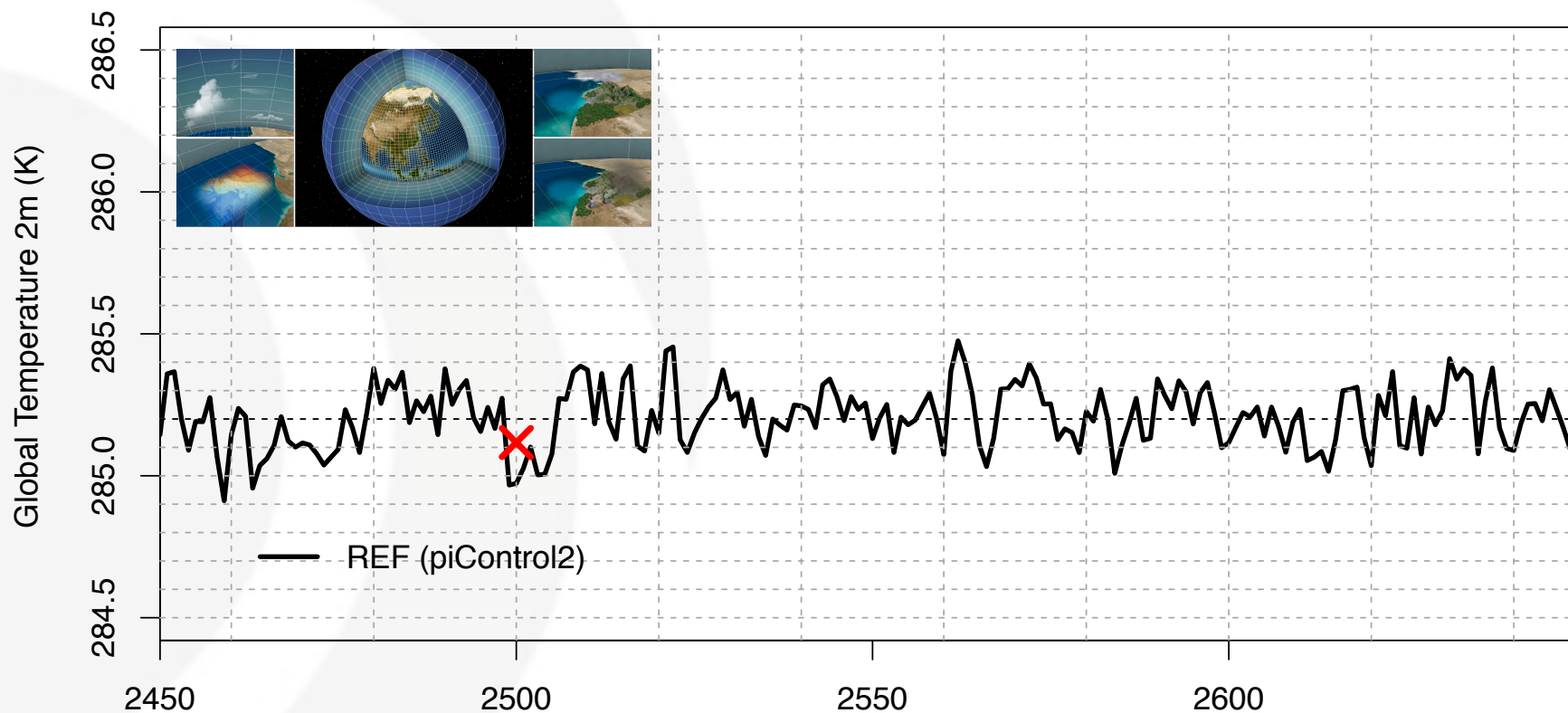
LABORATOIRE DES SCIENCES DU CLIMAT & DE L'ENVIRONNEMENT

Journées RAIM, 20/11/2013, IHP



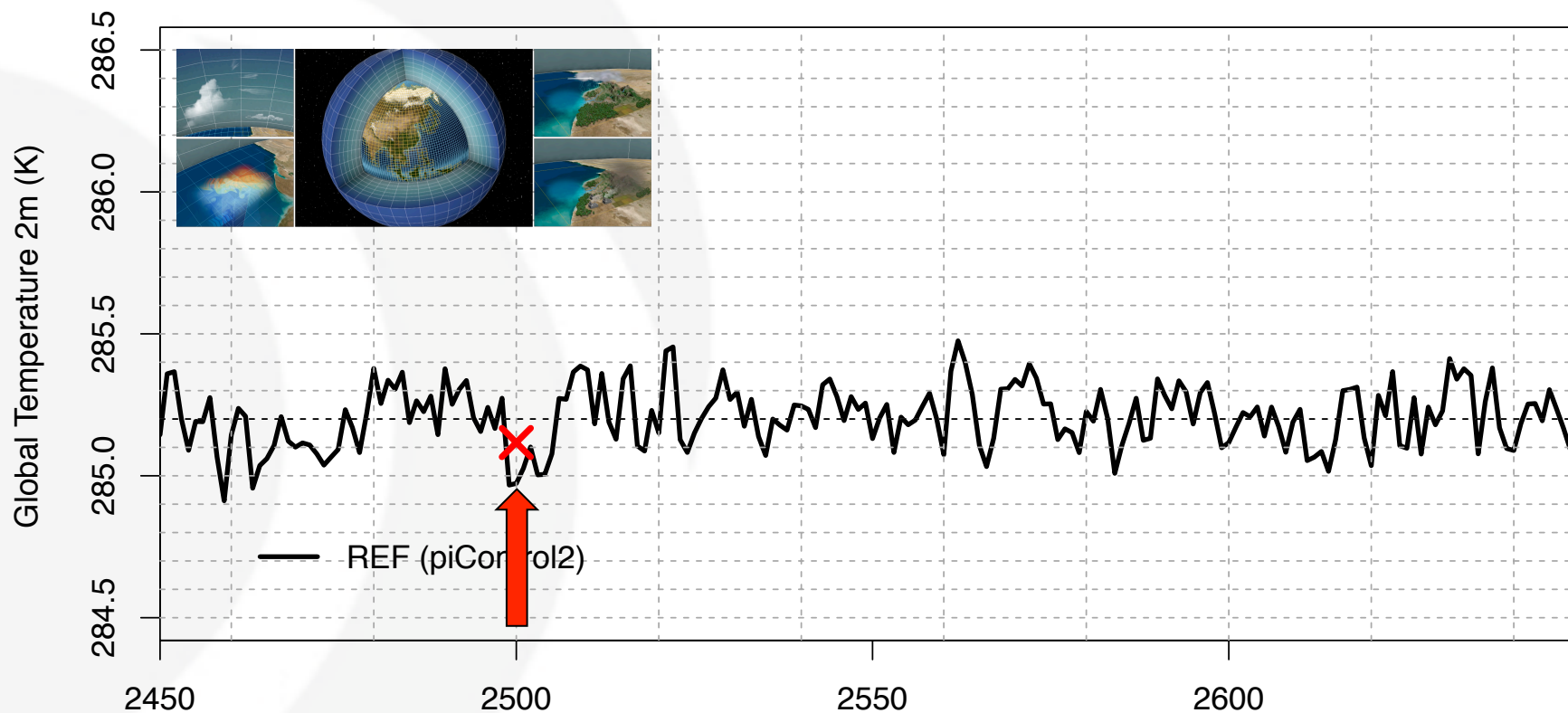
Protocole

- Une version du modèle IPSLCM5A (référence IPCC AR5)
- Une simulation de contrôle = piControl2 (Mercure SX9) ~2000ans de run sans changer les conditions aux limites



