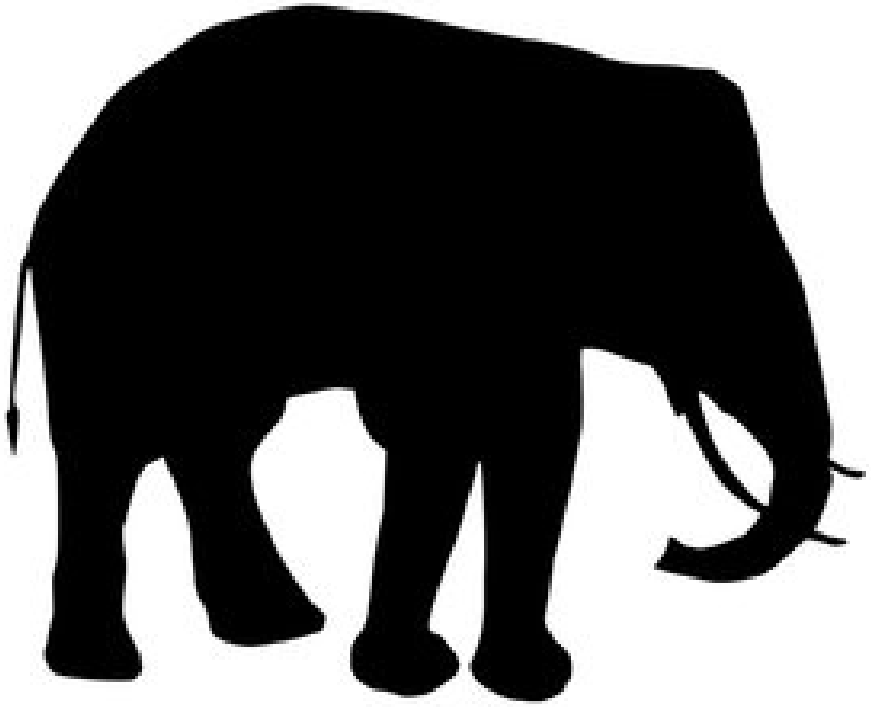
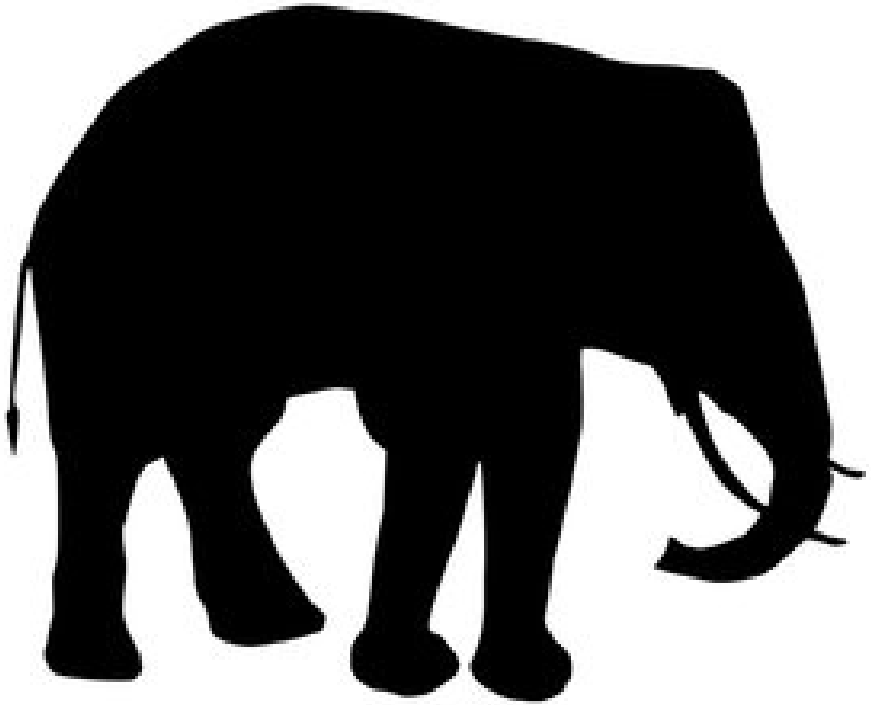
Les formidables défis du changement climatique

