

Séminaire LITEAU GICC

Impacts du changement climatique sur le littoral

18 et 19 octobre 2010 - Fréjus

Le changement climatique

Marc Pontaud
Météo-France

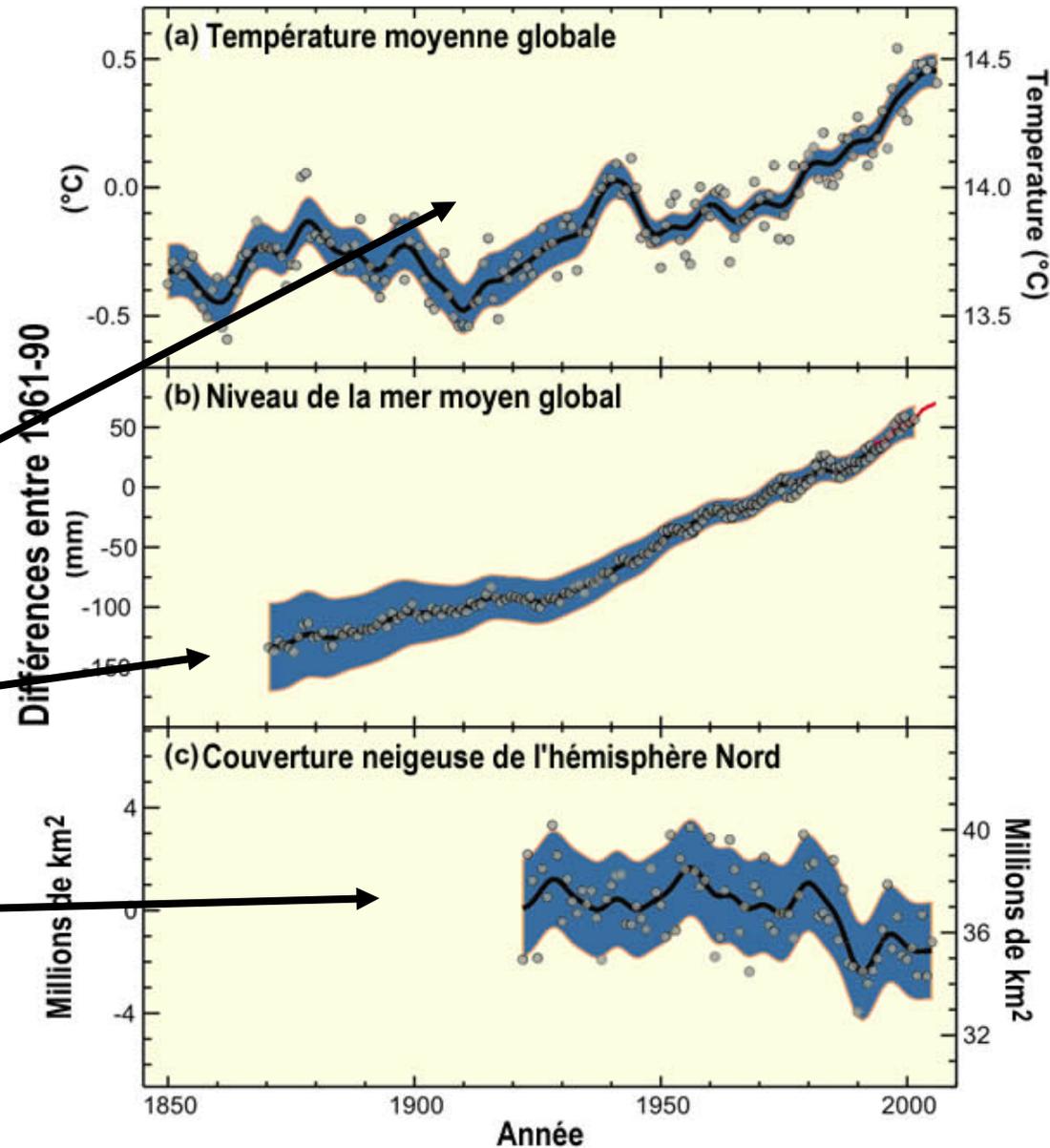


L'Observation du Changement Climatique

« Le réchauffement du système climatique est sans équivoque, car il est maintenant évident dans les observations de

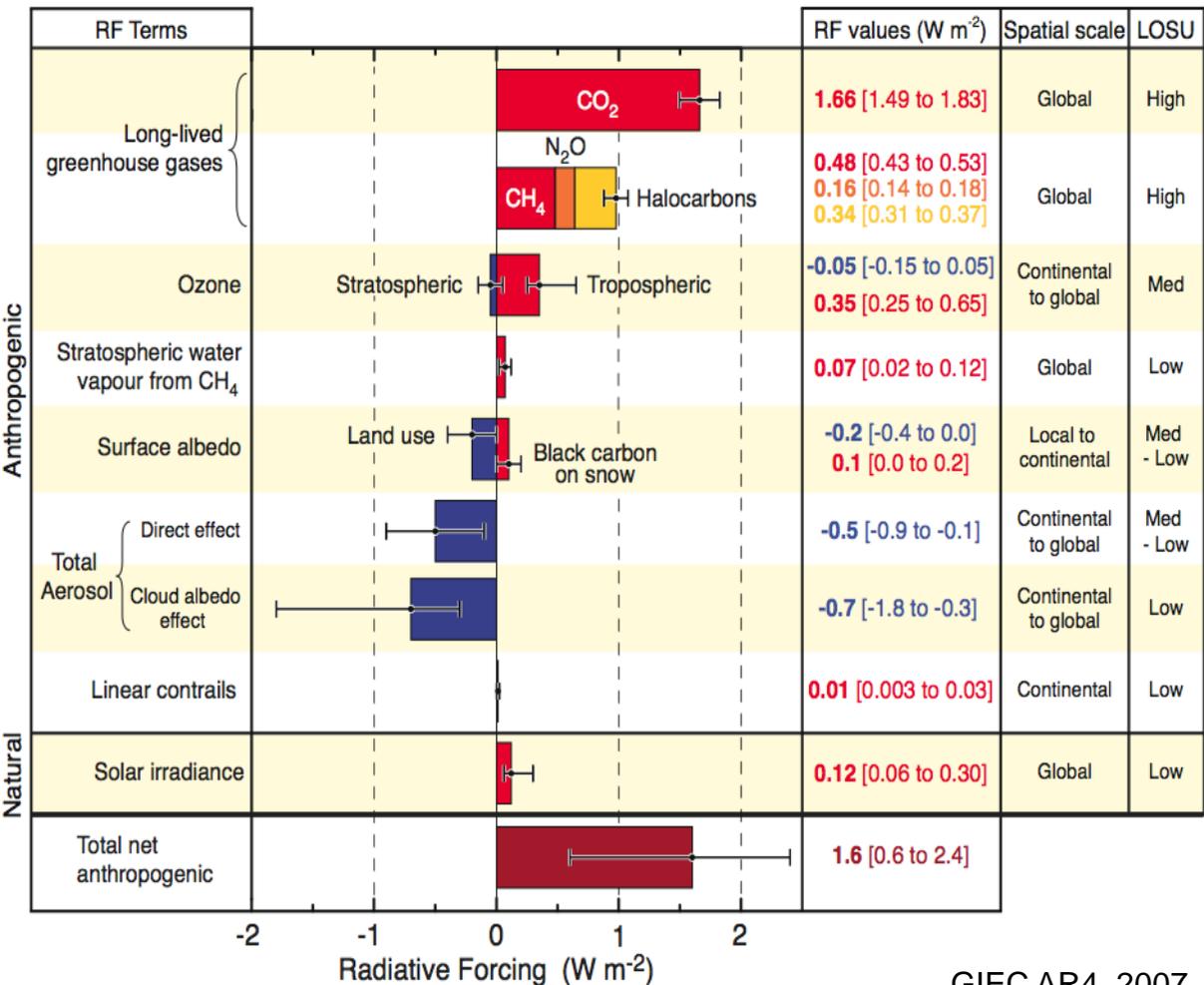
- l'accroissement des températures moyennes mondiales de l'atmosphère et de l'océan,
- l'élévation du niveau moyen mondial de la mer,
- et la fonte généralisée de la neige et de la glace. »

GIEC AR4, 2007



L'origine anthropique

Radiative Forcing Components

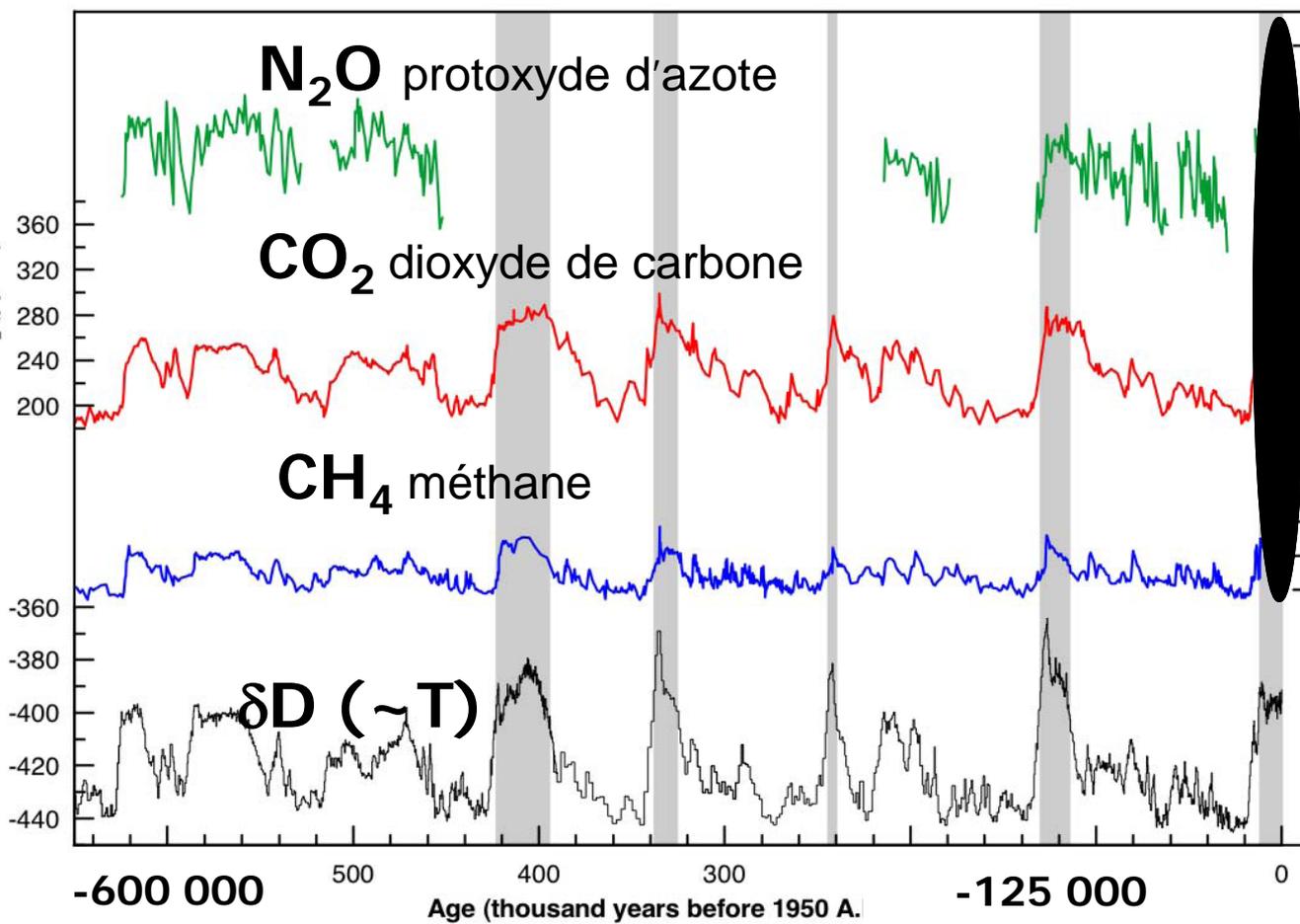


©IPCC 2007: WG1-AR4

« La compréhension des influences humaines sur le réchauffement et le refroidissement du climat a été améliorée, ce qui conduit à une *très grande confiance* dans le fait que l'effet moyen global des activités humaines depuis 1750 a été un effet de réchauffement avec un forçage radiatif de +1,6 (+0,6 à +2,4) Wm^{-2} . »

Reconstructions paléoclimatiques

Carottages glaciaires



Quaternaire
Cycles de Milankovich

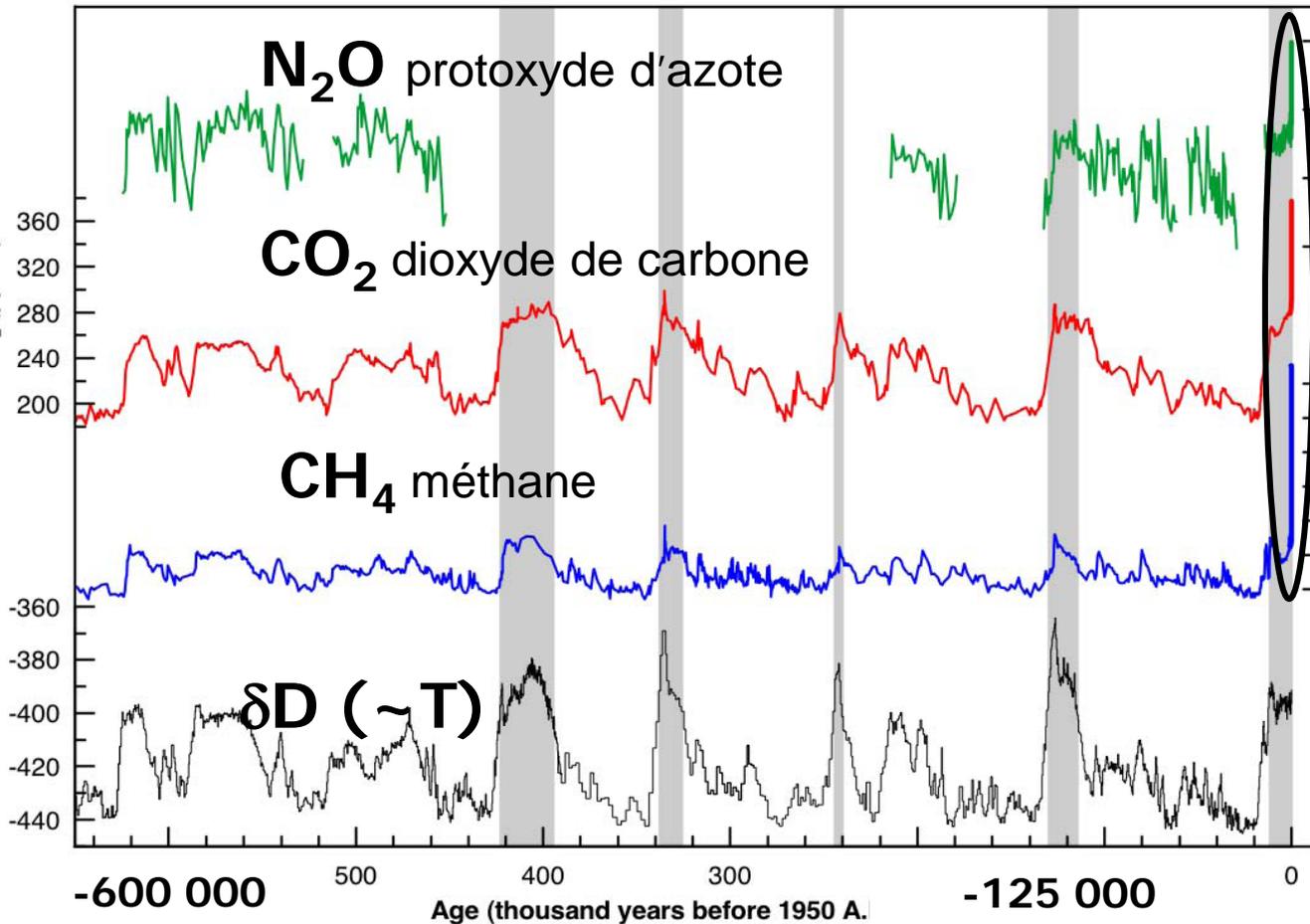
Glaciaire
Variabilité rapide



Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement

Reconstructions paléoclimatiques

Carottages glaciaires



Situation sans
analogue antérieur

Quel climat futur ?