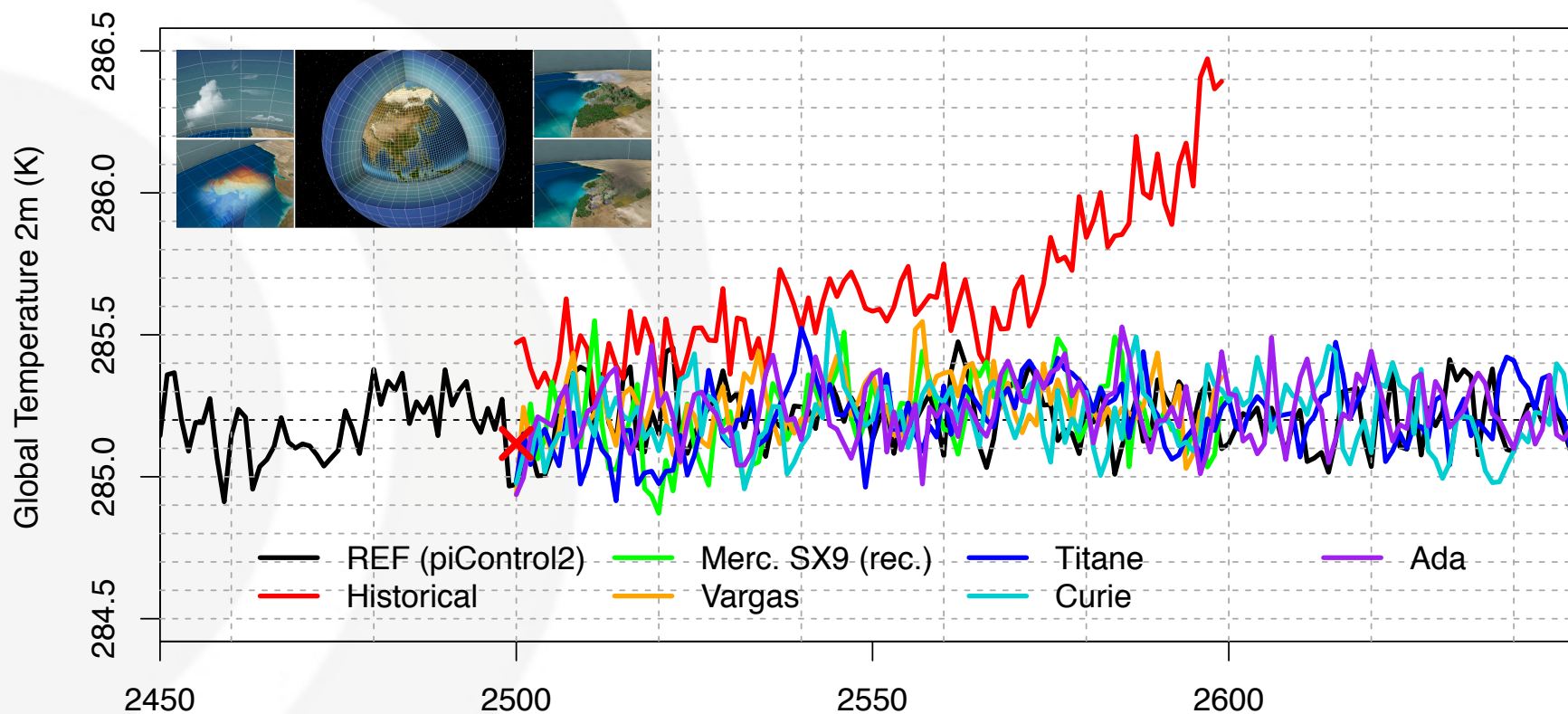
Protocole

- Une version du modèle IPSLCM5A (référence IPCC AR5)
- Une simulation de contrôle = piControl2 (Mercure SX9) ~2000ans de run sans changer les conditions aux limites
- Un état initial commun



Protocole

- Une version du modèle IPSLCM5A (référence IPCC AR5)
- Une simulation de contrôle = piControl2 (Mercure SX9) ~2000ans de run sans changer les conditions aux limites
- Un état initial commun
- Recompiler le modèle sur Vargas et Ada (Idris), Titane et Curie (CCRT-TGCC)

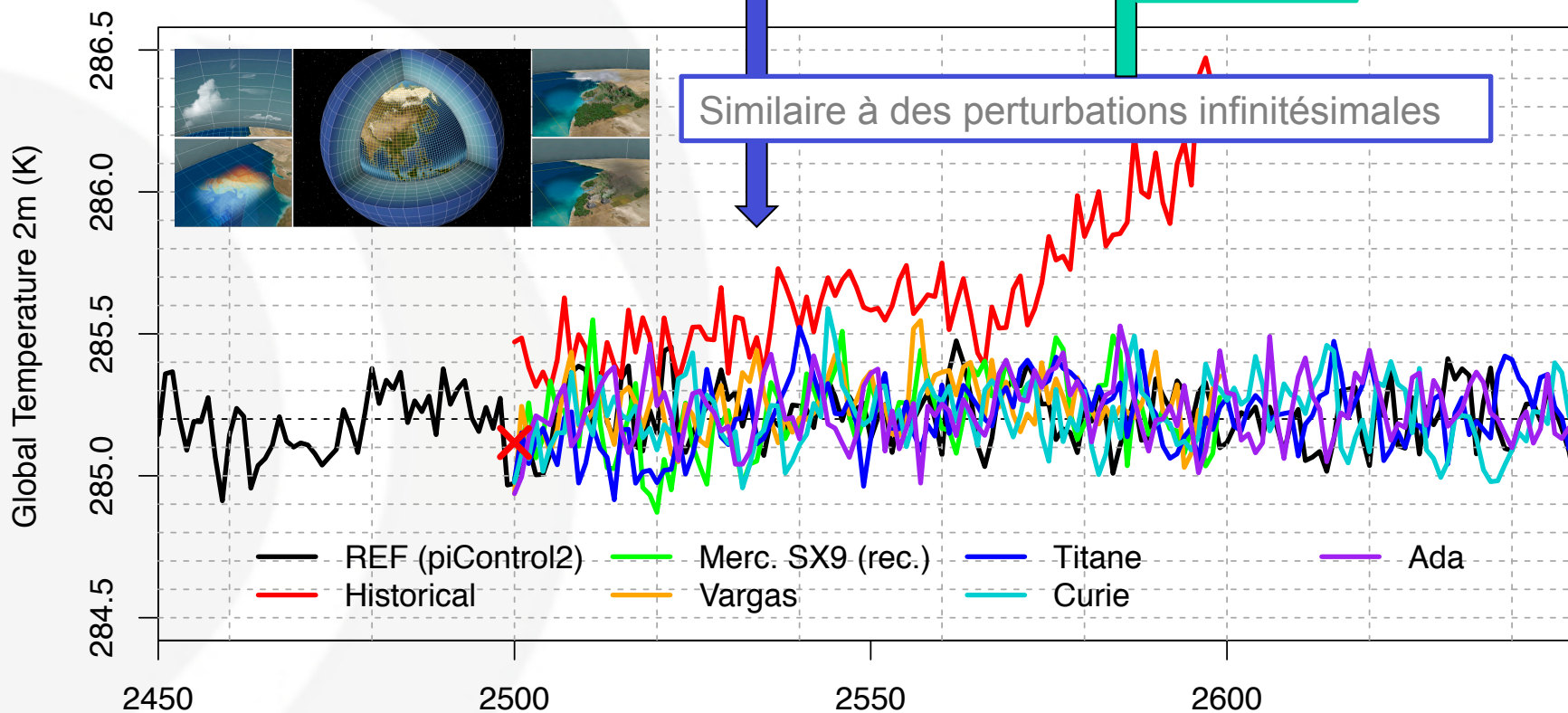


Protocole

- Le modèle prend des trajectoires différentes sur les différents calculateurs
- Lié aux différences de:
 - ⇒ Traitement du calcul parallèle
 - ⇒ Compilateur et options de compilation

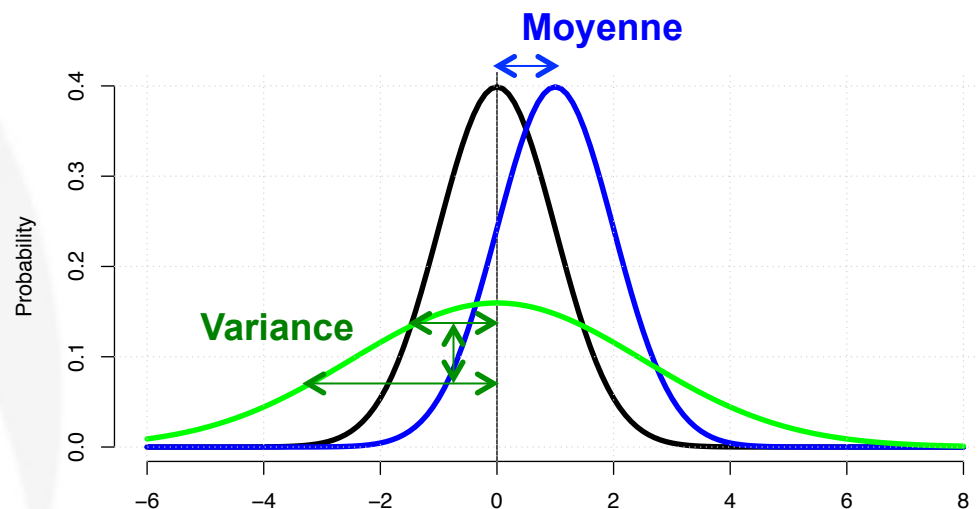
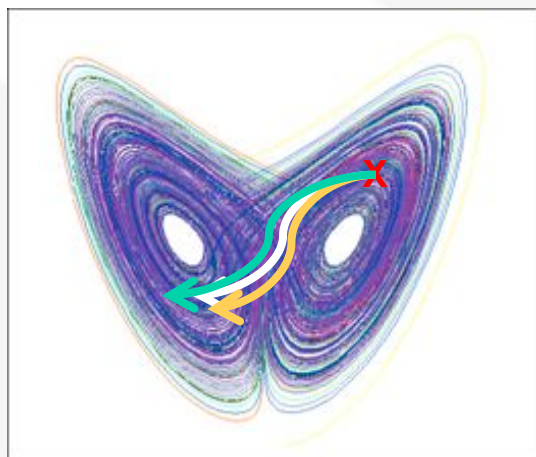
Modèle
chaotique

Similaire à des perturbations infinitésimales



Est-ce que le climat est le même?

Climat = description statistique (moyenne et variabilité) de la météorologie



Si la trajectoire est différente mais que le climat ne change pas, c'est bon!