Valérie Masson-Delmotte
Laboratoire des Sciences du Climat & de l'Environnement
Institut Pierre Simon Laplace/CEA-CNRS-UVSQ, Gif-sur-Yvette

LSCE





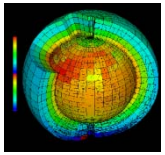
Observer, comprendre, anticiper …

Des défis scientifiques majeurs

Histoire des sciences du climat

Physique des fluides
Thermodynamique
Transferts radiatifs

Datations/reconstructions
Super calculateurs
Satellites



Antiquité

Moyen Age

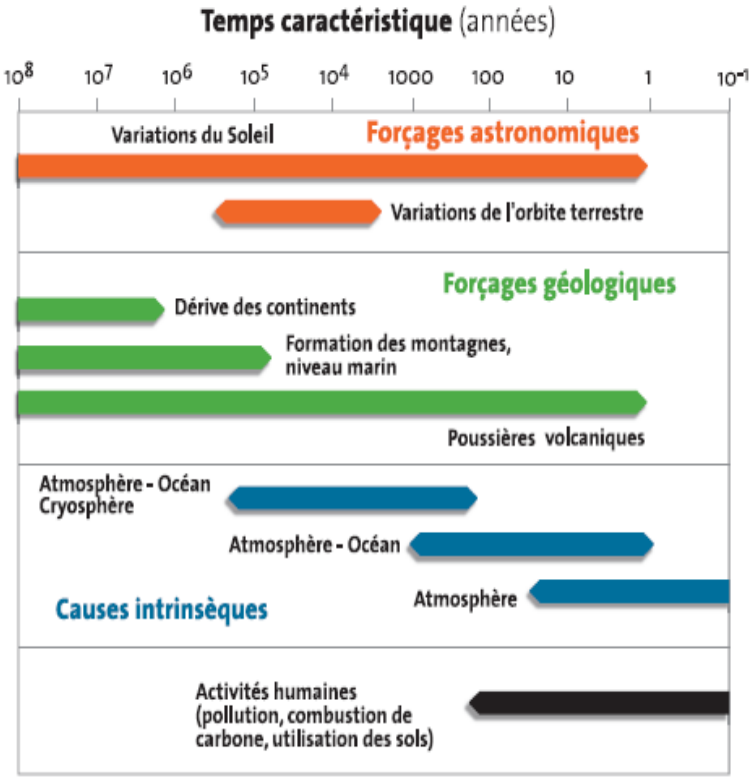
17ème siècle
Instruments météo

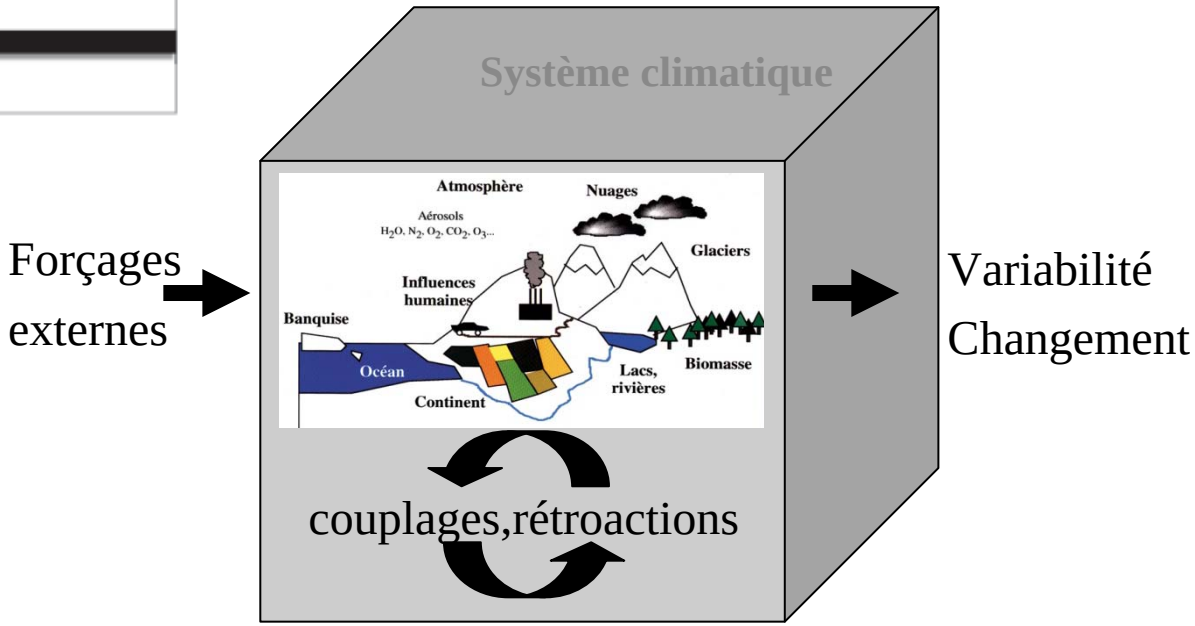
19ème siècle
Réseaux
Glaciations
Effet de serre