Quaternaire
Cycles de Milankovich

Glaciaire
Variabilité rapide

Les modèles numériques du système climatique

Forçages externes
Aérosols
Gaz à effet de serre
Insolation

Aérosol-Chimie
MOCAGE

O₃ (MOBIDIC)
+ GES (IMAGE)

Atmosphère
ARPEGE-Climat

Surfaces continentales
ISBA

Biogéo-
chimie

Glace
de mer

Icebergs

Océan
OPA

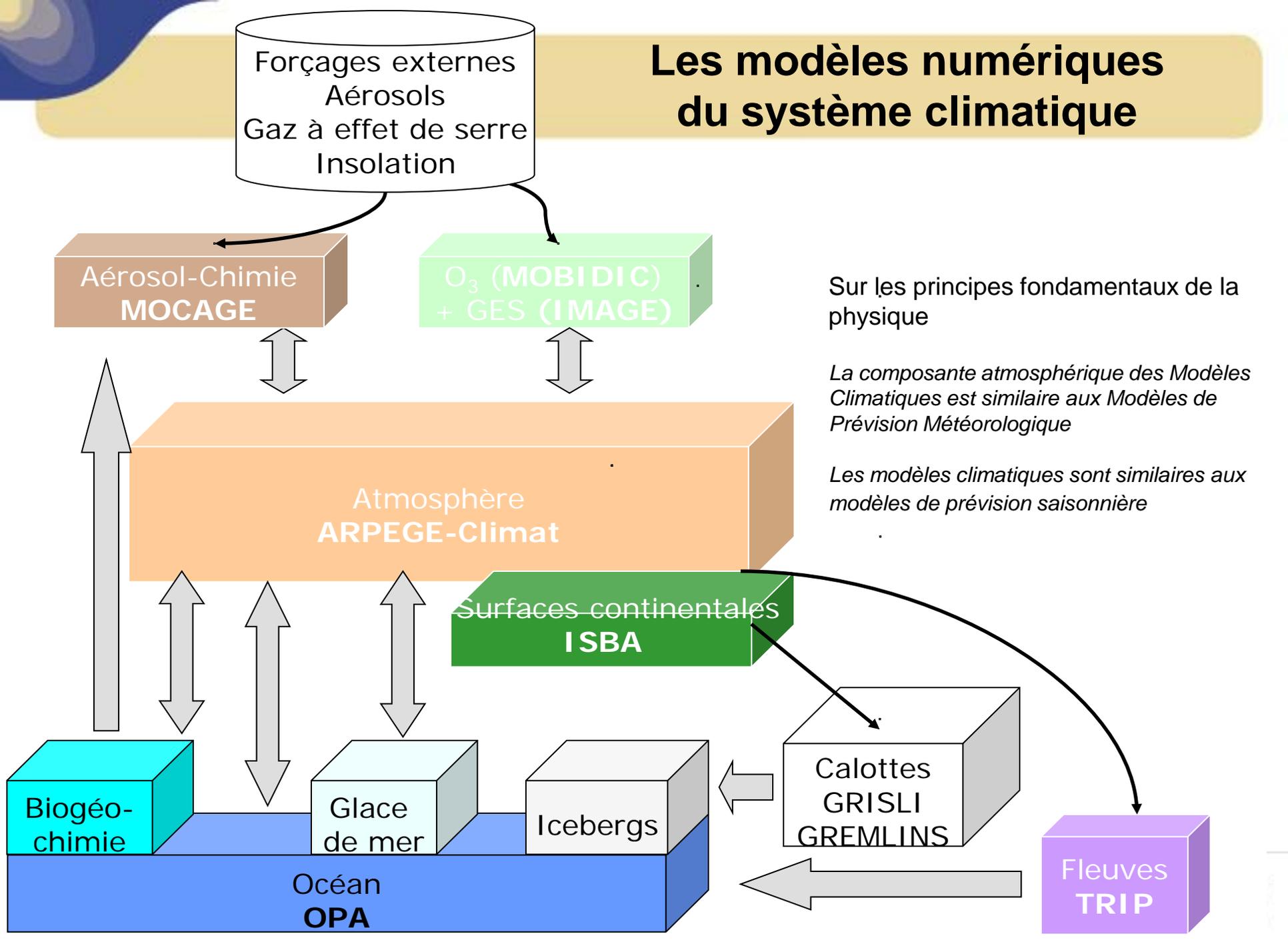
Calottes
GRISLI
GREMLINS

Fleuves
TRIP

Sur les principes fondamentaux de la physique

La composante atmosphérique des Modèles Climatiques est similaire aux Modèles de Prédiction Météorologique

Les modèles climatiques sont similaires aux modèles de prévision saisonnière



L'évolution future du climat

- Une « **prévision** » est basée sur un état initial observé de l'atmosphère et de l'océan à un instant donné, et représente ce qui va se passer à un instant ultérieur.
- La plus longue échéance possible actuellement est « **la prévision saisonnière** ». Certaines caractéristiques du climat sont prévisibles jusqu'à un an à l'avance (le phénomène « El Nino »).
- Il y a une forte demande pour des **prévisions « décennales »** (échéance 5-30 ans). **Celles-ci ne sont pas encore réalisables** actuellement, mais vont faire l'objet de recherches de plus en plus actives.



L'évolution future du climat

- Les simulations numériques de l'évolution du climat réalisées pour le GIEC et pour l'étude des impacts du CC ne sont pas des prévisions mais des **projections**
- Une « **projection** » est basée sur un état initial quelconque (*représentatif du climat actuel, mais dont le détail a peu d'importance*), et des « **forçages** » **imposés** au modèle numérique appelés **scénarios** (émission de Gaz à Effet de Serre GES, ...)
- Leur qualité est limitée par l'incertitude sur :
 - les forçages (**les scénarios**),
 - les imprécisions du modèle numérique,
 - et la connaissance insuffisante de certains mécanismes du système climatique



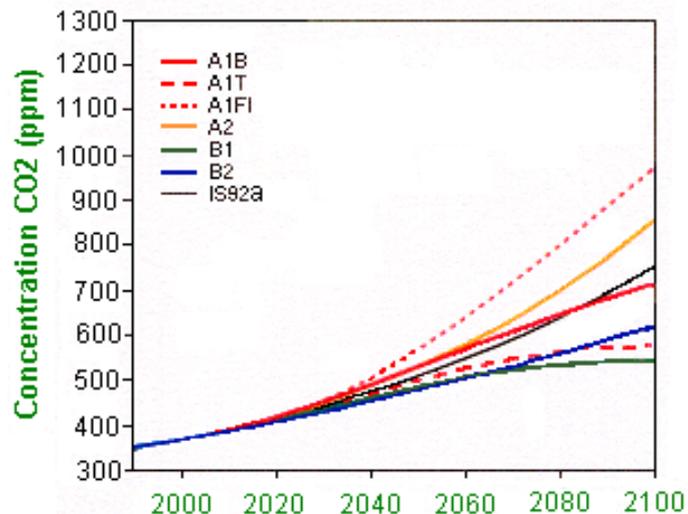
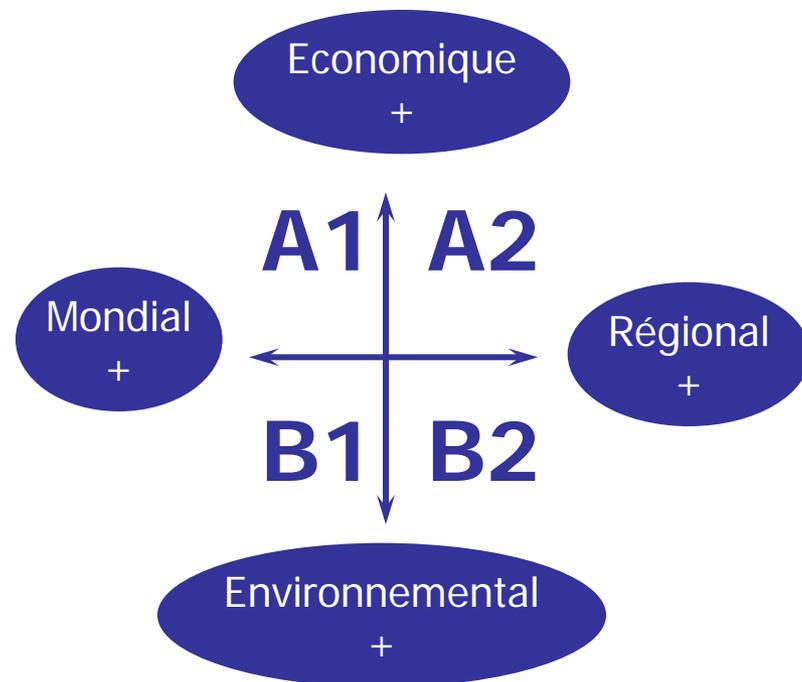
Le Groupe Intergouvernemental d'experts sur l'Evolution du Climat (GIEC)

- Création OMM et PNUE, 1988. Rapports 1990, 1995, 2001, 2007.
 - évalue l'information scientifique et socio-économique sur le changement climatique, ses impacts et les différentes options pour l'atténuer ou s'y adapter ;
 - émet des avis pour la Conférence des Parties à la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (1992)
- Une expérience unique de coordination scientifique internationale
 - Pour le groupe I (base scientifique)
 - +600 auteurs,
 - un mécanisme de révision (+600 réviseurs),
 - un message apolitique (mais des jeux diplomatiques)
 - des voies d'amélioration identifiées en terme d'organisation sans remise en cause de la pertinence des résultats
- AR4 : synthèse 2007 faite
 - les bases scientifiques du changement climatique (groupe I)
 - les impacts, l'adaptation et la vulnérabilité (groupe II)
 - l'atténuation (groupe III)
- AR5 : nouvel exercice – nouveaux scénarios établis - simulations en cours

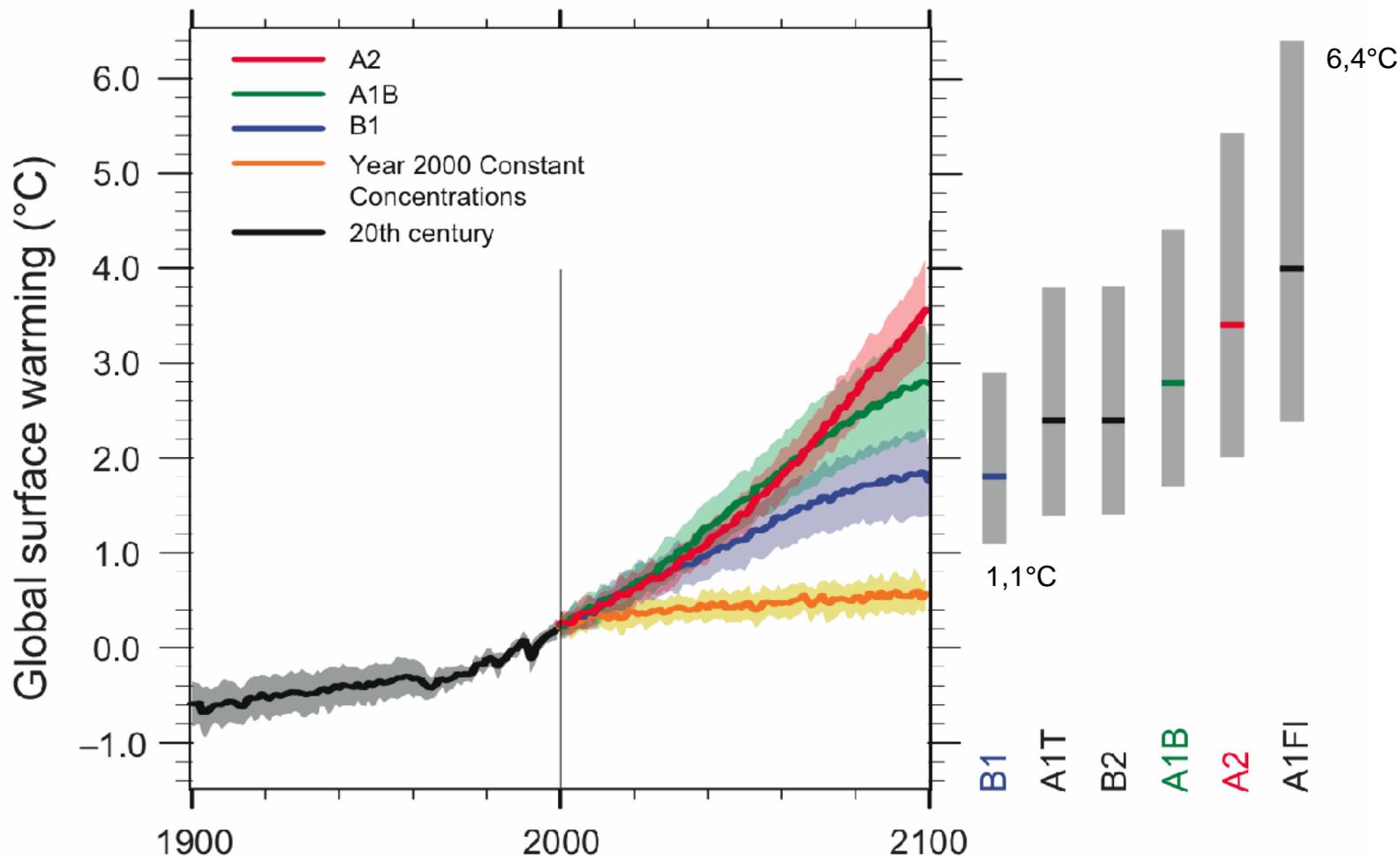
Les scénarios d'émissions AR4

Bases socio-économiques, développement, géopolitique

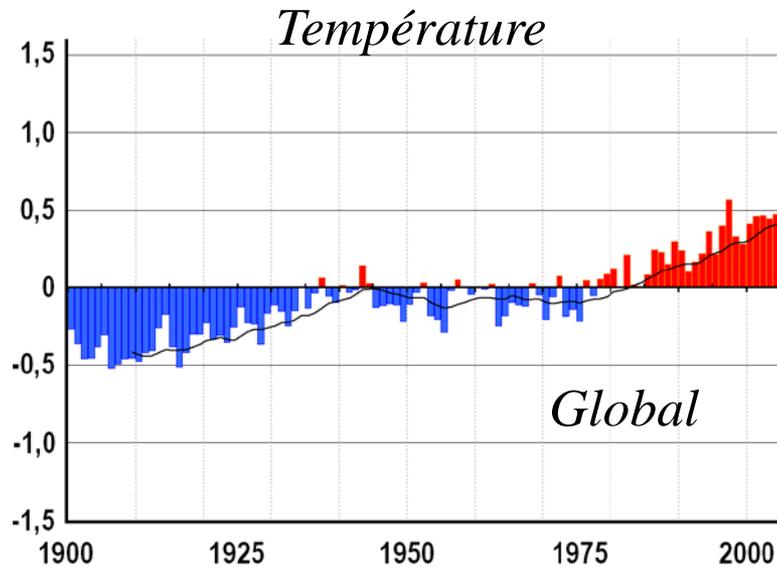
Scénario	Population	Economie	Environ.	Equité	Technologie	Mondial.
A1FI						
A1B						
A1T						
B1						
A2						
B2						



Moyennes multi-modèles et intervalles de confiance réchauffement global en surface (GIEC, 2007)