Analyse de l'état moyen = la climatologie

On prend trois variables climatologiques couramment utilisées:

- Température à 2m
- Pression au niveau de la mer
- Précipitation

Pour chaque variable, on calcule la climatologie (moyenne temporelle) sur une longueur de période T (ex: 30ans) :

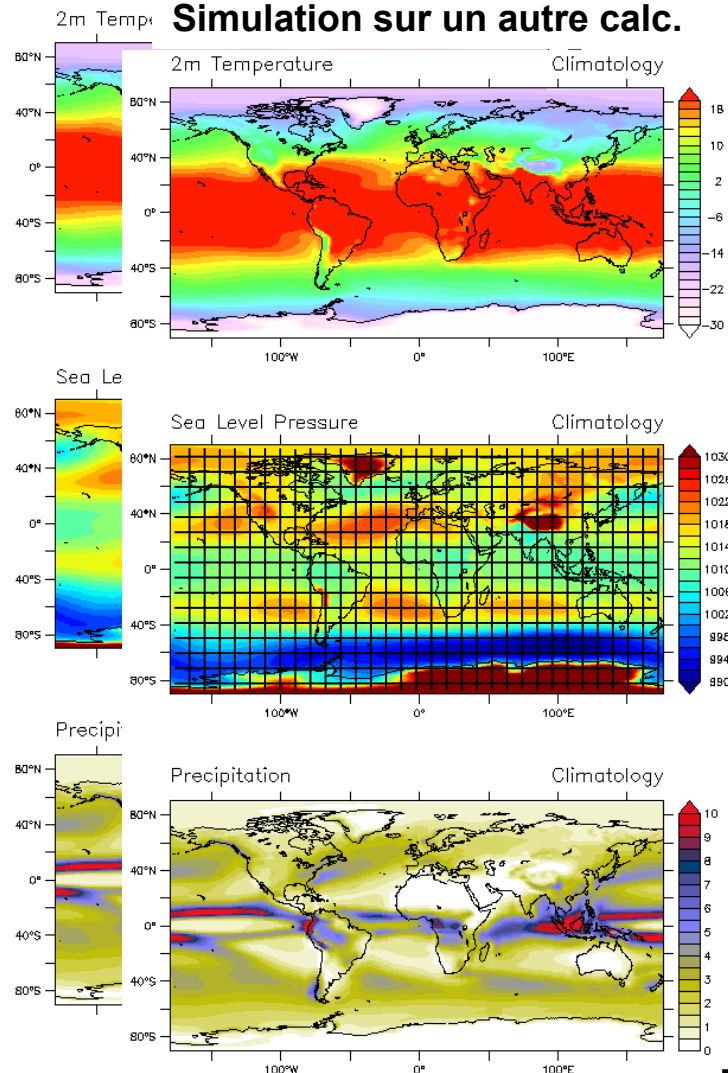
- À partir de la date de départ commune
- de la simulation piControl2 (référence)
- Et de chaque autre simulation (modèle sur les autres calculateurs)

On calcule une distance quadratique entre les cartes obtenues (par point de grille):

$$QDIST(T, calc) = \sum_i^N \left(w_i \times [X_{T,calc}(i) - X_{T,piControl2}(i)]^2 \right)$$

piControl2 (référence)

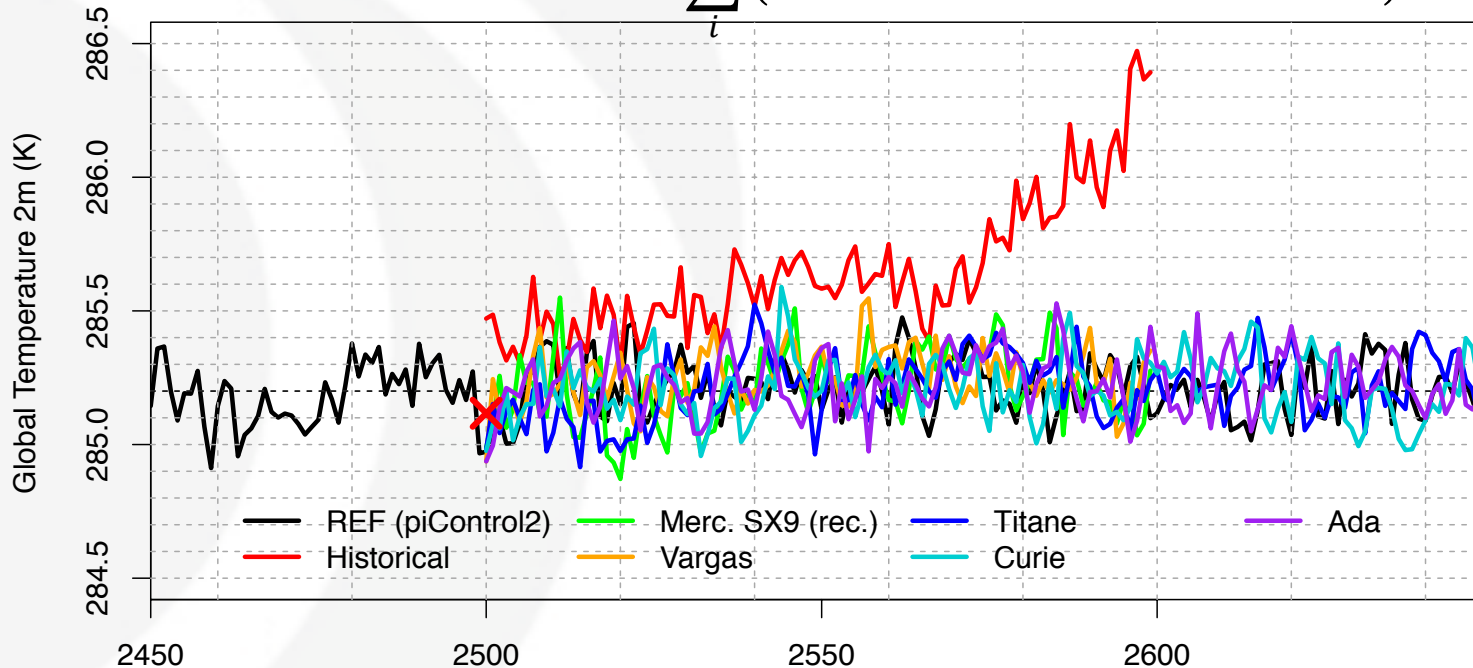
Simulation sur un autre calc.



Quelle longueur de période?

- Nécessité d'avoir une estimation stable du climat = moyenne converge en augmentant le nombre d'échantillons (si moyenne et variance stationnaires)

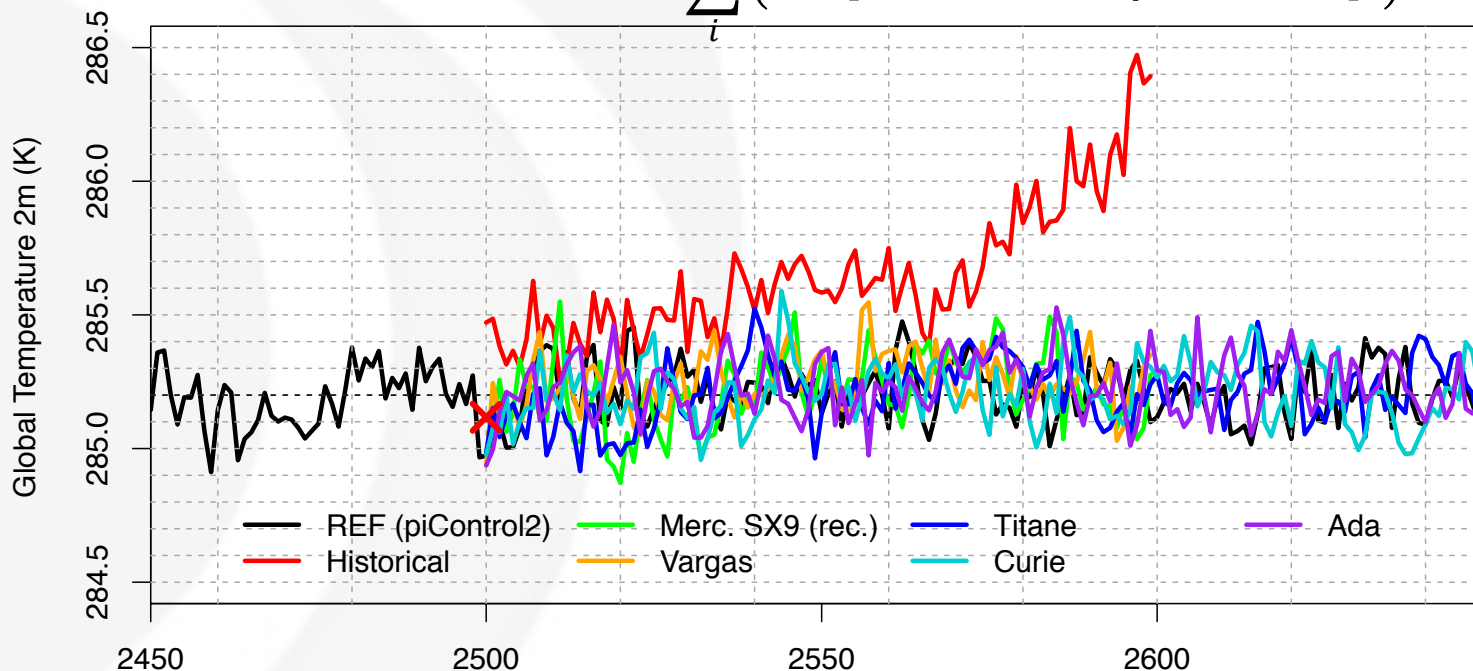
$$QDIST(T, calc) = \sum_i^N \left(w_i \times [X_{T,calc}(i) - X_{T,piControl2}(i)]^2 \right)$$



Quelle longueur de période?

- Nécessité d'avoir une estimation stable du climat = moyenne converge en augmentant le nombre d'échantillons (si moyenne et variance stationnaires)
- Potentiellement de la basse fréquence (décennale, centennale...)