20ème siècle
Climats passés
Modélisation du climat

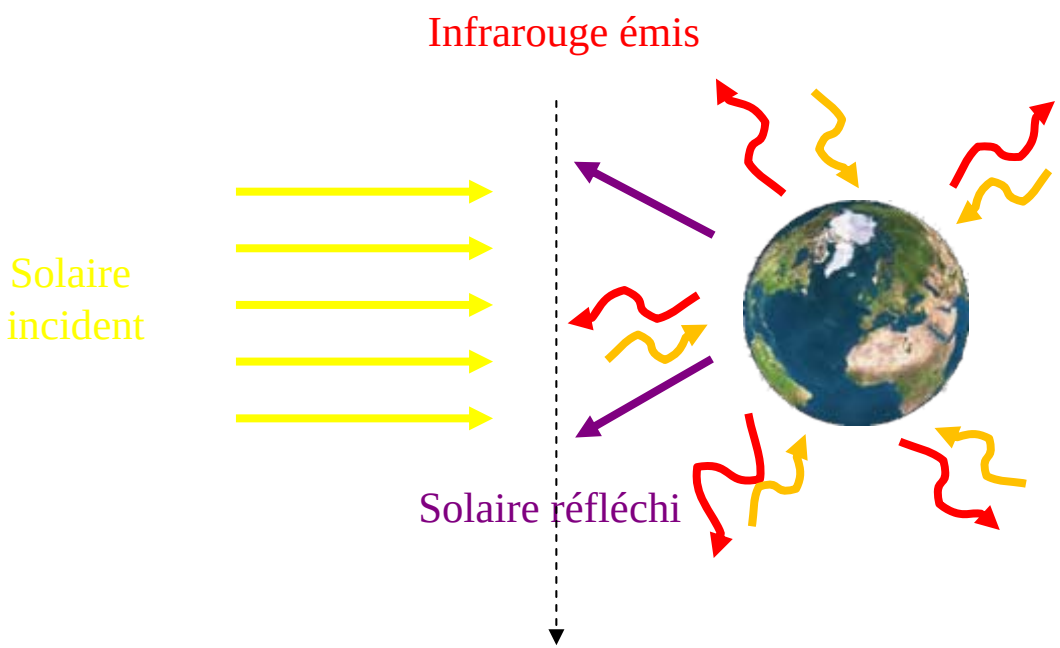
«De même que l'hiver survient dans les saisons de l'année, ainsi, au cours d'une longue période de temps survient un grand hiver […]. [Ces phénomènes] se produisent si progressivement et si graduellement et pendant des périodes de temps si longues par rapport à notre vie, qu'ils passent inaperçus, et, avant qu'on puisse les enregistrer du début à la fin, des nations entières périssent ou sont détruites. »