Observations de température = du global au local

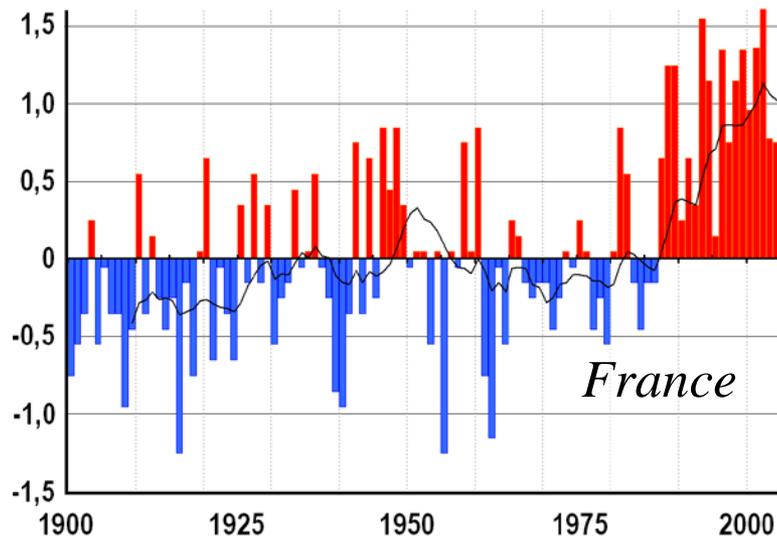


Augmentation de la température globale

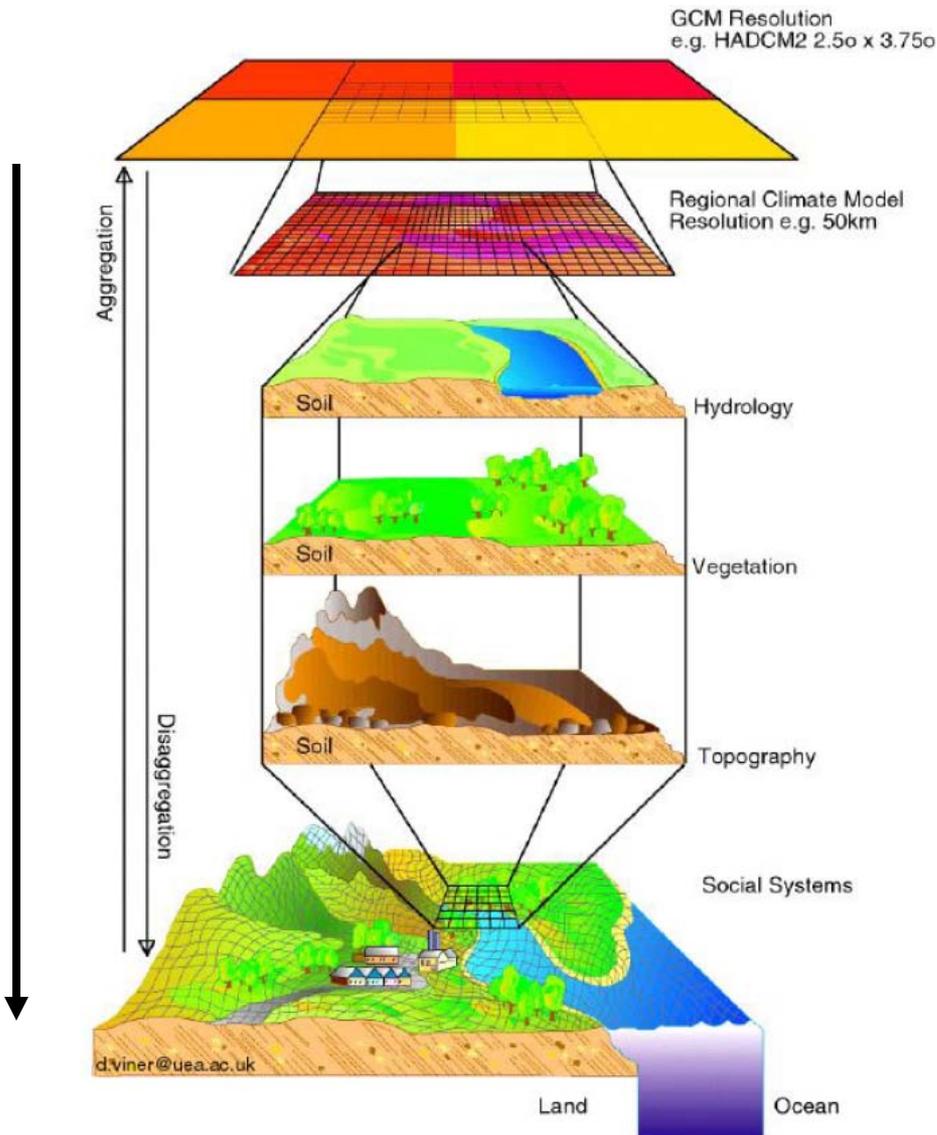
La vitesse de réchauffement augmente
0,13°C/décennie pour les 50 dernières années
Soit le double de la pente sur le dernier siècle

En France : signal global avec une
amplitude près de deux fois plus forte

Besoin de régionalisation



La nécessité d'une descente d'échelle pour apprécier les impacts



Scénarios climatiques globaux

~ 300km

Scénarios climatiques régionaux

~ 20-50 km

Résultat à l'échelle des territoires
et meilleure simulation des
événements extrêmes, qui ont un
poids dominant sur les impacts

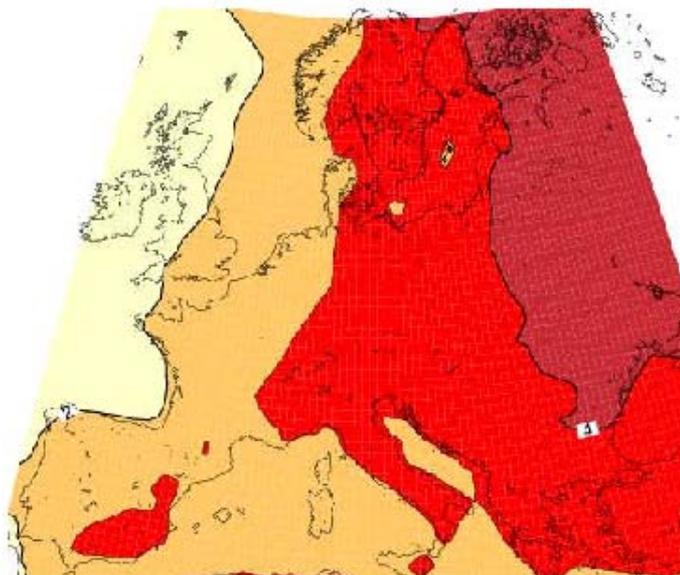
Modèles d'impacts

~qq m - qq km

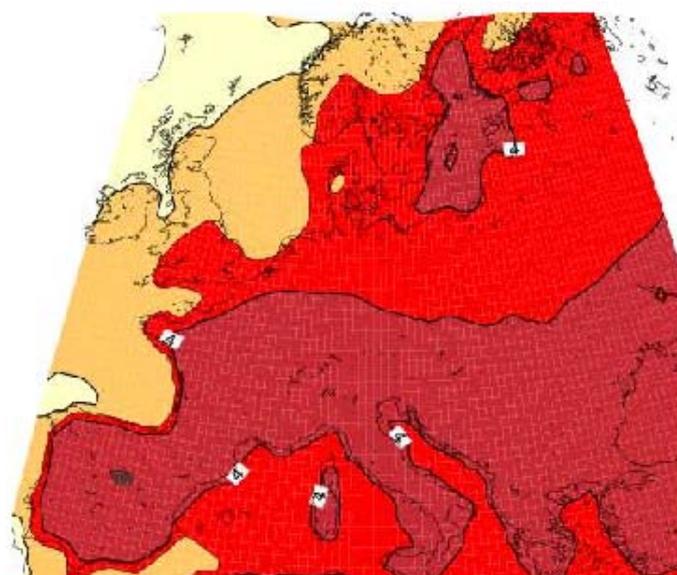
Pour chaque domaine
d'application, **nécessité**
d'une coopération entre les
experts pour déterminer les
meilleurs modèles d'impacts

Changement moyen des températures à la fin du 21^{ème} siècle pour le scénario A2

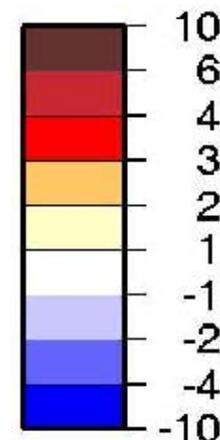
Hiver



Eté

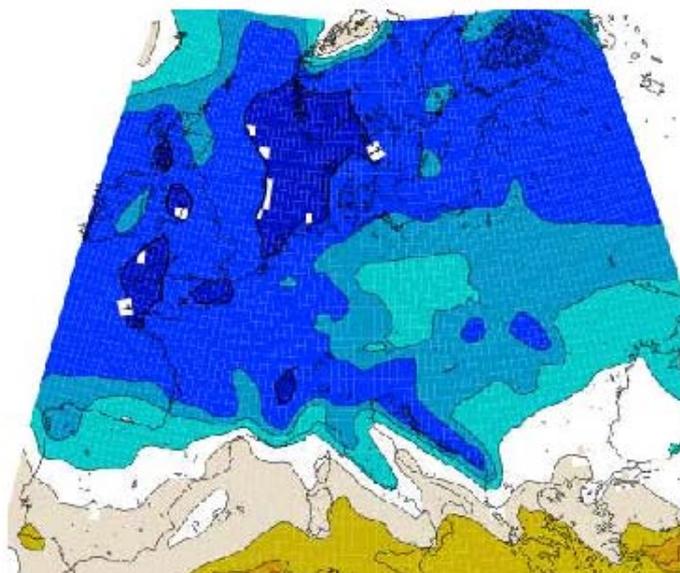


En °C

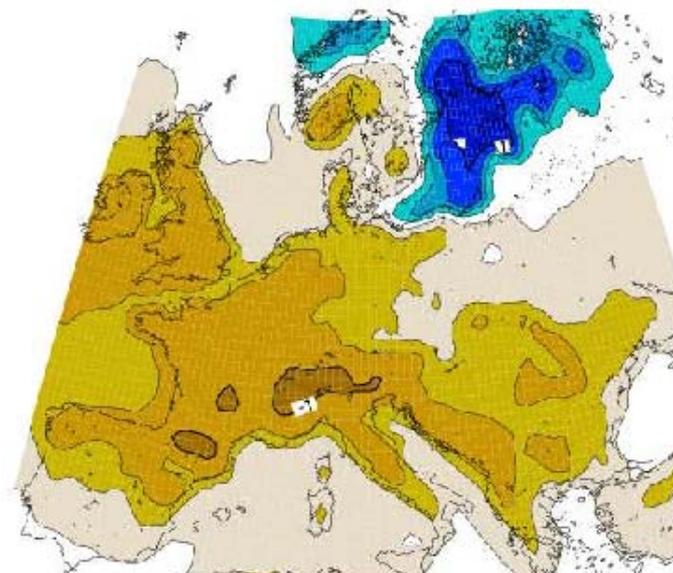


Changement moyen des précipitations à la fin du 21^{ème} siècle pour le scénario A2

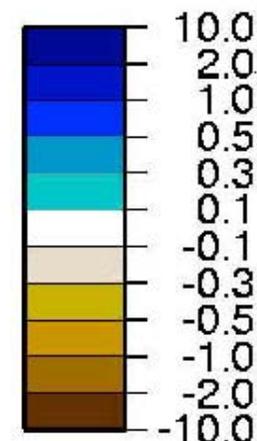
Hiver



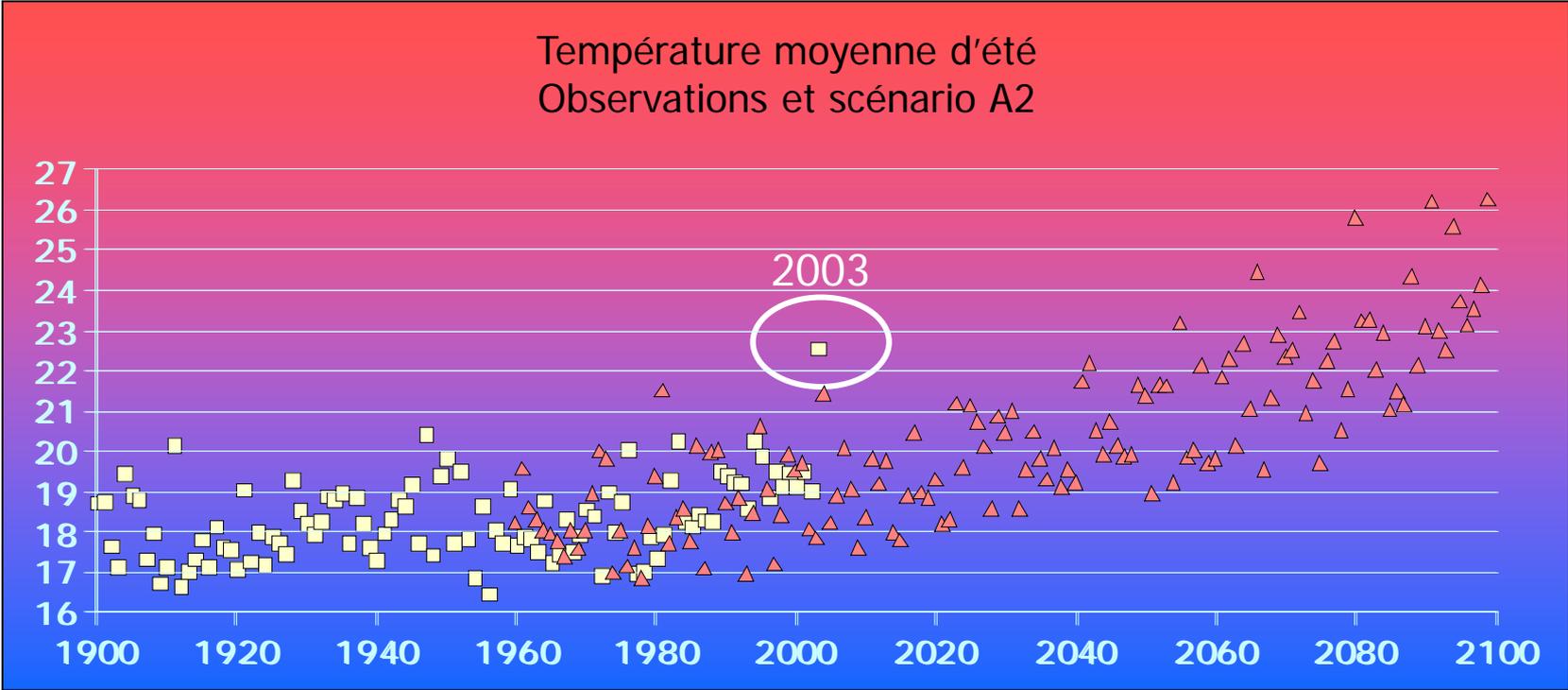
Eté



En
mm/jour



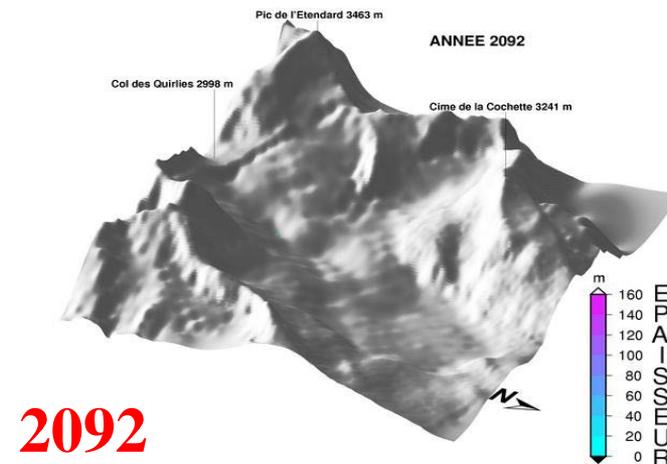
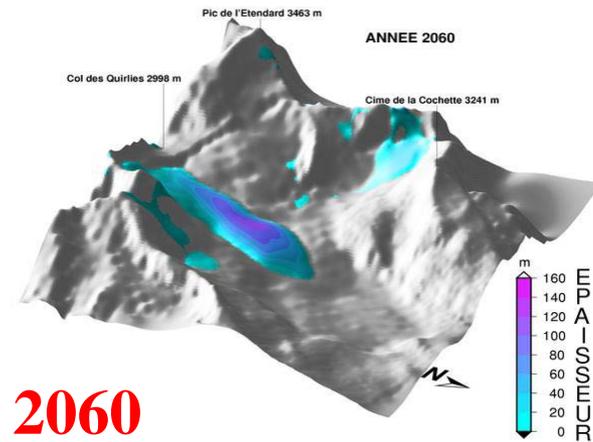
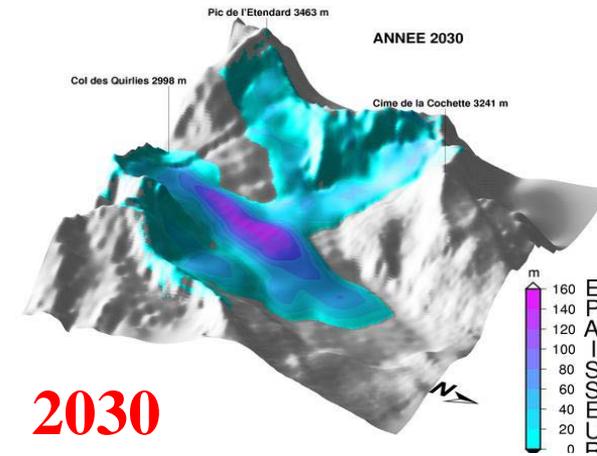
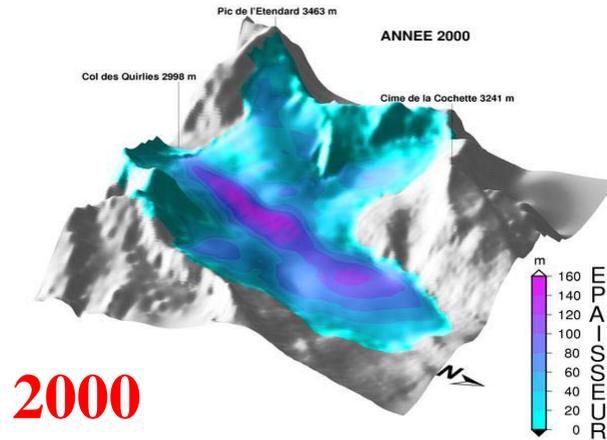
Une idée du changement climatique