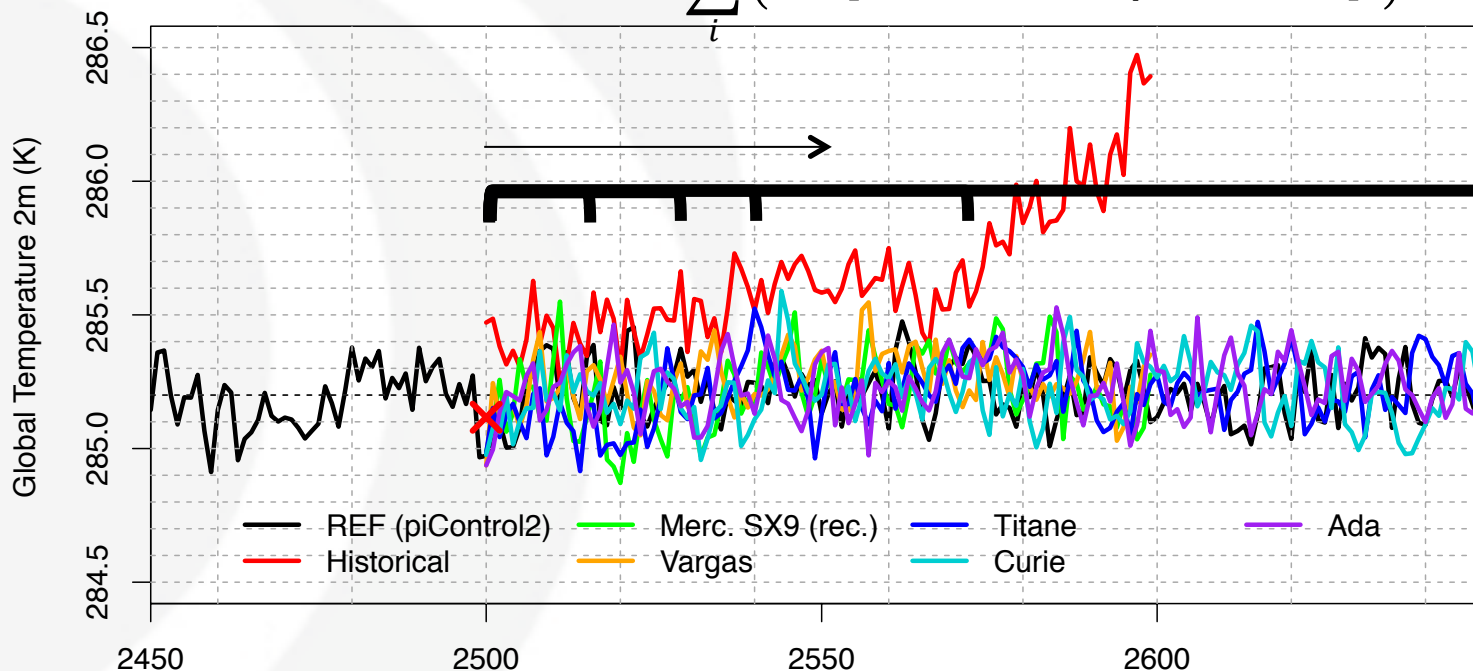
$$QDIST(T, calc) = \sum_i^N \left(w_i \times [X_{T,calc}(i) - X_{T,piControl2}(i)]^2 \right)$$



Quelle longueur de période?

- Nécessité d'avoir une estimation stable du climat = moyenne converge en augmentant le nombre d'échantillons (si moyenne et variance stationnaires)
- Potentiellement de la basse fréquence (décennale, centennale...)
- Calcul de la climatologie (moyenne temporelle) pour périodes de longueurs T croissantes (entre 20 et 200ans)

$$QDIST(T, calc) = \sum_i^N \left(w_i \times [X_{T,calc}(i) - X_{T,piControl2}(i)]^2 \right)$$

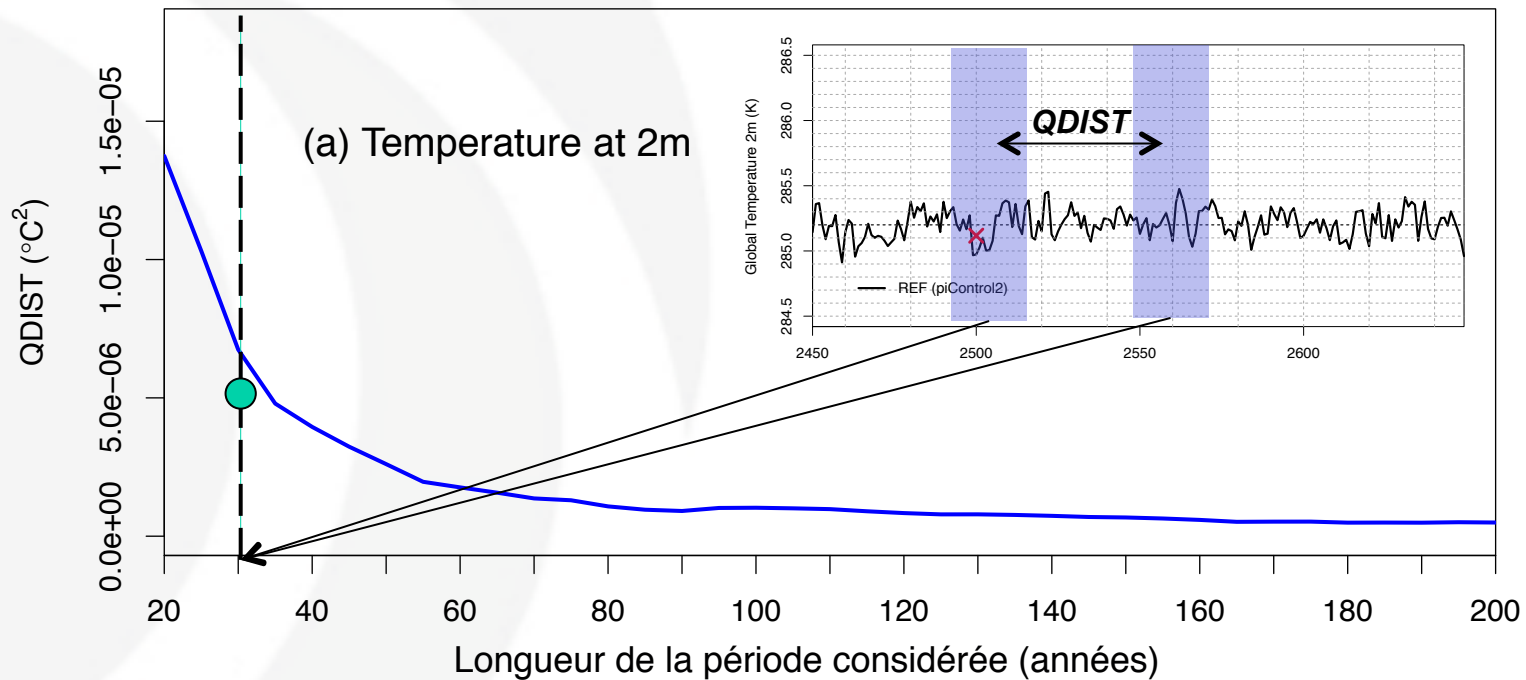


Comment sait-on si le climat est différent?

Estimation de la distribution de QDIST dans piControl2

$$QDIST(T, calc) = \sum_i^N \left(w_i \times [X_{T,calc}(i) - X_{T,piControl2}(i)]^2 \right)$$

Convergence en fonction de la longueur de la période

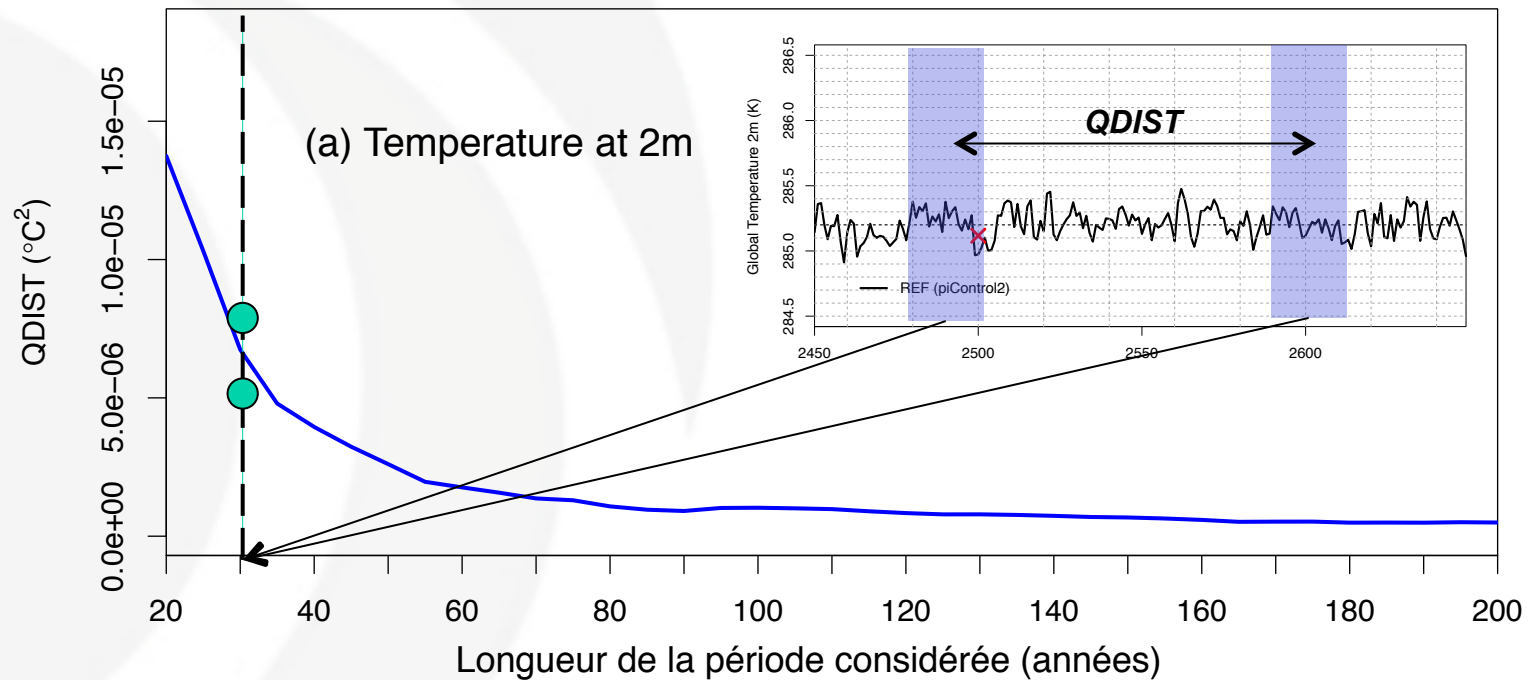


Comment sait-on si le climat est différent?