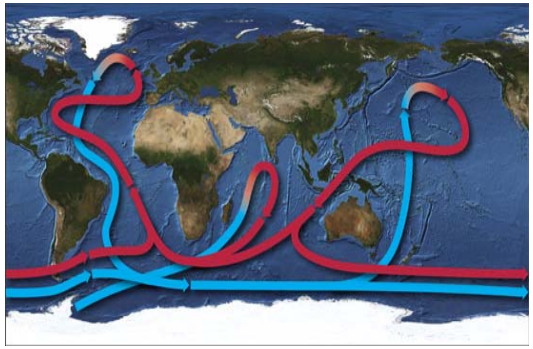
Aristote, Grèce, 340 av. J.C. (les Météorologiques)

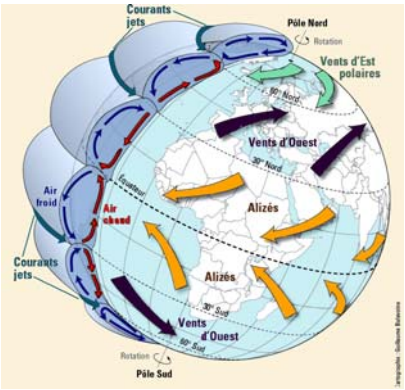

Temps caractéristique (années)
10^8 10^7 10^6 10^5 10^4 1000 100 10 1 10^{-1}
Variations du Soleil
Forçages astronomiques
Variations de l'orbite terrestre
Forçages géologiques
Dérive des continents
Formation des montagnes, niveau marin
Poussières volcaniques
Atmosphère - Océan Cryosphère
Atmosphère - Océan
Causes intrinsèques
Atmosphère
Activités humaines (pollution, combustion de carbone, utilisation des sols)


Système climatique
Atmosphère
Nuages
Aérosols
H_2O, N_2, O_2, CO_2, O_3...
Glaciers
Influences humaines
Banquise
Océan
Continent
Lacs, rivières
Biomasse
couplages,rétroactions
Forçages externes
Variabilité
Changement