Projections sur la France

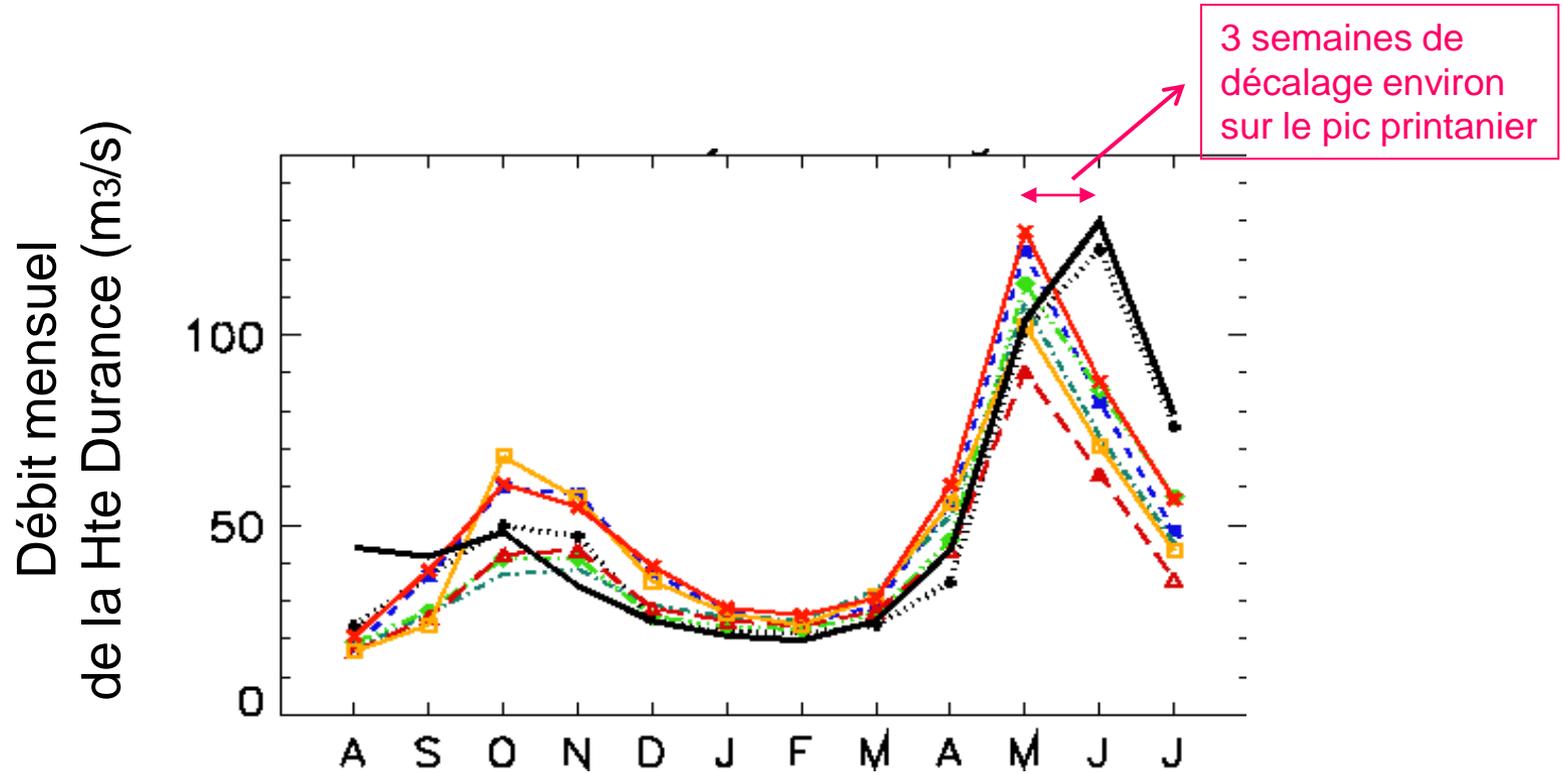
- Indépendamment du scénario d'émission, il est très probable qu'en été les vagues de chaleur seront à la fois plus fréquentes, plus longues et plus intenses, tandis que les périodes de sécheresse seront plus longues. Il est très probable qu'en hiver le nombre de jours de gel diminuera et que les vagues de froid seront moins fréquentes.
- Il est probable qu'en hiver les précipitations intenses augmenteront.
- Les changements concernant les tempêtes semblent faibles.

Impact sur le glacier de Saint-Sorlin (scénario B1)



Coopération LGGE / Météo-France

IMPACT sur le débit de la haute Durance (GICC Rhône)



- Débits moyens observés
- - Débits moyens simulés pour le climat présent
- Débits moyens simulés en cas de doublement de CO₂ par différents modèles

Simulation de l'évolution de l'aire de répartition climatique du hêtre

Projet CARBOFOR (Scénario B2)

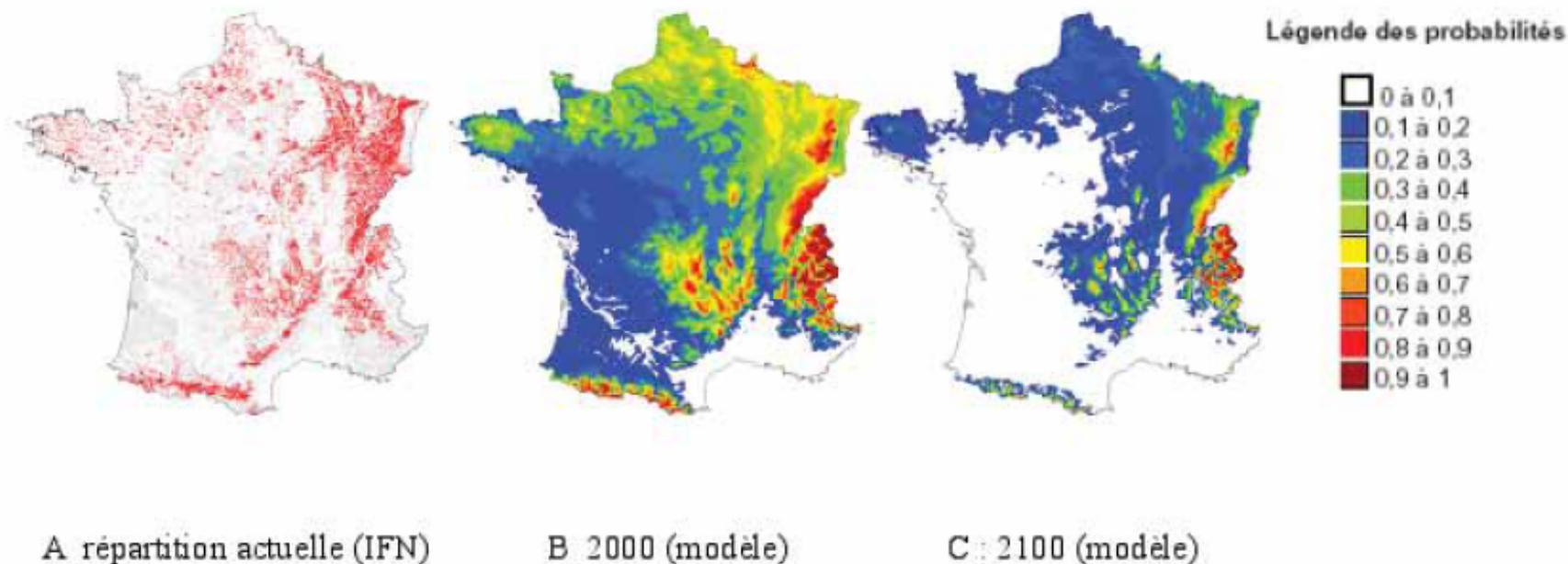


Figure 2 : Modélisation des changements de l'aire de répartition climatique potentielle du hêtre en France entre 2000 et 2100. On a représenté : (A) à gauche l'aire de répartition actuelle, telle qu'observée par l'Inventaire Forestier National ; (B) au milieu l'aire actuelle modélisée à partir des paramètres climatiques et (C) à droite l'aire climatique potentielle en 2100 dans

le cadre d'un scénario modéré d'augmentation de la température (scénario B2 des simulations Météo-France, +2°C en moyenne en France en 2100 par rapport à la période 1960-2000). On constate une forte contraction de l'aire potentielle du hêtre en France.

Le niveau de la mer



Niveau de la mer

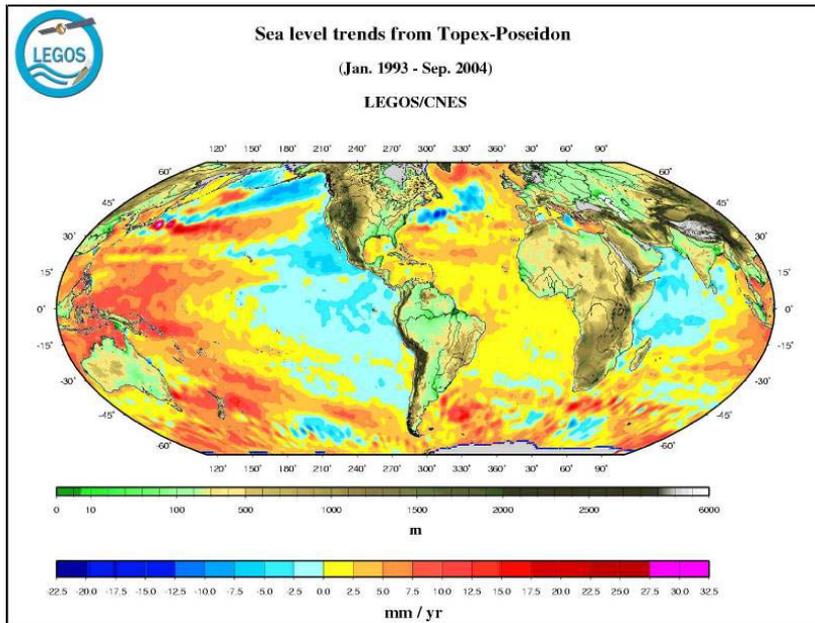
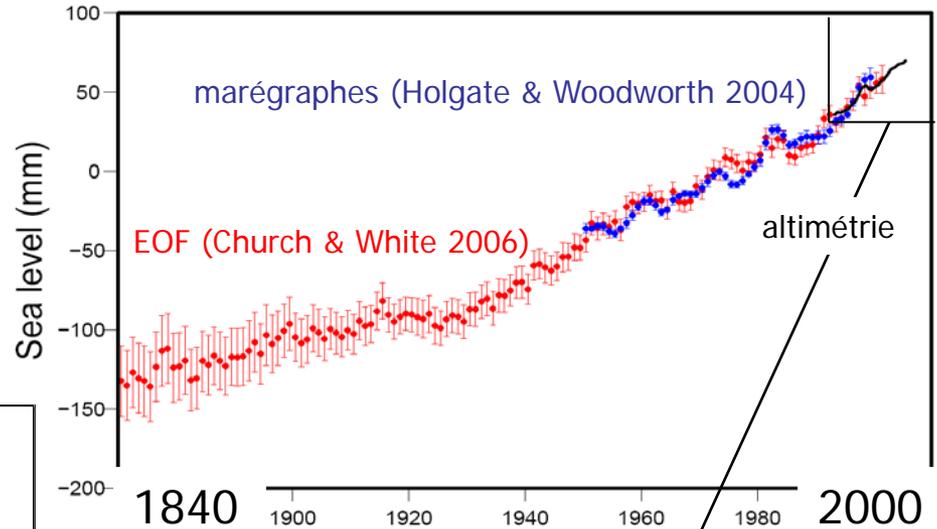
Des marégraphes à l'altimétrie spatiale

Tendances en augmentation

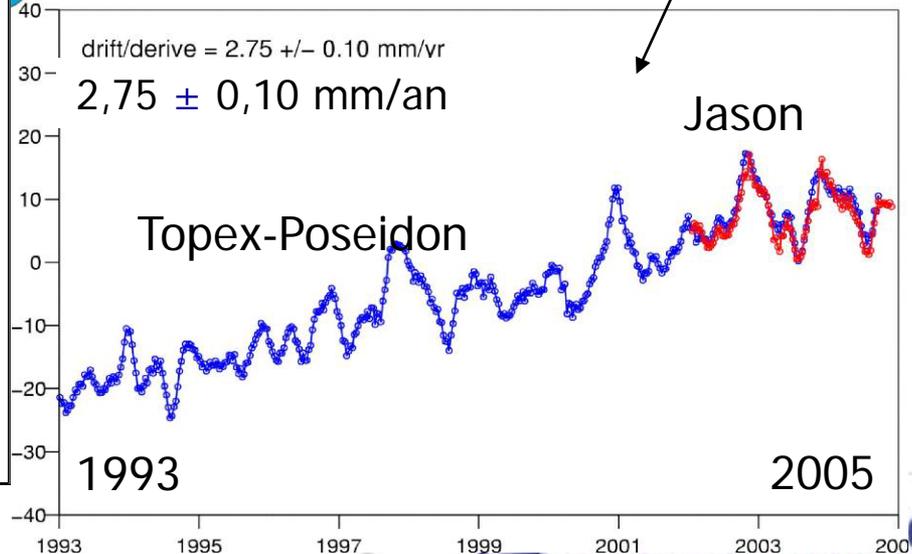
1900-2000 : $1,7 \pm 0,5$ mm/an

1961-2003 : $1,8 \pm 0,5$

1993-2003 : $3,1 \pm 0,7$ (31 cm/siècle)