Estimation de la distribution de QDIST dans piControl2

$$QDIST(T, calc) = \sum_i^N \left(w_i \times [X_{T,calc}(i) - X_{T,piControl2}(i)]^2 \right)$$

Convergence en fonction de la longueur de la période

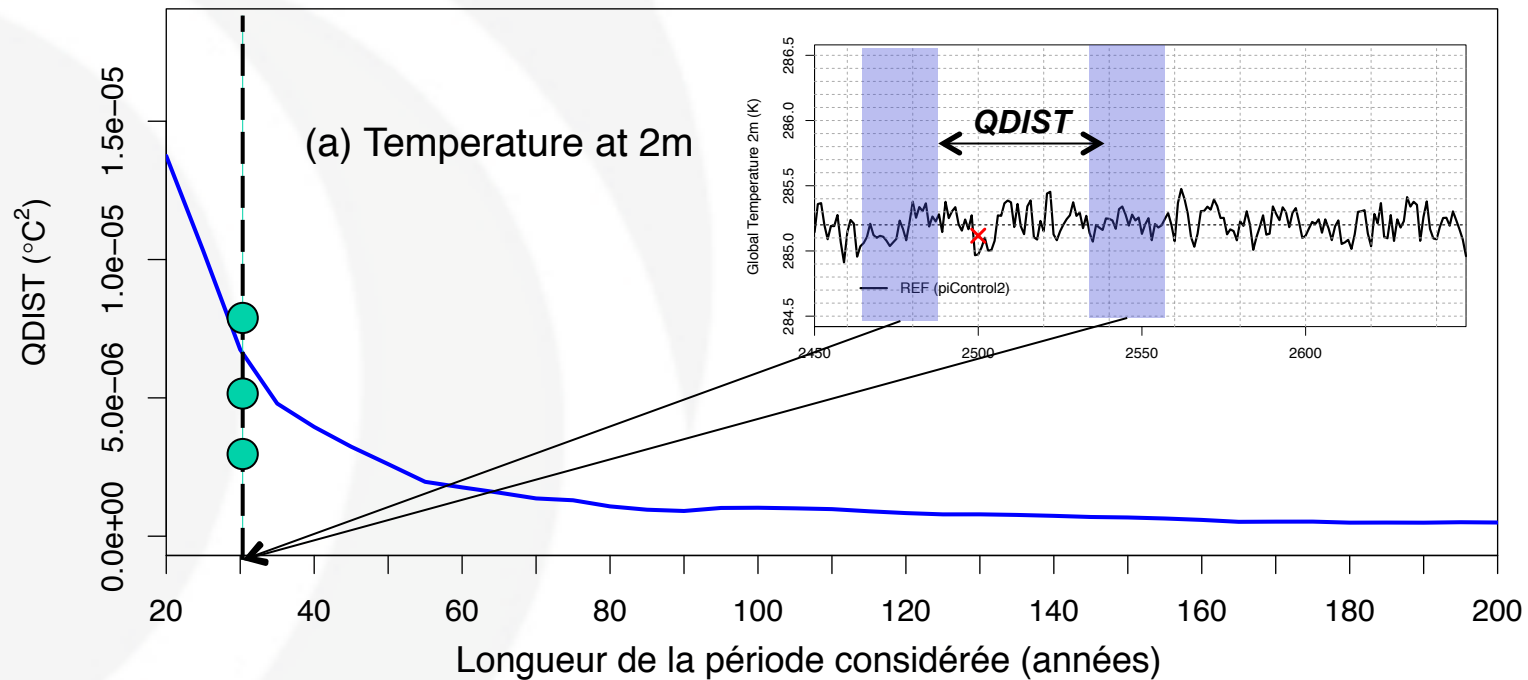


Comment sait-on si le climat est différent?

Estimation de la distribution de QDIST dans piControl2

$$QDIST(T, calc) = \sum_i^N \left(w_i \times [X_{T,calc}(i) - X_{T,piControl2}(i)]^2 \right)$$

Convergence en fonction de la longueur de la période

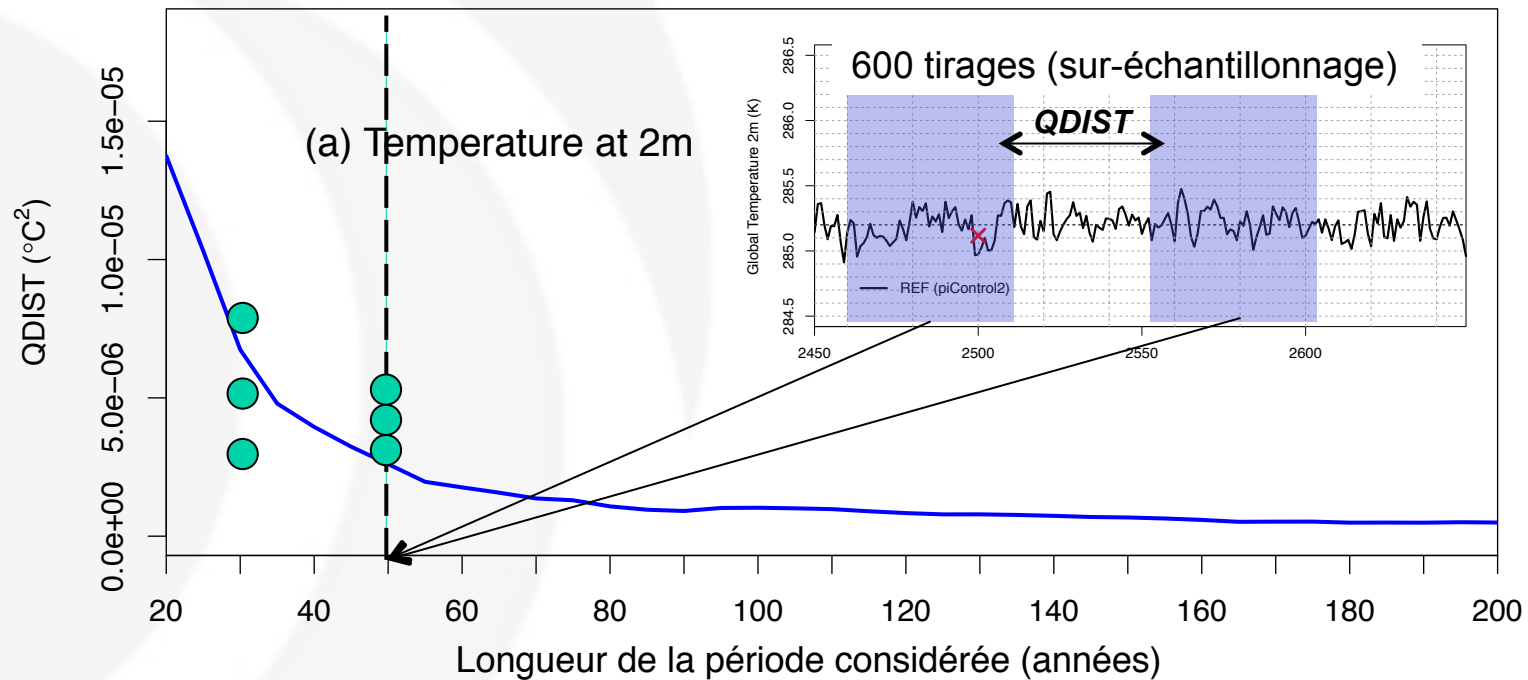


Comment sait-on si le climat est différent?

Estimation de la distribution de QDIST dans piControl2

$$QDIST(T, calc) = \sum_i^N \left(w_i \times [X_{T,calc}(i) - X_{T,piControl2}(i)]^2 \right)$$

Convergence en fonction de la longueur de la période

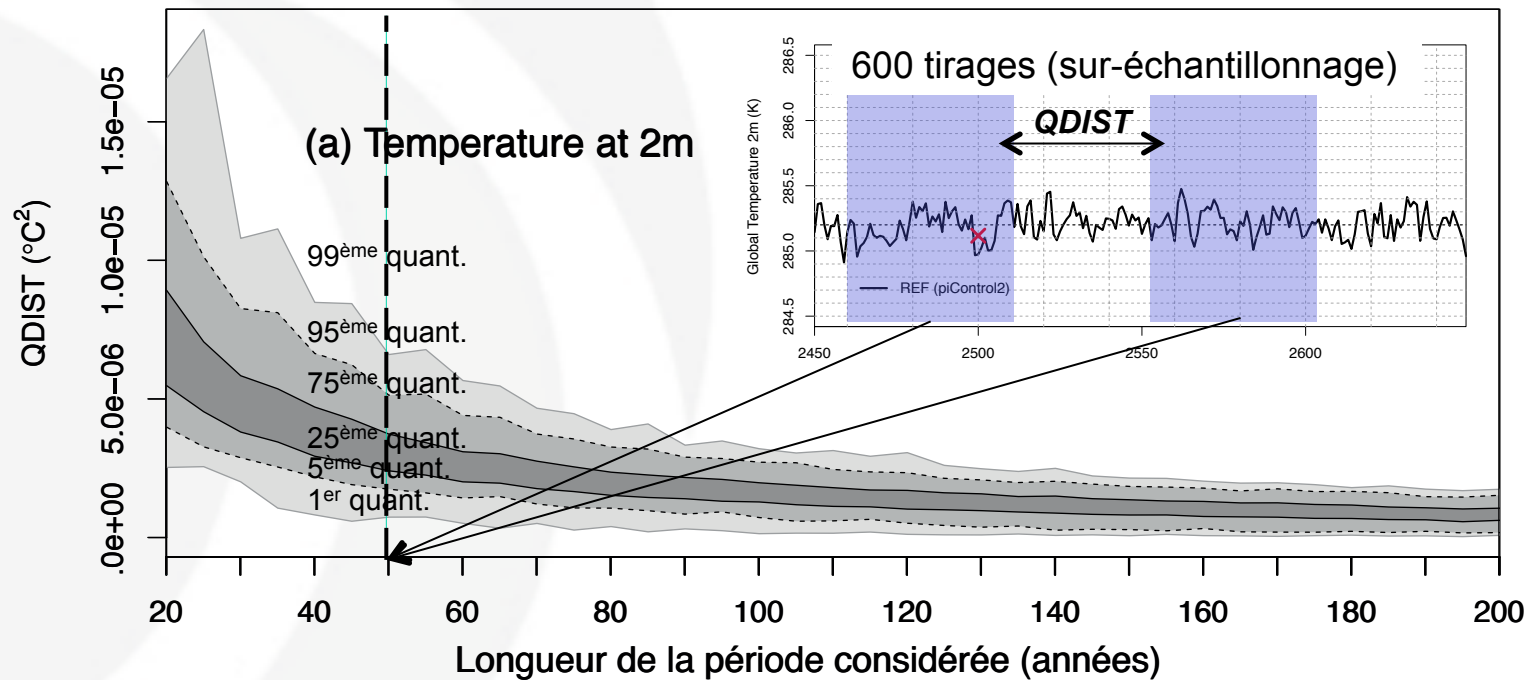


Comment sait-on si le climat est différent?