La machine climatique







Forçage radiatif

$\Delta T = \lambda \, \Delta F$

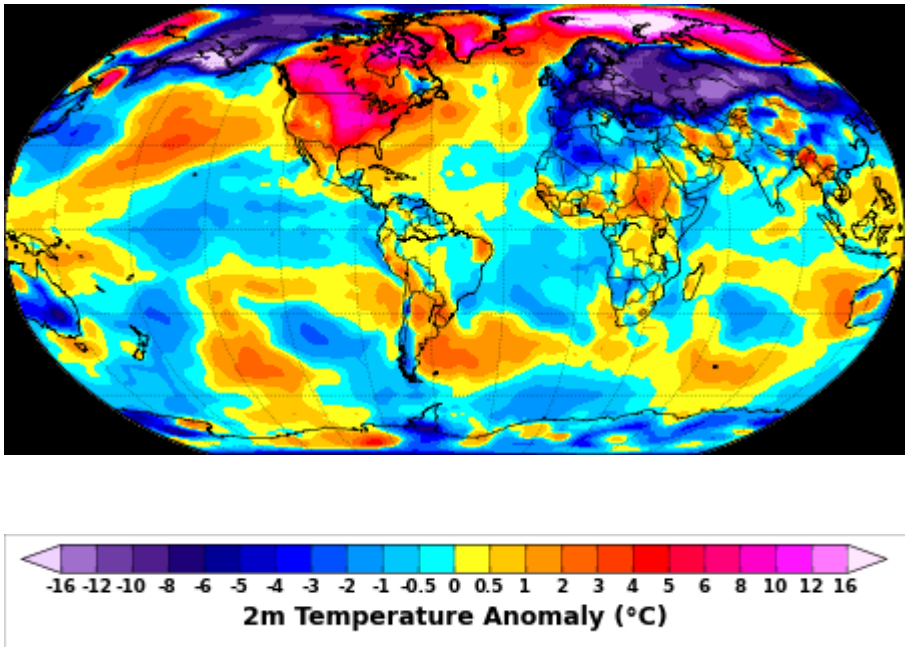
λ: sensibilité climatique

Importance **des rétroactions**

Le climat change

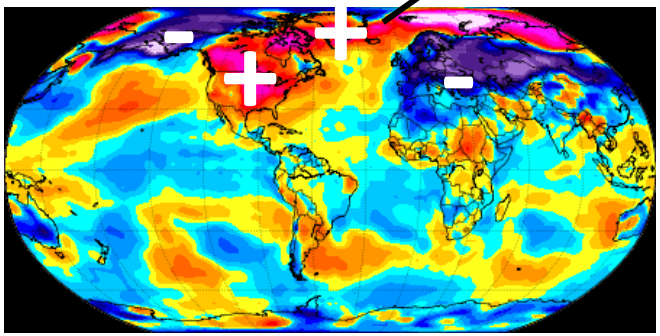
De la météorologie au climat

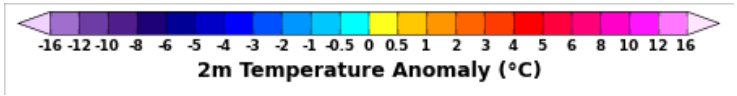
Dernière semaine (1er au 7 février 2012) : écart entre les températures mesurées et la moyenne des températures pendant les derniers 30 ans (1980-2010)

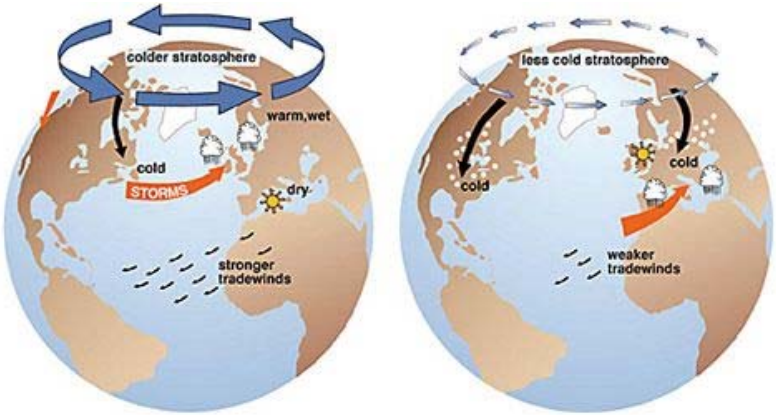


De la météorologie au climat

Dernière semaine (1er au 7 février 2012) : écart entre les températures mesurées et la moyenne des températures pendant les derniers 30 ans (1980-2010)