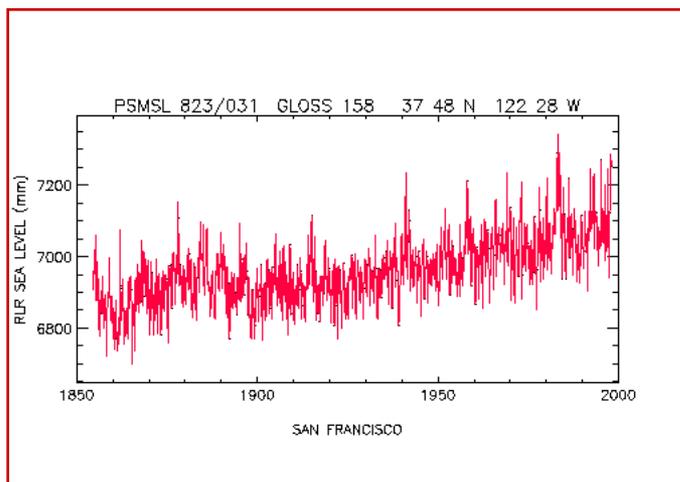


Cabannes et al. 2006, LEGOS

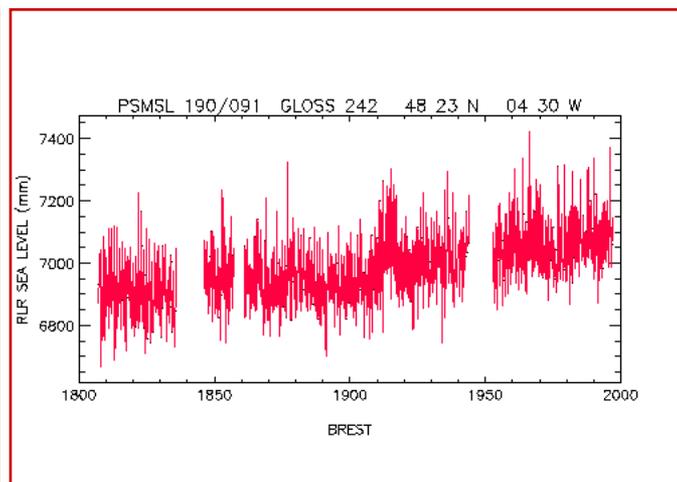


Observations : du Global au Local

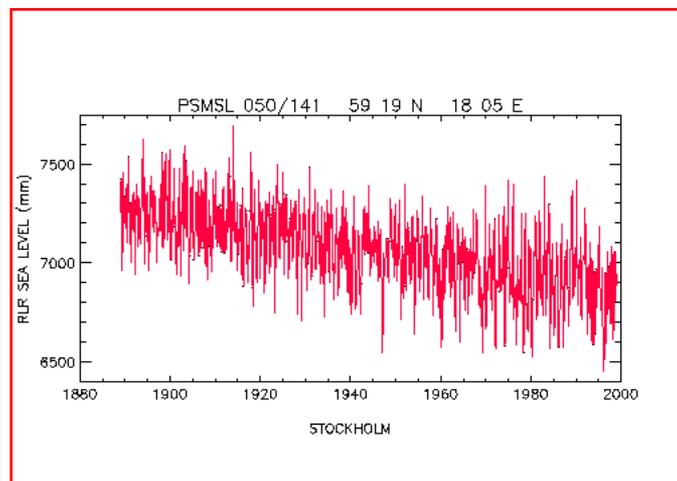
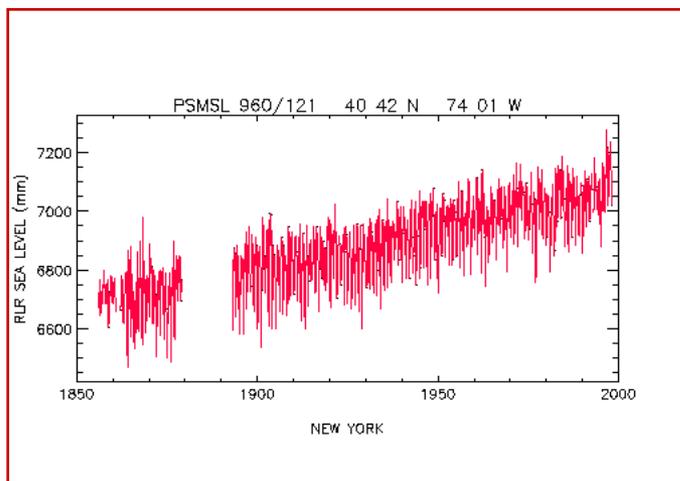
SAN FRANCISCO



BREST



Niveau de la mer



NEW YORK

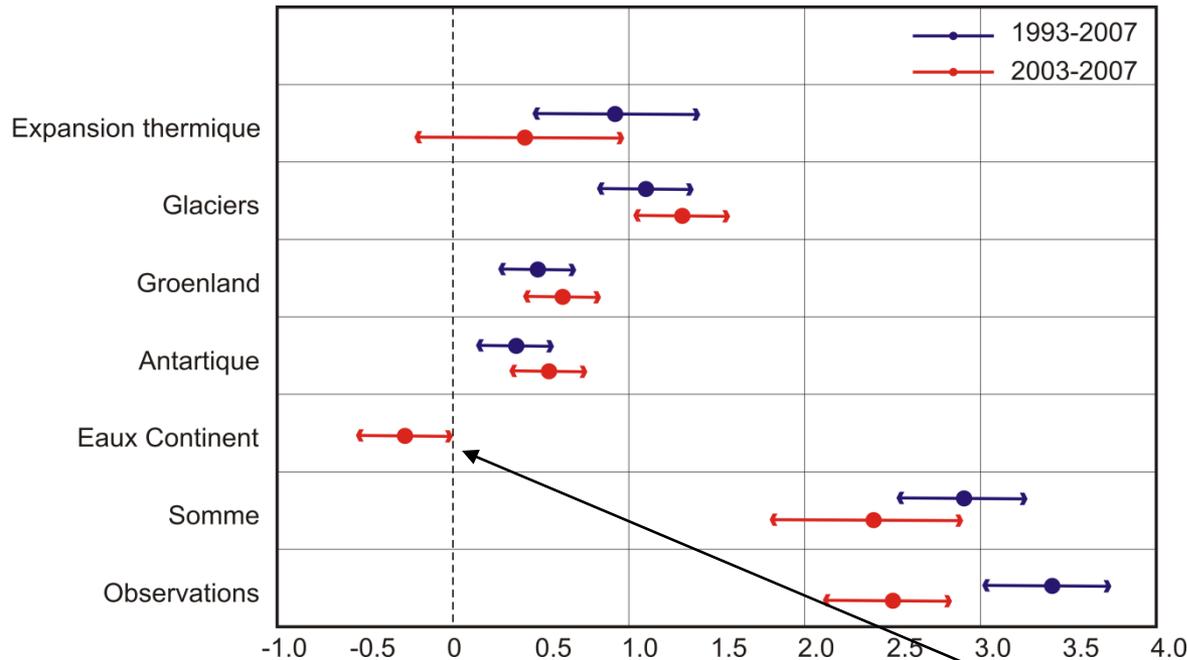
STOCKHOLM

Causes des variations du niveau de la mer

- Déformation de la croûte terrestre et rebond post glaciaire
- Variations de température et de salinité de l'eau de mer
- Ajustement dynamique de la surface marine
- Echange d'eau entre les océans et les réservoirs continentaux, les glaciers et les calottes polaires



Contributions au niveau de la mer



Cazenave et Llovel, 2009

En bleu : taux estimé sur 1993-2007
 En rouge : taux estimé sur 2003-2007

Important pour les bassins fermés
 comme la Méditerranée

La contribution de l'effet thermostérique à l'élévation du niveau des océans semble actuellement se réduire.

Il était probablement de :

- 50% sur 1961-2008,
- 30/35% sur 1993-2009,
- 25% sur 2003-2009.

L'augmentation de la masse des océans par apport d'eau en lien avec la fonte des glaciers et calottes devient la principale explication de l'augmentation du niveau des mers.

Meilleur accord estimation / observation

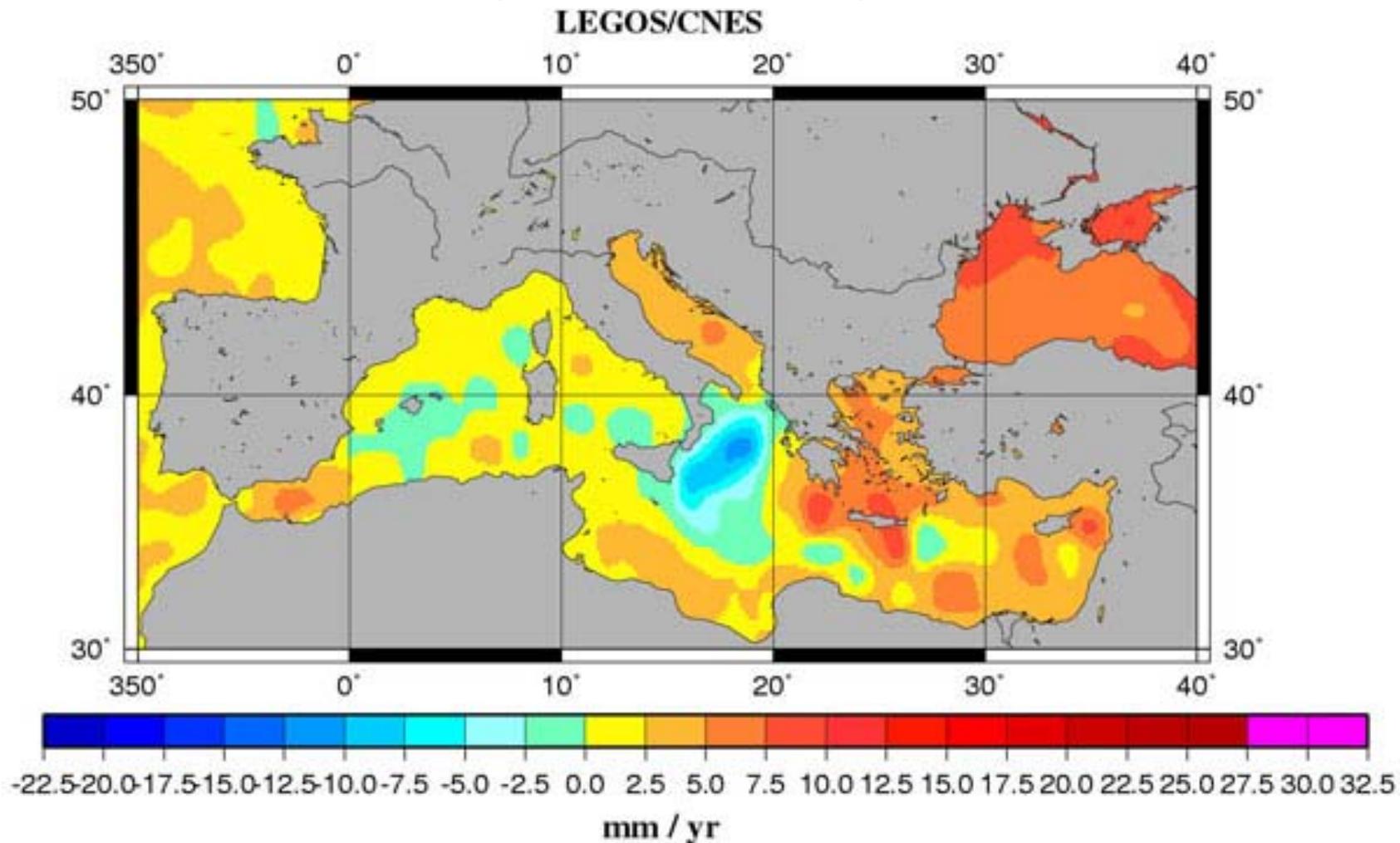
Projections : La hausse du niveau de la mer

	Changements de température (°C sur 2090-2099 relatifs à 1980-1999)		Élévation du niveau de la mer (m en 2090-2099) (relatifs à 1980-1999)
	Meilleure estimation	Plage de vraisemblance	Fourchette couverte par les modèles, excluant des changements dynamiques futurs rapides dans l'écoulement de la glace
Concentration constante au niveau de l'année 2000	0,6	0,3-0,9	NA
Scénario B1	1,8	1,1-2,9	0,18 – 0,38
Scénario A1T	2,4	1,4-3,8	0,20 – 0,45
Scénario B2	2,4	1,4-3,8	0,20 – 0,43
Scénario A1B	2,8	1,7-4,4	0,21 – 0,48
Scénario A2	3,4	2,0-5,4	0,23 – 0,51
Scénario A1FI	4,0	2,4-6,4	0,26 – 0,59

(GIEC, 2007)

Le niveau augmente aussi en méditerranée

Augmentation annuelle du niveau de la mer à partir des données Topex + Jason 1
(Janvier 1993- Juin 2006)

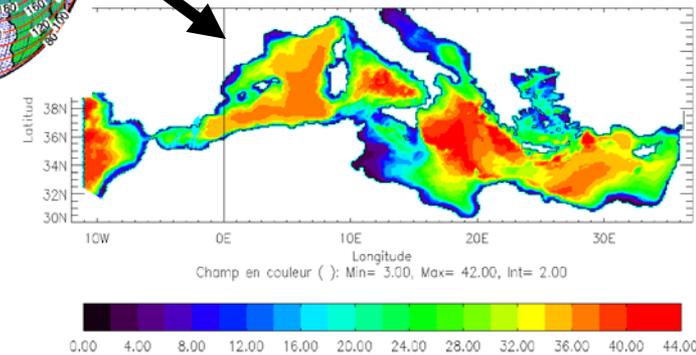
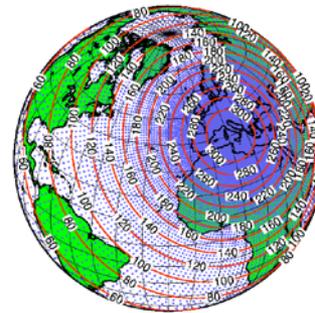
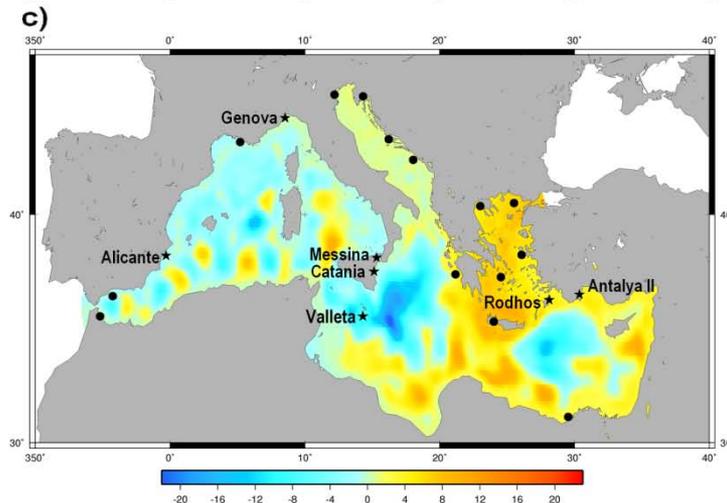
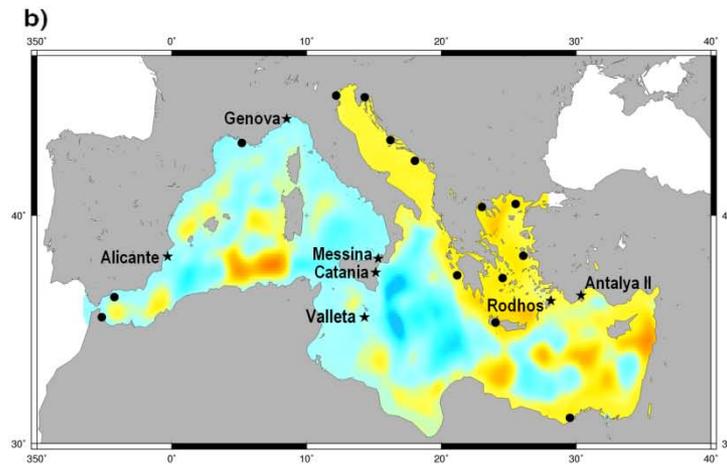
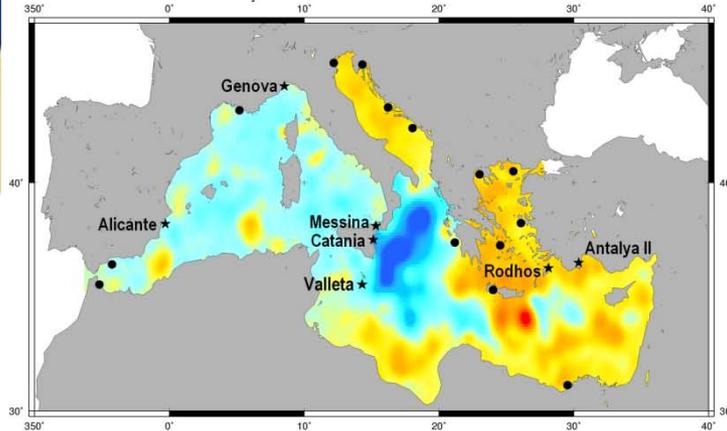