Estimation de la distribution de QDIST dans piControl2

$$QDIST(T, calc) = \sum_i^N \left(w_i \times [X_{T,calc}(i) - X_{T,piControl2}(i)]^2 \right)$$

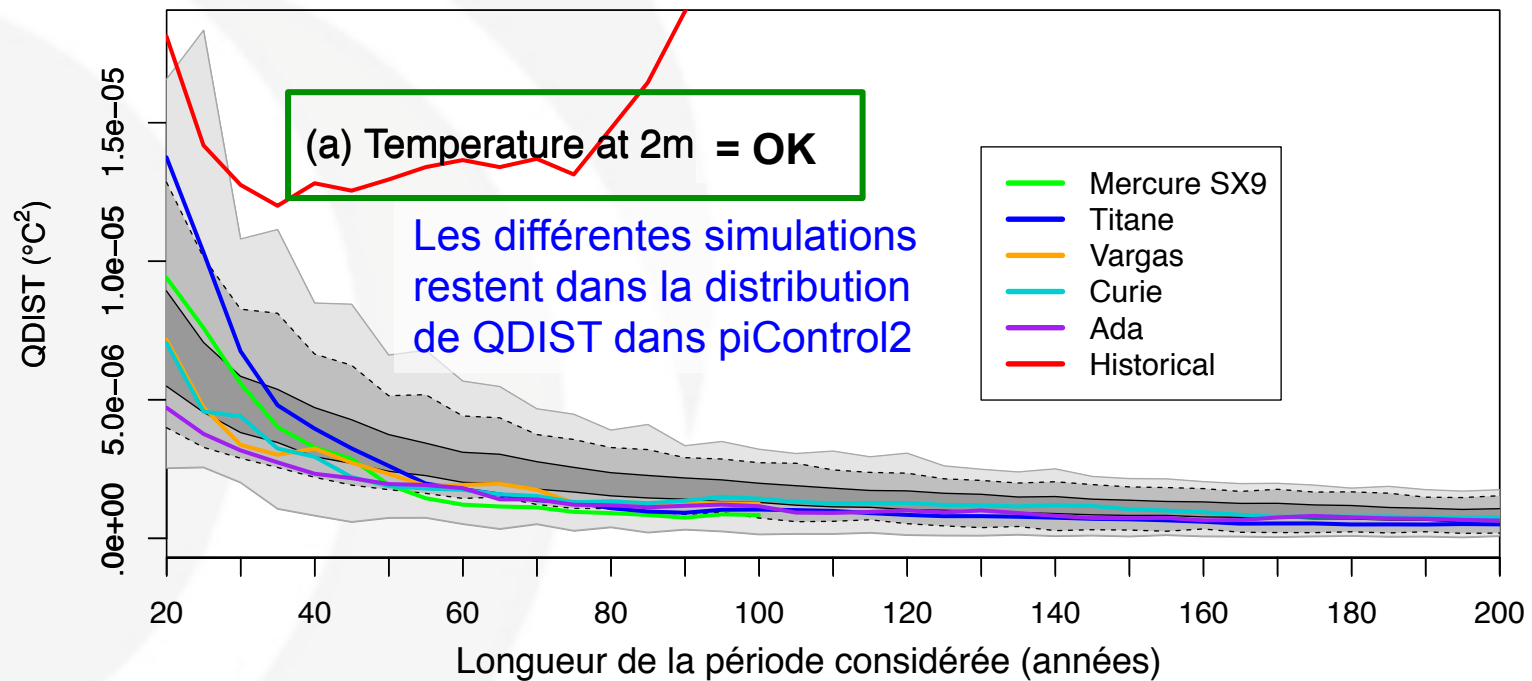
Convergence en fonction de la longueur de la période



Résultats pour les différents calculateurs

$$QDIST(T, calc) = \sum_i^N \left(w_i \times [X_{T,calc}(i) - X_{T,piControl2}(i)]^2 \right)$$

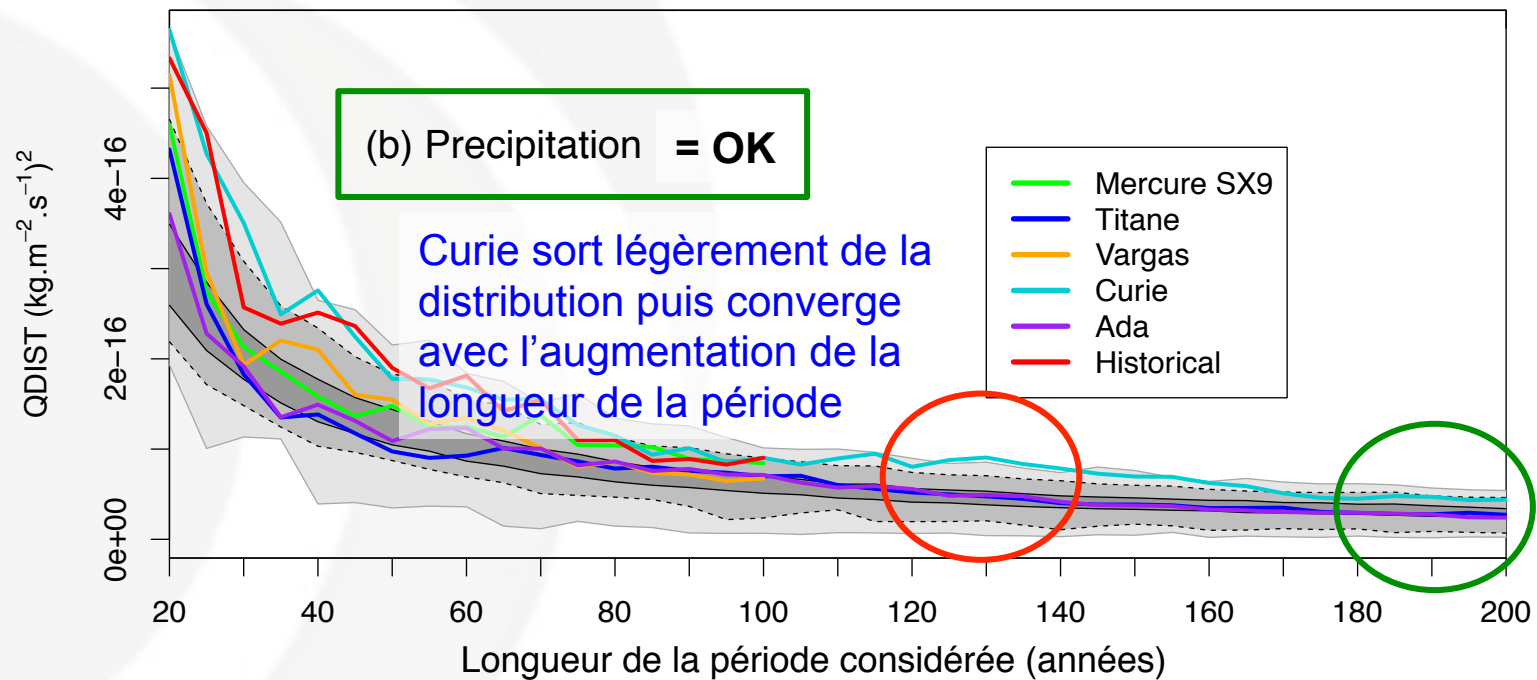
Convergence en fonction de la longueur de la periode



Résultats pour les différents calculateurs

$$QDIST(T, calc) = \sum_i^N \left(w_i \times [X_{T,calc}(i) - X_{T,piControl2}(i)]^2 \right)$$