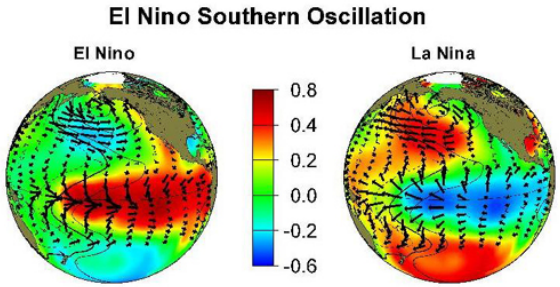




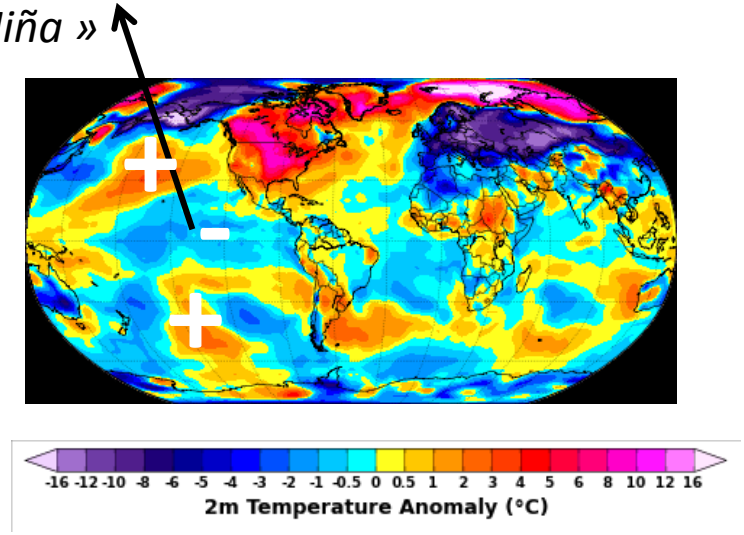
Oscillation Arctique

De la météorologie au climat

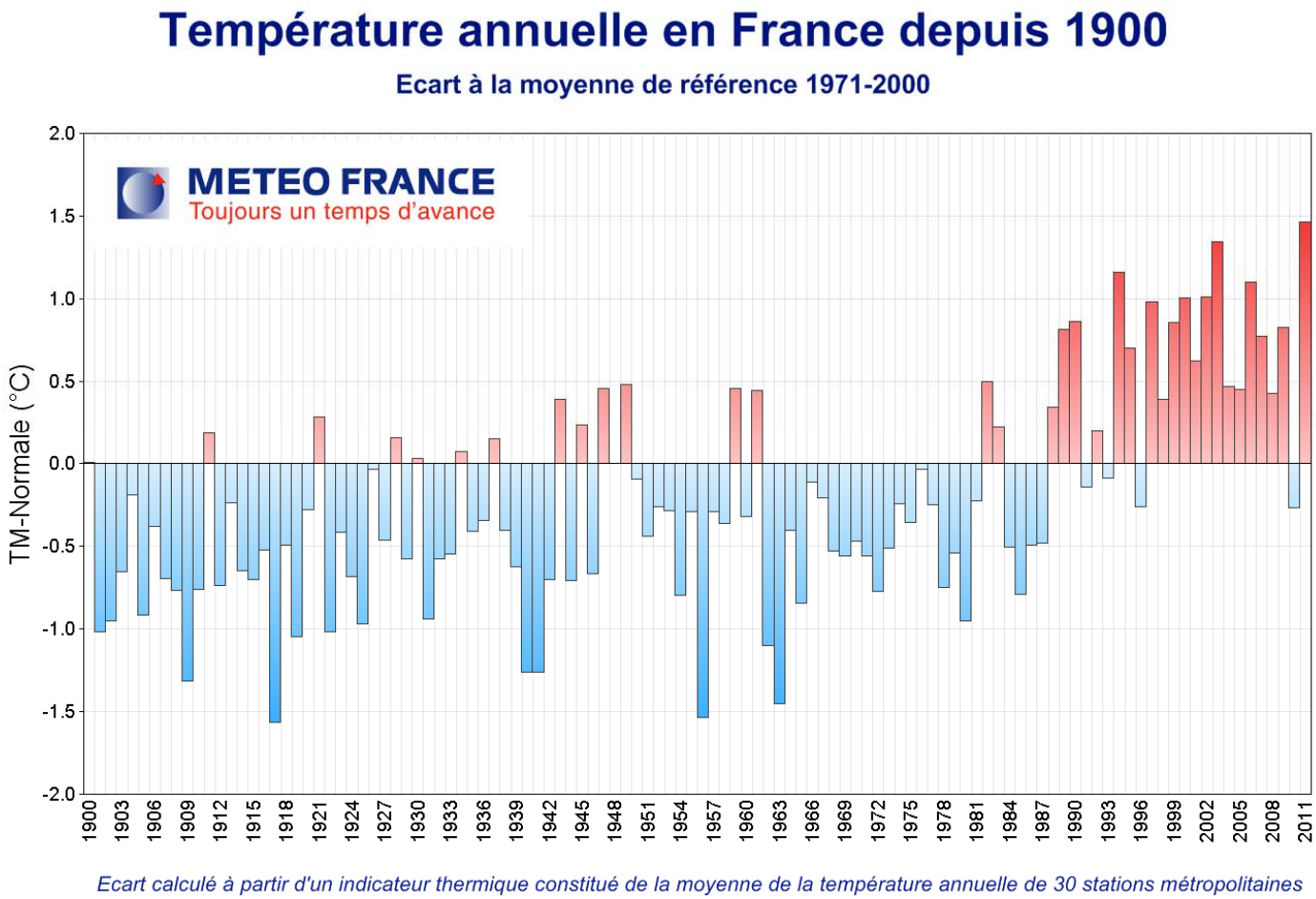
Dernière semaine (1er au 7 février 2012) : écart entre les températures mesurées et la moyenne des températures pendant les derniers 30 ans (1980-2010)