Des résultats prometteurs

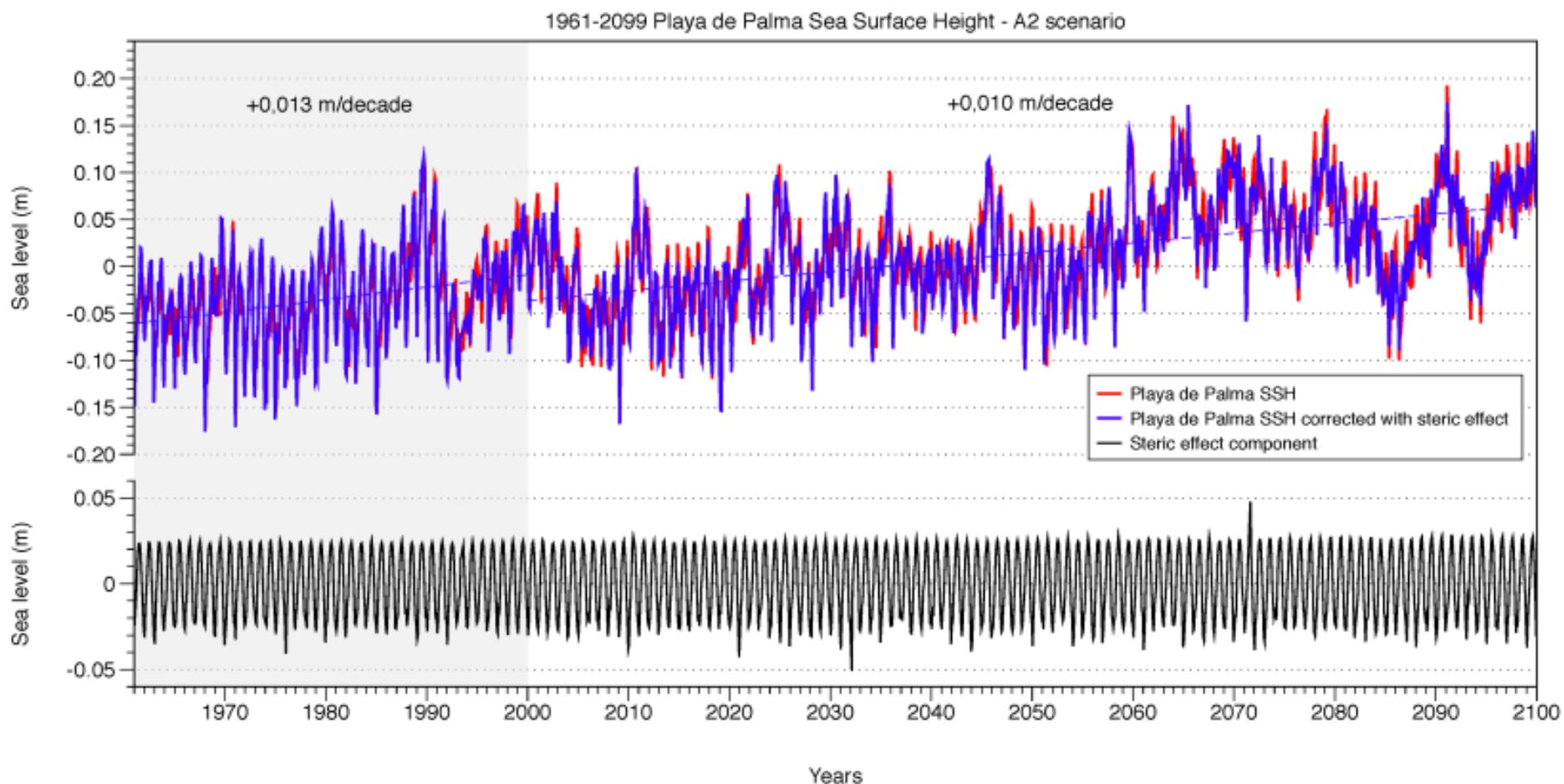
Etude LEGOS-ENEA-CNRM
(Meyssegnac et al. submitted, Ocean Dyn),,

Carte de tendances du niveau de la mer en mm/an
période 1993-2001 :

- (a) l'altimétrie,
- (b) le modèle PROTHEUS (Rome, ENEA),
- (c) le modèle NEMO-MED8 (Météo-France, CNRM)



Des résultats prometteurs



et ensuite ...



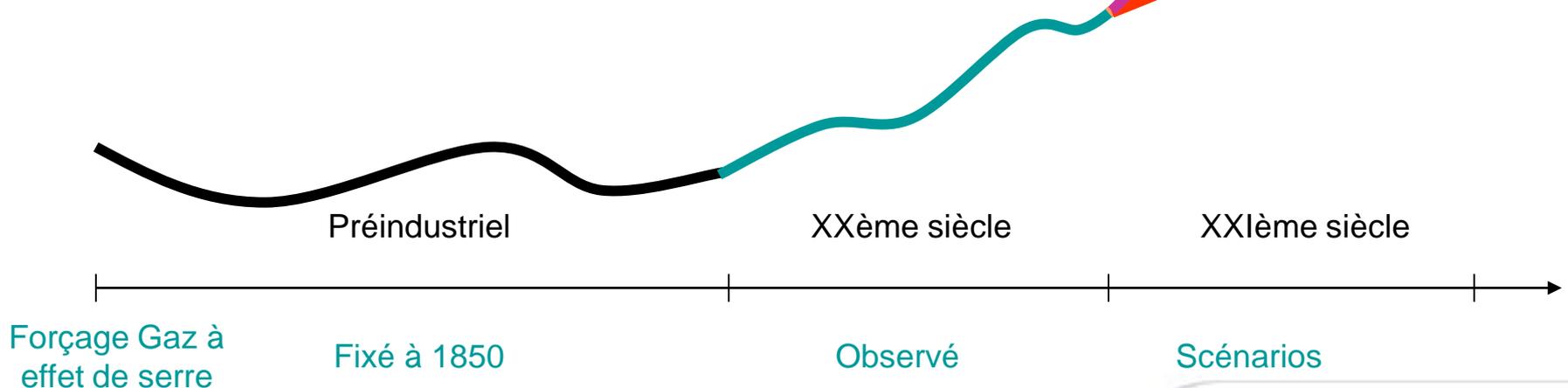
METEO FRANCE
Toujours un temps d'avance

Du GIEC-AR4 au GIEC-AR5

De CMIP3 à CMIP5

- CMIP3 (2004-2005) = rapport GIEC4 en 2007
- CMIP5 (2010-2011) = rapport GIEC5 en 2013
- Plus de simulations à réaliser mais avec identification de priorités

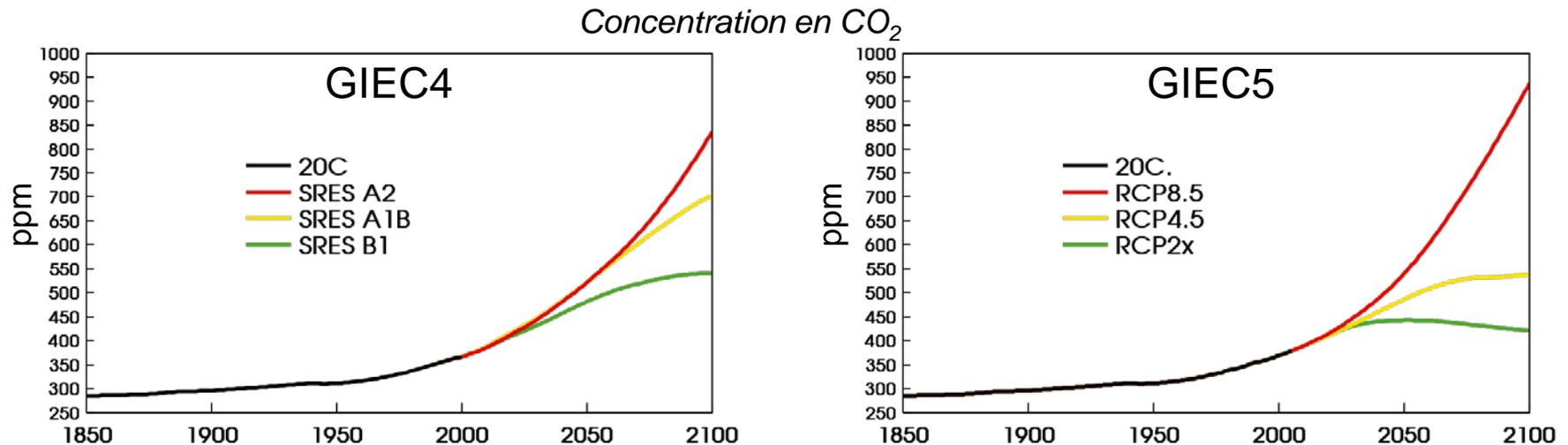
Ce qui est commun :



De CMIP3 à CMIP5

Ce qui change :

- Nouveaux scénarios pour le XXIème siècle



- Génération d'ensembles de simulations
- Plus de simulations "idéalisées" (aquaplanète, 4xCO₂ abrupt, forçages individuels)
- Des simulations décennales
- Des simulations paléoclimatiques (dernier maximum glacière)

Les modèles

GIEC4

- 25 modèles pour 18 centres de modélisation

GIEC5 (*estimation*)

- 33 modèles pour 17 centres de modélisation

	GIEC 4		GIEC 5	
	Résolution horizontale	Nombre de niveaux	Résolution horizontale	Nombre de niveaux
Atmosphère	1.4° à 4°	12 à 56	0.7° à 4°	18 à 95
Océan	1° à 2.5°	16 à 47	0.5° à 2°	20 à 80

Pour le GIEC-5, plus de modèles avec cycle du carbone complet et/ou avec de la chimie des aérosols interactive

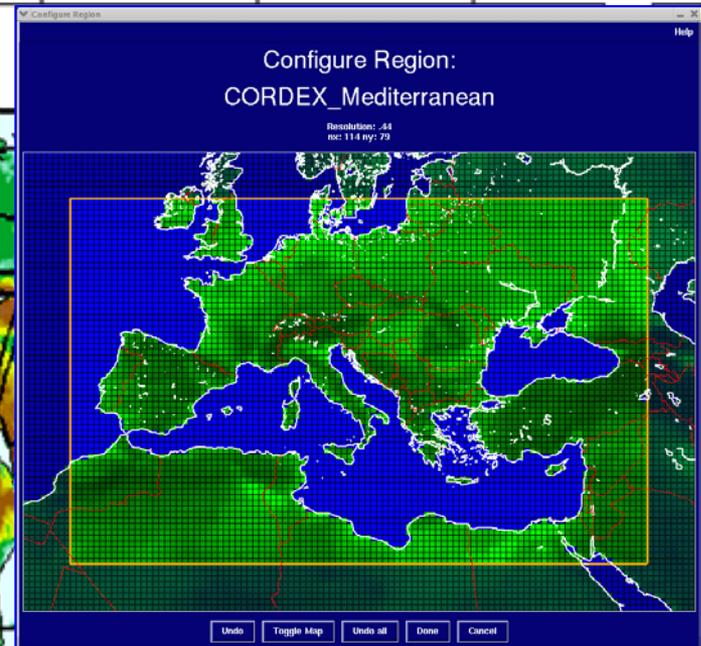
Les simulations GIEC-5 alimenteront le projet **CORDEX**
Coordinated Regional Downscaling Experiment

CORDEX et la Méditerranée

Groups involved in Med-CORDEX

**** Includes a coupled Mediterranean**

- LMD (WRF) **
- ICTP-ENEA (RegCM+MIT) **
- CNRM (ALADIN) **
- MPI (REMO) **
- UCLM (PROMES)
- WRF community ... SMHI, COSMOS



ARCHIVE:

List of the CORE runs (STAND ALONE + COUPLED):

50 km RCM (25 Km)

1989-2008, ERAInterim driven

1950-2100, Scenarios RCP4.5 and/or RCP8.5, AR5-GCM driven

100°W

0°

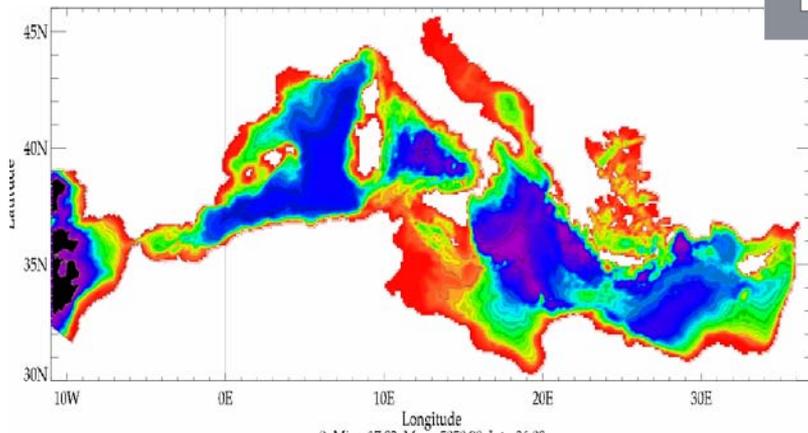
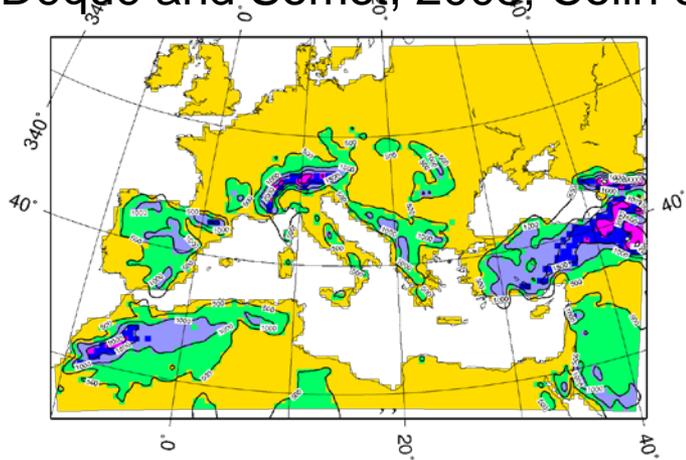
100°E

6000
5000
4000
3000
2000
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
50
40
30
20
10
0

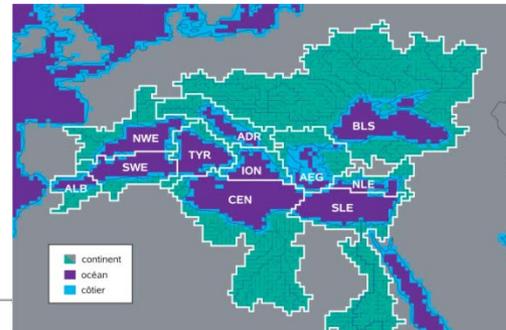
Regional climate system models for Mediterranean climate study

ALADIN-Climat v5 (ERA40, ERAInterim, GCM forcing) 50 km

(Déqué and Somot, 2008; Colin et al. 2010)



*Le modèle Med-CORDEX
de Météo-France*

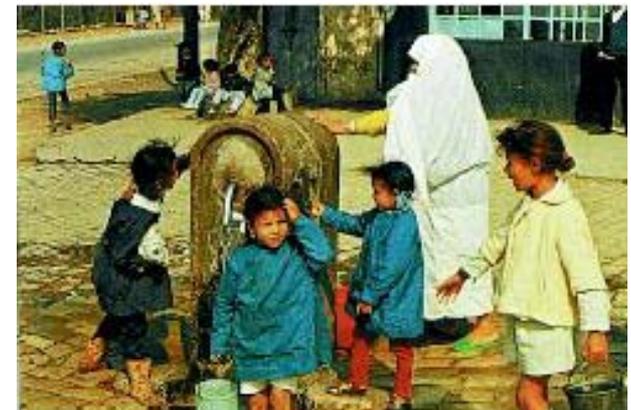
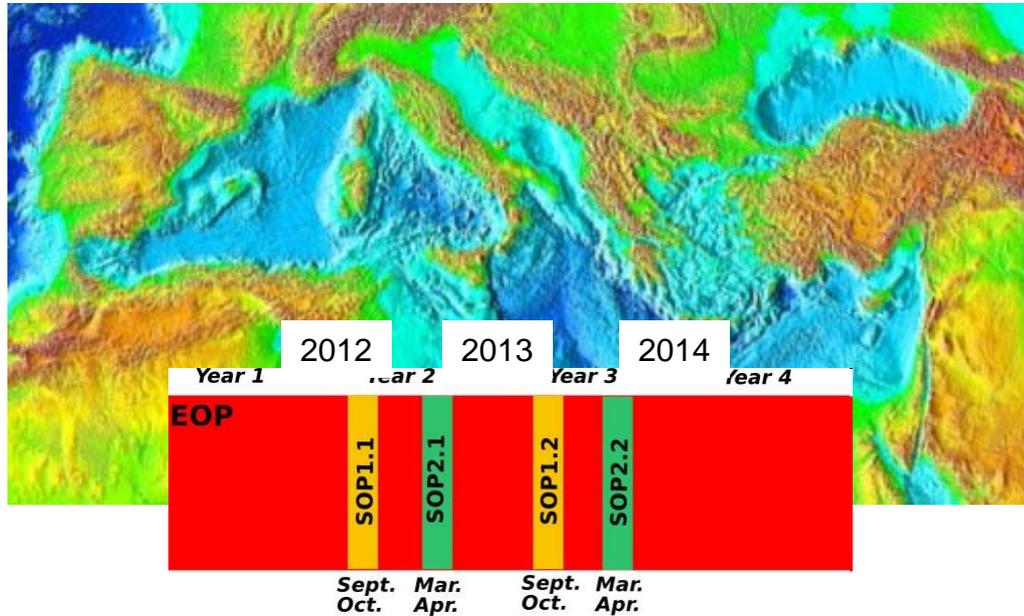


**TRIP river routine
scheme at 50 km**
(CNRM version,
B.Decharme, pers.comm.)

NEMOv2-MED8 (10 km)

(Sevaut et al. 2009,
Beuvier et al. 2010)

Campagnes de mesure HyMEx – ChArMEx - MERMEx



- **HyMEx** aims at a better quantification and understanding of **the hydrological cycle** and related processes in the Mediterranean, with emphases put on **high-impact weather events** and **regional impacts of the global change** including those on ecosystems and the human activities.
- **ChArMEx** is a regional project on tropospheric **chemistry and aerosols** which proposes an integrated modelling and observational approach to study budgets of species, chemical and dynamical processes, intense events, trends, and impacts.
- **MERMEx** aims to deepen the current understanding of the **marine ecosystems** to better anticipate their upcoming evolution. It is focused on the response of ecosystems to modifications of physico-chemical forcing at various scales, both in time and space, linked to changing environmental conditions and increasing human pressure.