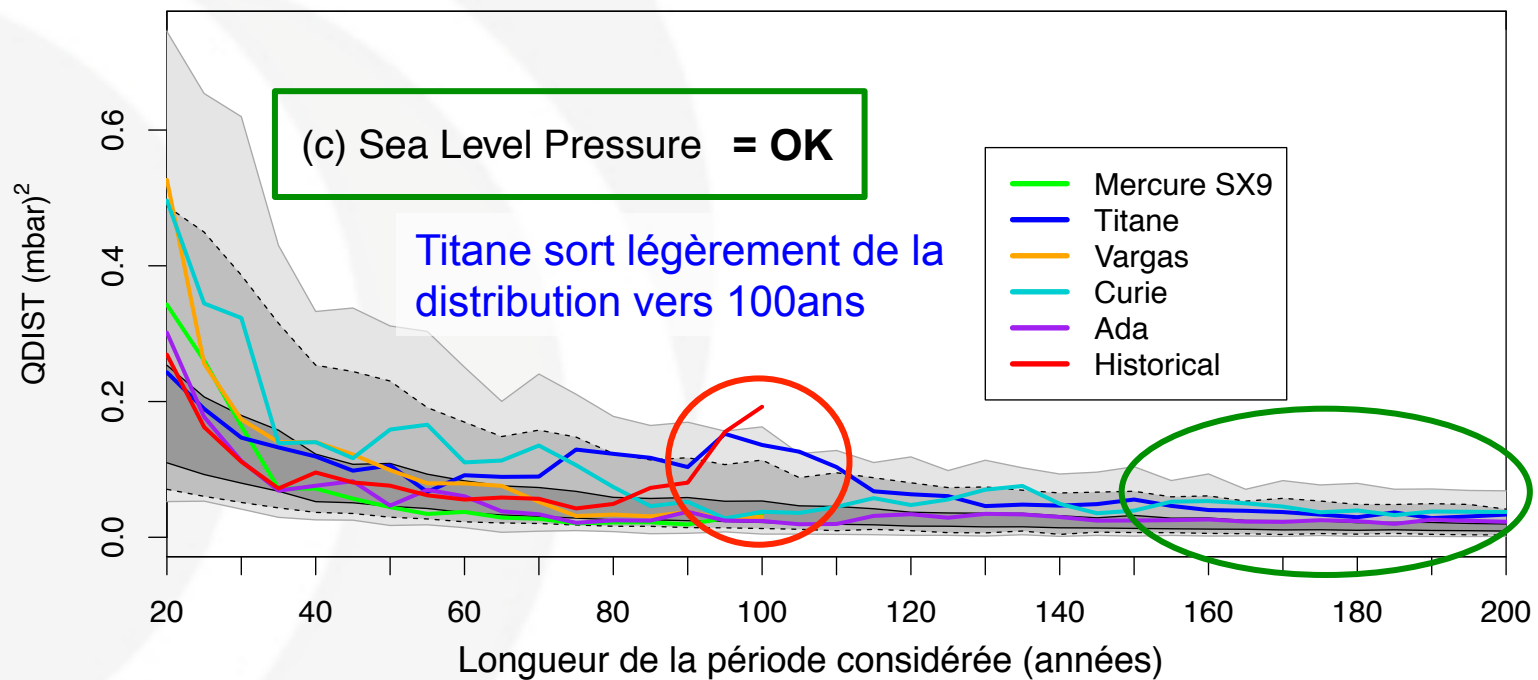
Convergence en fonction de la longueur de la periode



Résultats pour les différents calculateurs

$$QDIST(T, calc) = \sum_i^N \left(w_i \times [X_{T,calc}(i) - X_{T,piControl2}(i)]^2 \right)$$

Convergence en fonction de la longueur de la periode

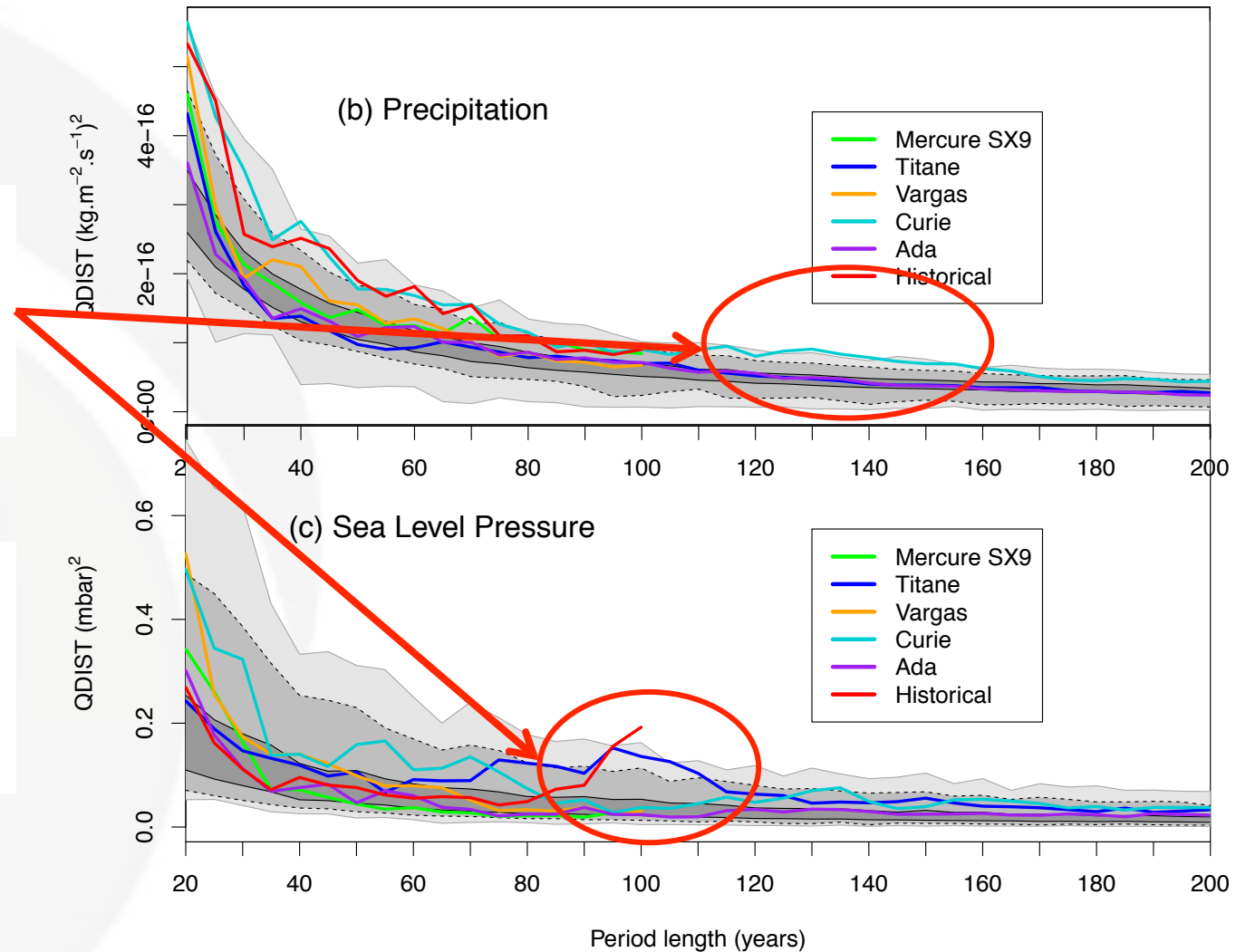


Résultats pour les différents calculateurs

Expression de la
variabilité basse
fréquence du
modèle



Nécessité de faire
des runs longs
(200ans
minimum)



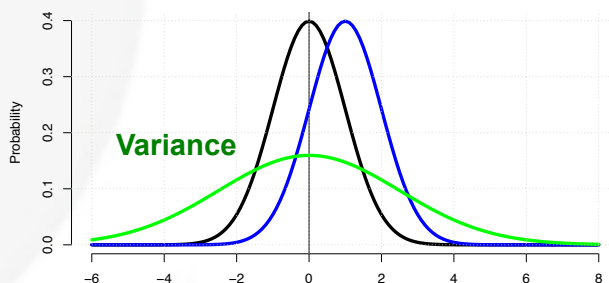
Résumé et perspectives

Comparaison du climat du modèle IPSLCM5A sur les différents calculateurs utilisés par l'IPSL

- Nouvelle thématique
- Un premier protocole nous donne des résultats rassurants sur l'état moyen du modèle pour les trois variables les plus couramment utilisées
- Faire des simulations encore plus longues pour s'assurer de la convergence du climat entre les calculateurs

Perspectives

- Analyser la variabilité (plus complexe, variance, analyse spectrale...)
- Phénomènes/événements climatiques donnés



Merci!