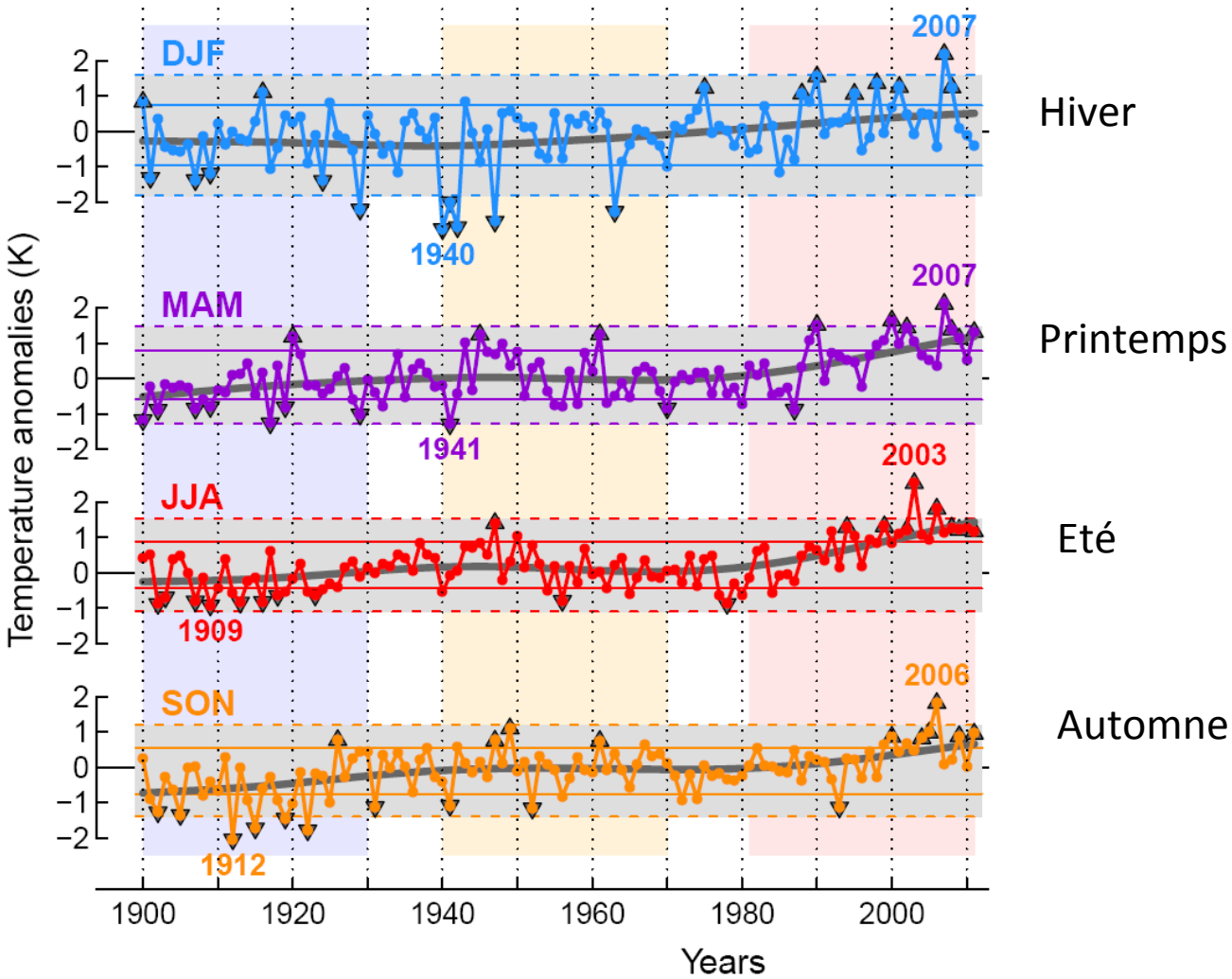
Evènement « La Niña »