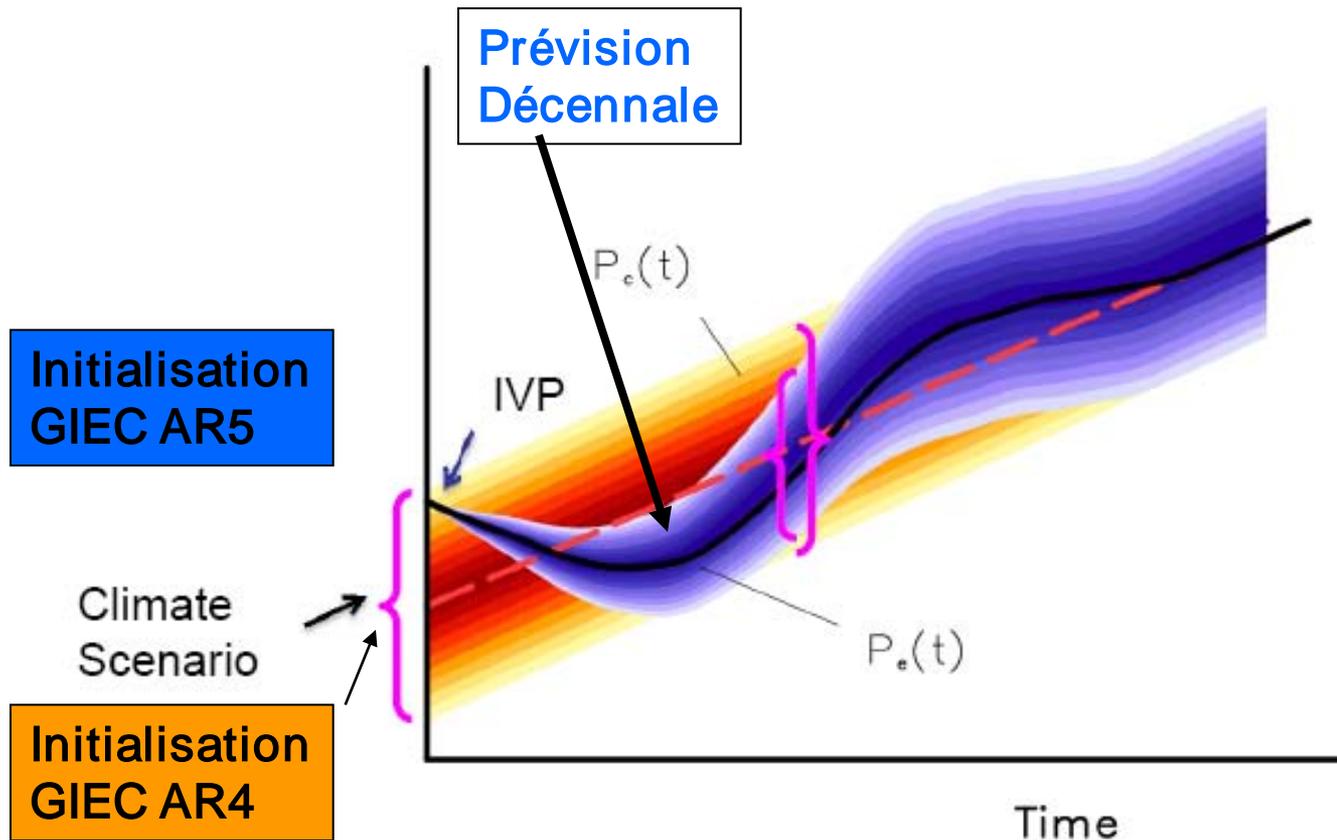
La prévisibilité décennale ?

La prévision climatique des 5-30 prochaines années est **envisageable** car il existe diverses **sources de prévisibilité** à échelle décennale mais reste un **axe de recherche très prospectif**.

Nous **savons** que le système climatique dans un futur « proche » :

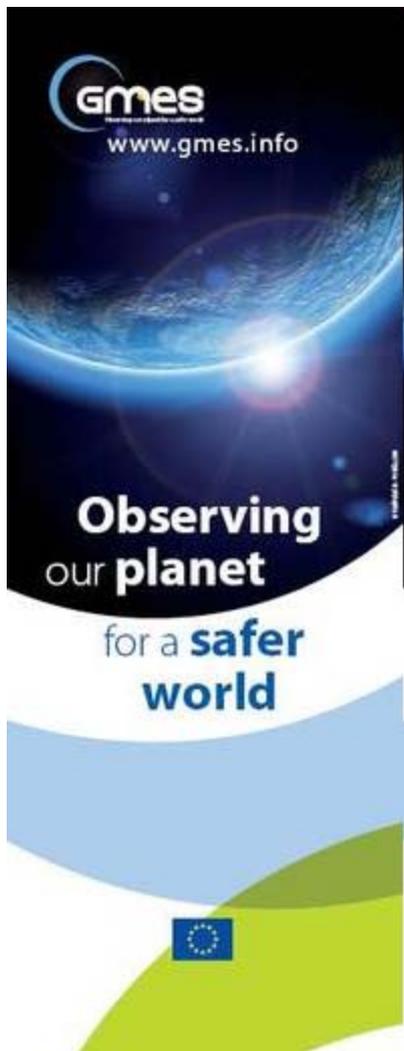
1. s'ajustera à l'augmentation actuelle (passé proche) de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère ($+1^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$)
et sera **peu sensible aux divers scénarios** sur ces échelles de temps
2. sera influencé par les **forçages naturels externes** qui sont actifs dans la bande de fréquence décennale (e.g. cycles solaires, etc.)
3. sera influencé par les **fluctuations naturelles** qui sont actives dans la bande de fréquence décennale : AMO & PDO

Prévision Décennale GIEC AR5



Branstator (2010)

GMES core services



Les services GMES sont dédiés à la supervision et la prévision des sous-systèmes terrestres.

Ils contribuent directement à la supervision du changement climatique.

Le « land monitoring service »



Le « marine monitoring service »

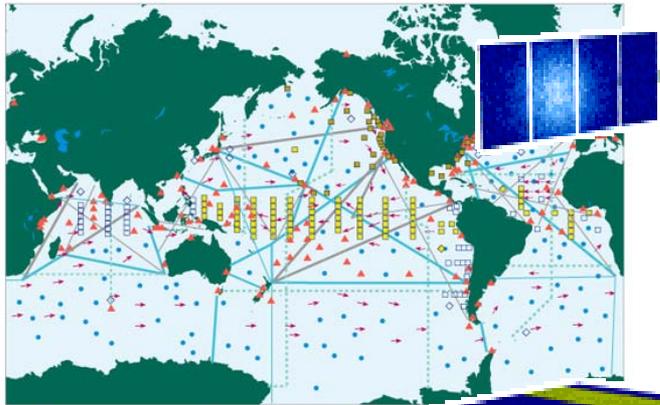


Le « atmosphere monitoring service »



Quel océan fera-t-il demain ?

Global Ocean Observing System
for Climate and Marine Services

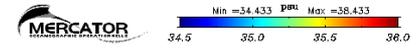
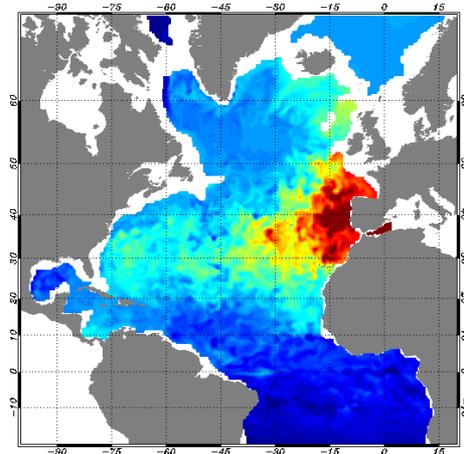


Observations spatiales

Modèle

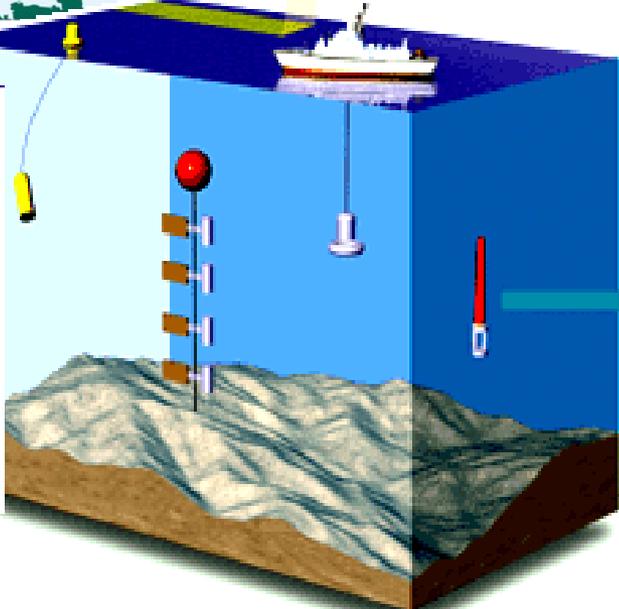
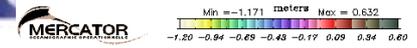
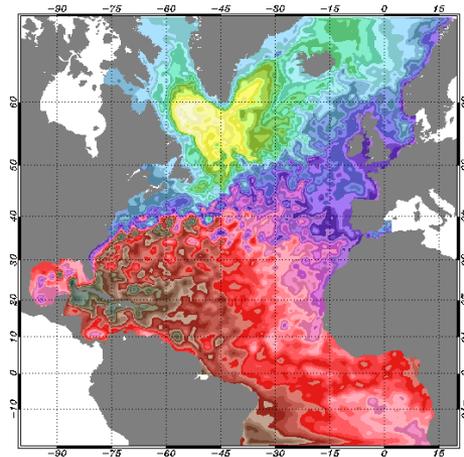
Observations in situ

2 weeks forecast salinity : S on 15-03-2006 near 1046m



Prévisions

2 weeks forecast sea surface height : SSH on 15-03-2006



En guise de conclusion : DRIAS

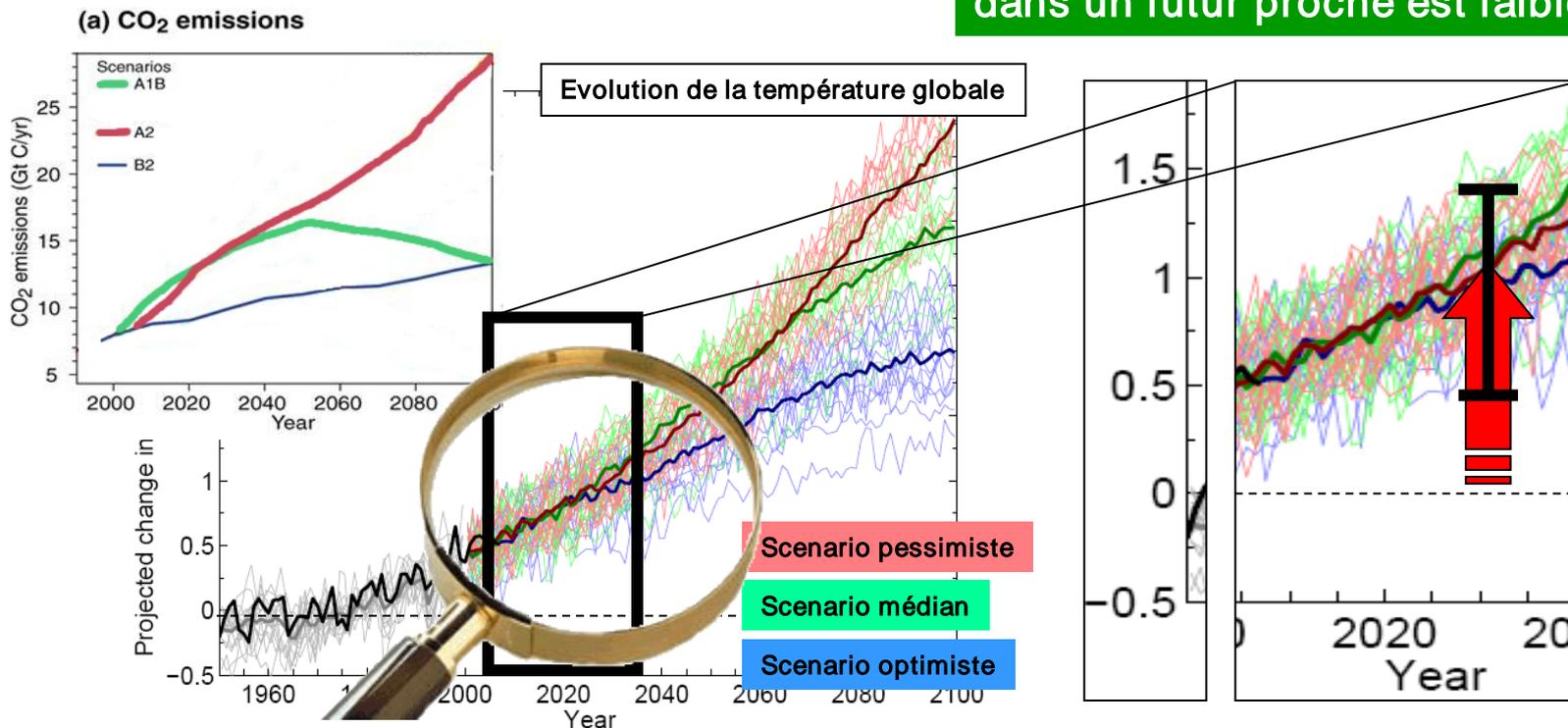
DRIAS : **D**onner accès aux scénarios climatiques **R**égionalisés français pour l'**I**mpact et l'**A**daptation de nos **S**ociétés et environnements

- Faciliter les études d'impact et aider
- Programme : GICC, APR 2008, « Atténuation, adaptation et régionalisation »
- Partenaires :
 - Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique (CERFACS)
 - Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL)
 - Groupe d'étude de l'atmosphère météorologique, Centre National de Recherches Météorologiques (GAME - CNRM)
 - Météo-France (Direction de la climatologie, coordinateur)
- Durée du projet : 2 ans. Démarrage fin-2009

MERCI DE VOTRE ATTENTION

Forçage externe d'origine anthropique

Contrairement à la fin du siècle, le poids du scénario d'émission de GES dans l'incertitude du réchauffement dans un futur proche est faible.