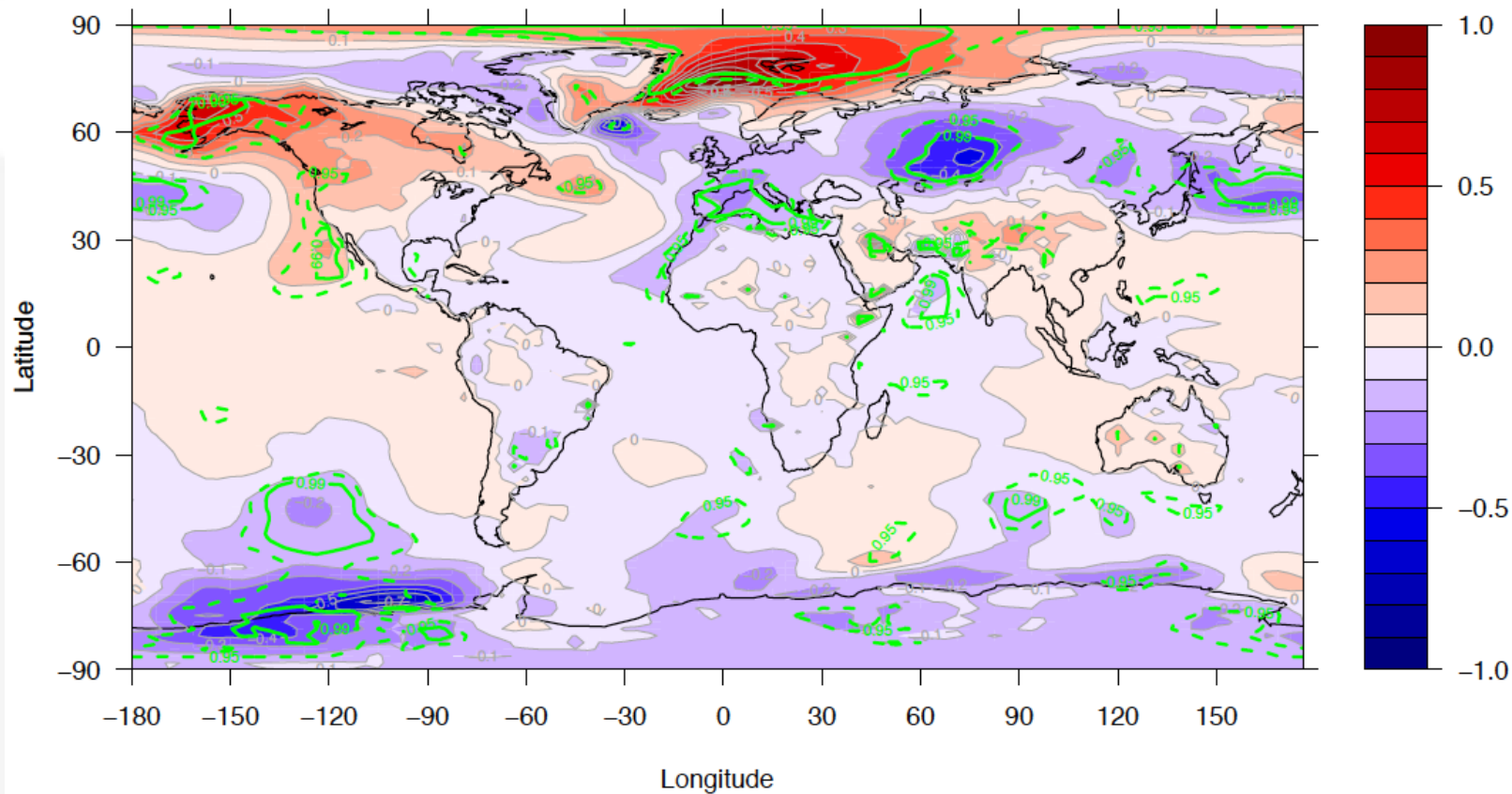


piControl2T 2m Temperature Diff. of mean

Period length = 100 years

Grid points 99% = 6 %

Grid points 95% = 16 %



LABORATOIRE DES SCIENCES DU CLIMAT & DE L'ENVIRONNEMENT

Journées RAIM, 20/11/2013, IHP



Institut
Pierre
Simon
Laplace

Period length = 100 years

Grid points 95% = 8 %



Journées RAIM, 20/11/2013, IHP



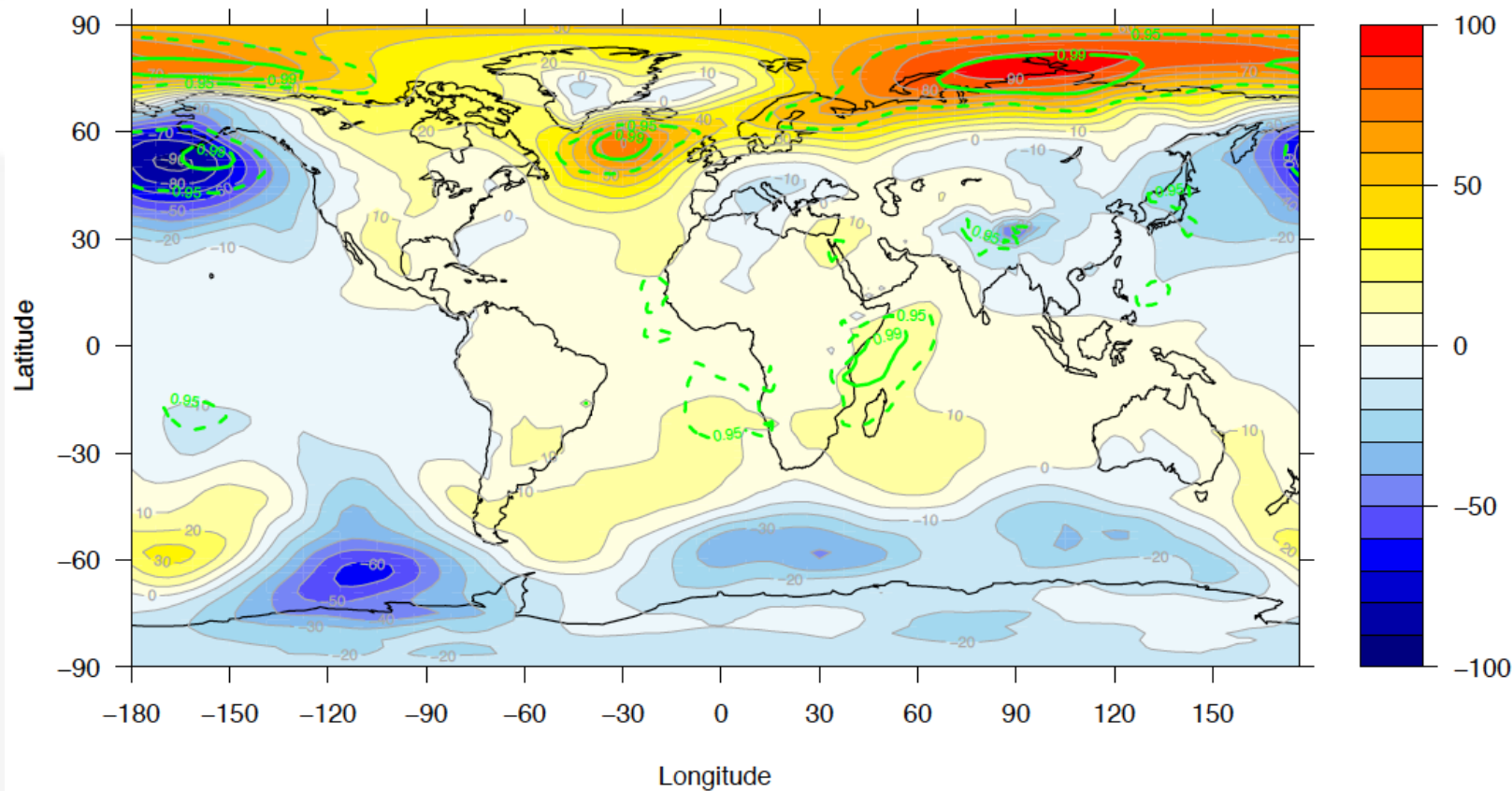
Institut
Pierre
Simon
Laplace

piControl2T Sea Level Pressure Diff. of mean

Period length = 100 years

Grid points 99% = 2 %

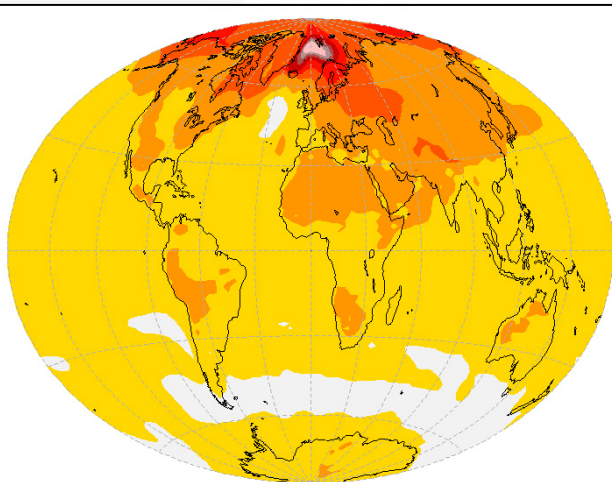
Grid points 95% = 9 %



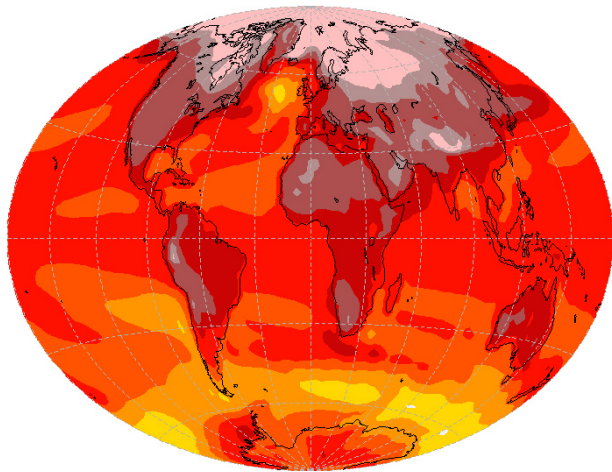
Réchauffement global fin du 21^{ème} siècle

Différence entre 2100 et 1990

RCP2.6

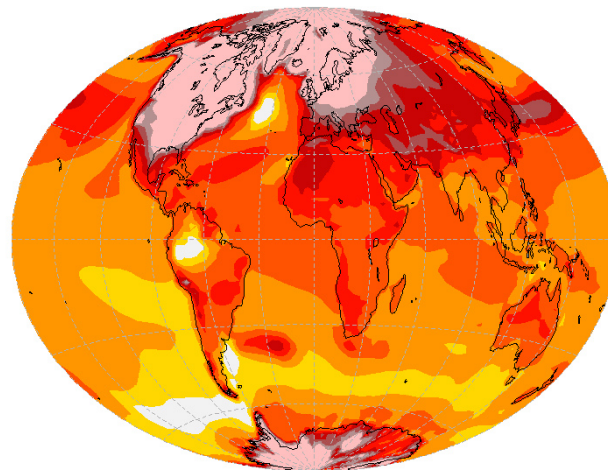


RCP8.5

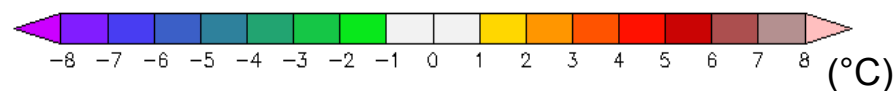


IPSL-CM5A-LR

Entre préindustriel et
glaciaire



Glaciaire



LABORATOIRE DES SCIENCES DU CLIMAT & DE L'ENVIRONNEMENT

Journées RAIM, 20/11/2013, IHP