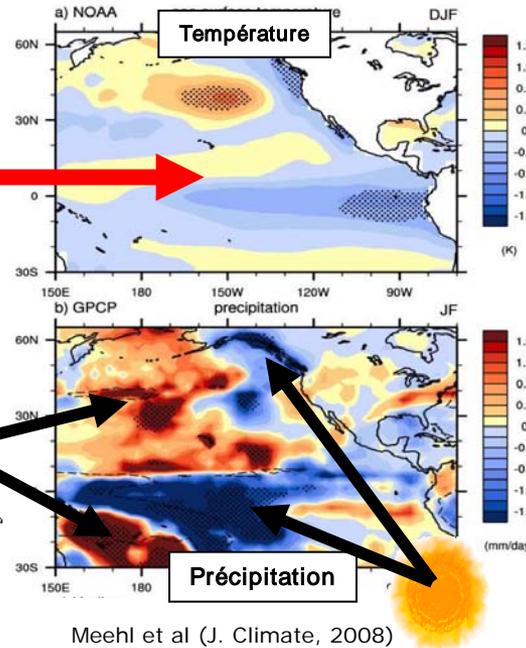
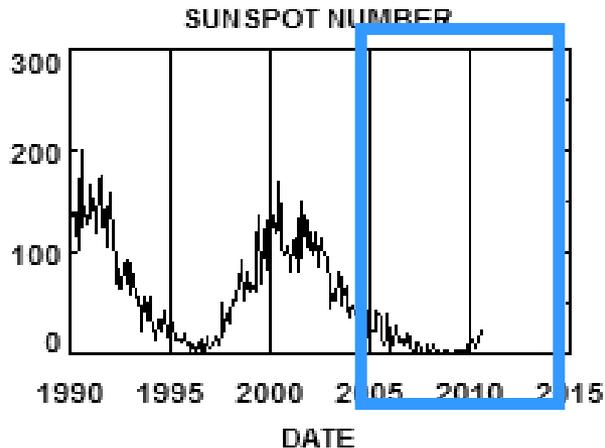
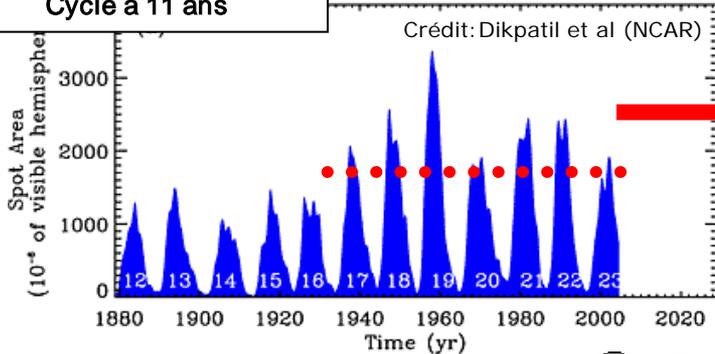


Le réchauffement global prévu pour la décennie 2030 correspondant à l'augmentation des GES d'origine anthropique est de l'ordre de +1°C

Avec une incertitude de +/-0.5°C

Forçage externe naturel : l'activité solaire

Nombre de taches solaires
Cycle a 11 ans



Composite d'anomalies observées
correspondant aux maxima solaires

Réponse en structure
« Niña-esque »

Nous sommes en route vers un maximum solaire...

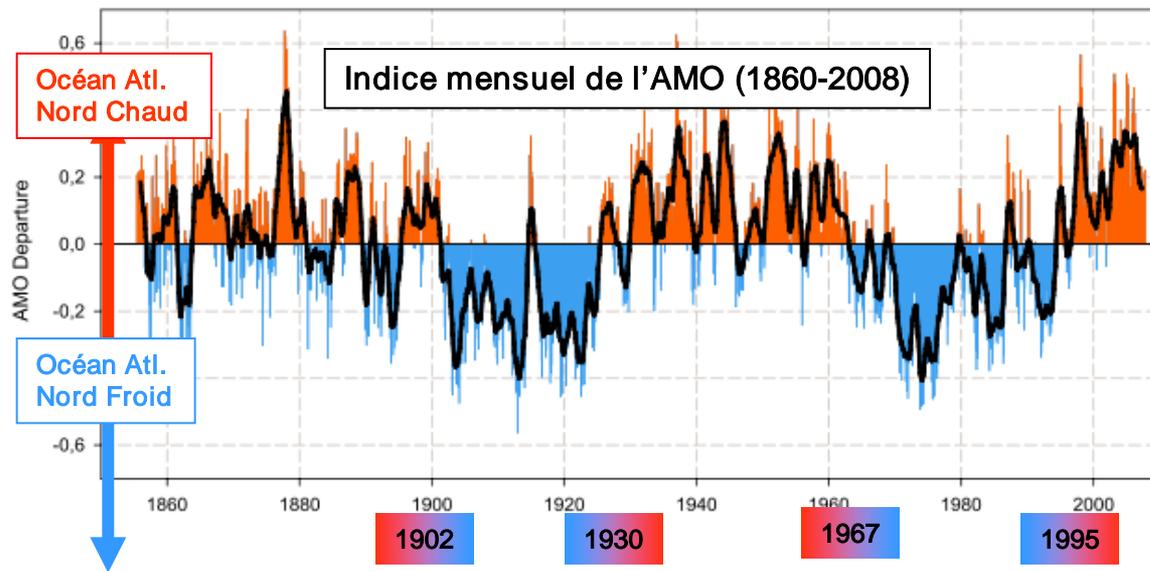
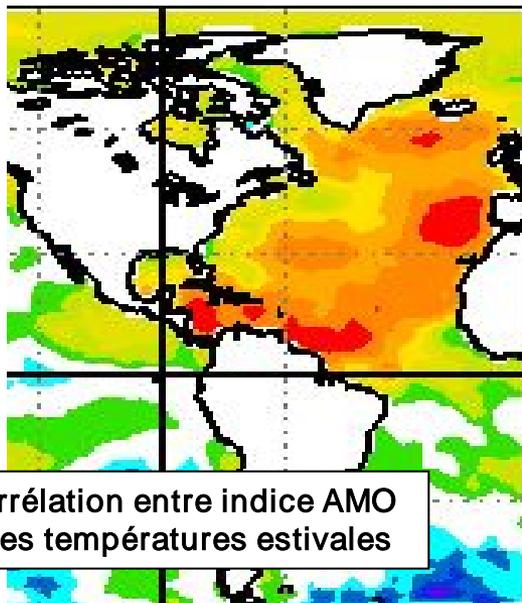
En raison des relations significatives entre variables climatiques et activité solaire, la prise en compte du cycle à 11 ans pour la prévision décennale est importante.

Variabilité intrinsèque décennale : l'AMO

L'Oscillation Atlantique Multi décennale (AMO)

Mesure: Température océanique moyennée sur l'ensemble de l'Atlantique Nord

Monthly values for the AMO index, 1856–2008



AMO=Oscillation océanique Atlantique de période égale à ~70ans
1995 marque le début du troisième cycle (phase chaude) depuis 1850

<http://www.cdc.noaa.gov/data/>

Il est important de prendre en compte la phase de l'AMO dans les prévisions décennales car l'AMO est associée à des fluctuations climatiques significatives.

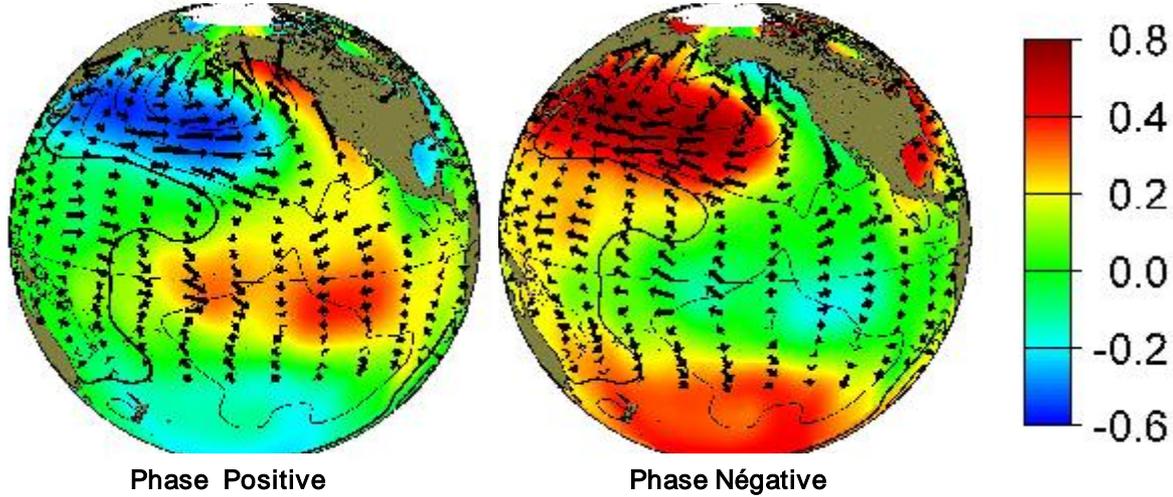
Sur les 20 prochaines années, probabilité plus forte pour des saisons cycloniques plus actives sur le bassin Atlantique, pour des sécheresses marquées sur les Amériques.
Probabilité plus faible pour les grandes sécheresses sahéniennes.

Variabilité intrinsèque décennale : la PDO

L'Oscillation Pacifique Décennale (PDO)

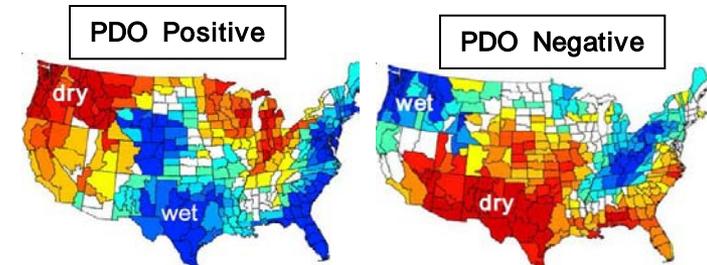
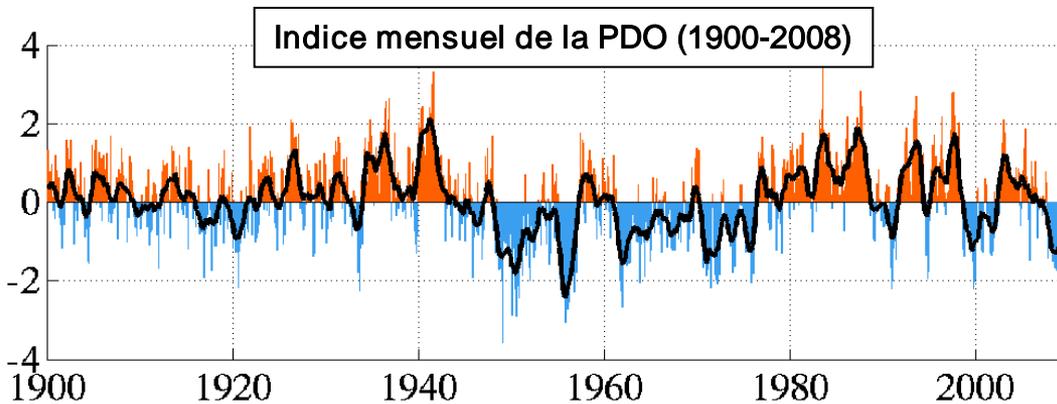
Définition: Mode de variabilité océanique du Pacifique Nord et Pacifique tropical

Anomalie de température de surface de la mer + vent



PDO=Oscillation océanique Pacifique de période égale à ~60ans

1998-2000 marque le début d'une phase froide



Impact direct sur la gestion de l'eau

Que peut-on dire aujourd'hui ?

Nous pourrions dire de plus dans 2 ou 3 ans quand les simulations du GIEC AR5 (2012) et de COMBINE (EU-FP7) seront terminées et analysées

2 études préliminaires publiées et prometteuses:

- Smith DM, Cusack S., AW Colman, CK Folland, GR Harris and JM Murphy (2007): Improved Surface temperature prediction for the coming decade from a global climate model. *Science*.
- Keenlyside NS, M. Latif, J. Jungclaus, L. Kornblueh and E. Roenecker (2009): Advancing Decadal-scale Climate Prediction in the North Atlantic. *Nature*

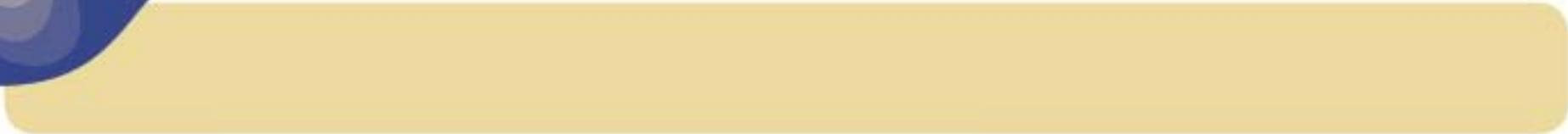
Un **consensus** semble se dégager sur le fait que la tendance au réchauffement due à l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre soit **ralentie** sur cette fin de décennie 2000 par l'action combinée :

- des fluctuations décennales **naturelles** du système climatique pilotées par l'**océan**
- **et le solaire** dans une bien moins grande mesure.

mais **2010** sera quand même l'année la plus chaude ou la deuxième depuis le début des enregistrements.

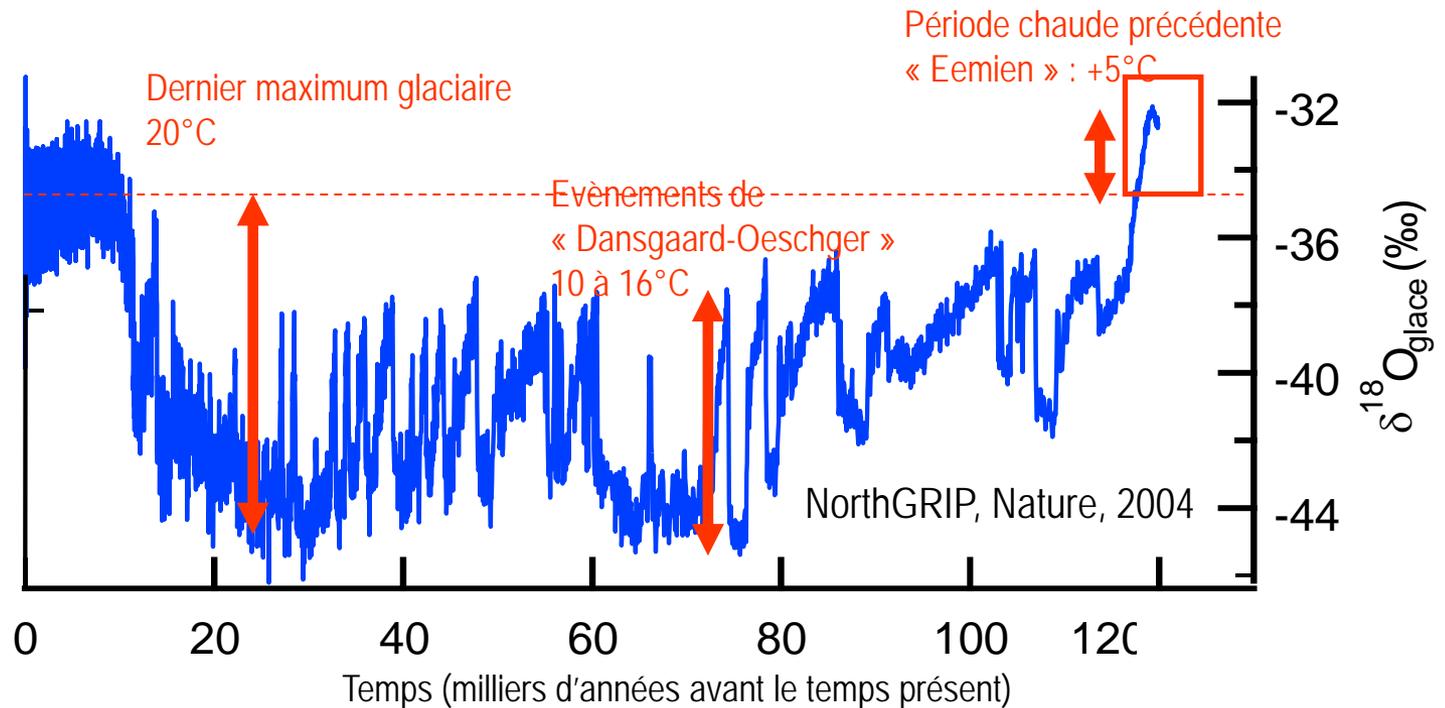
Des d'incertitudes à estimer

- **Scénarios de base** : différentes familles de scénarios considérés comme équiprobables
- **Modèles climatiques globaux** : biais systématiques liés à connaissances insuffisantes, choix de paramètres
- **Variabilité interne au climat** : à l'intérieur des composantes du système climatique ou liées aux interactions entre composantes (NAO, ENSO, ...)
- **Méthodes de descente d'échelle** : incertitudes liées aux modèles statistiques ou dynamiques
- **Modèles d'impacts** : incertitudes de la conceptualisation de ces modèles et dans leur calibration, statistiques liant les paramètres climatiques aux indicateurs d'impact....



METEO FRANCE
Toujours un temps d'avance

Le climat de la Terre est loin d'être stable



- Variations d'orbite : répartition différente de l'énergie venue du soleil à la surface de la Terre
- Volcanisme et poussières
- Variation de la quantité d'énergie venue du soleil
- Variation de la composition chimique de l'atmosphère : impact radiatif des gaz à effet de serre
- Instabilités internes (calotte, circulation océanique...)

Poussières volcaniques, activité solaire