Le climat change en France
+1°C en 100 ans

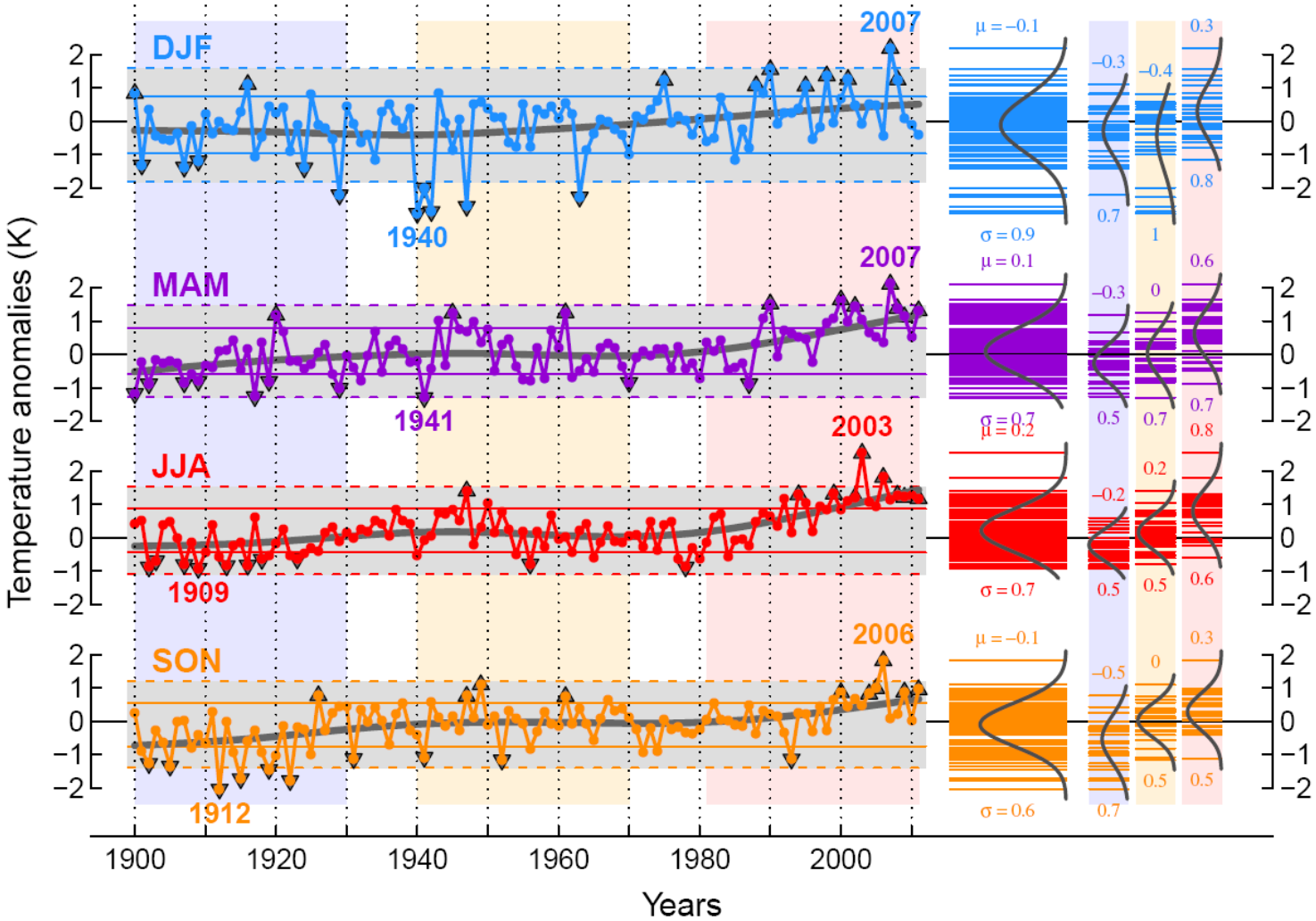


Le climat change en Europe



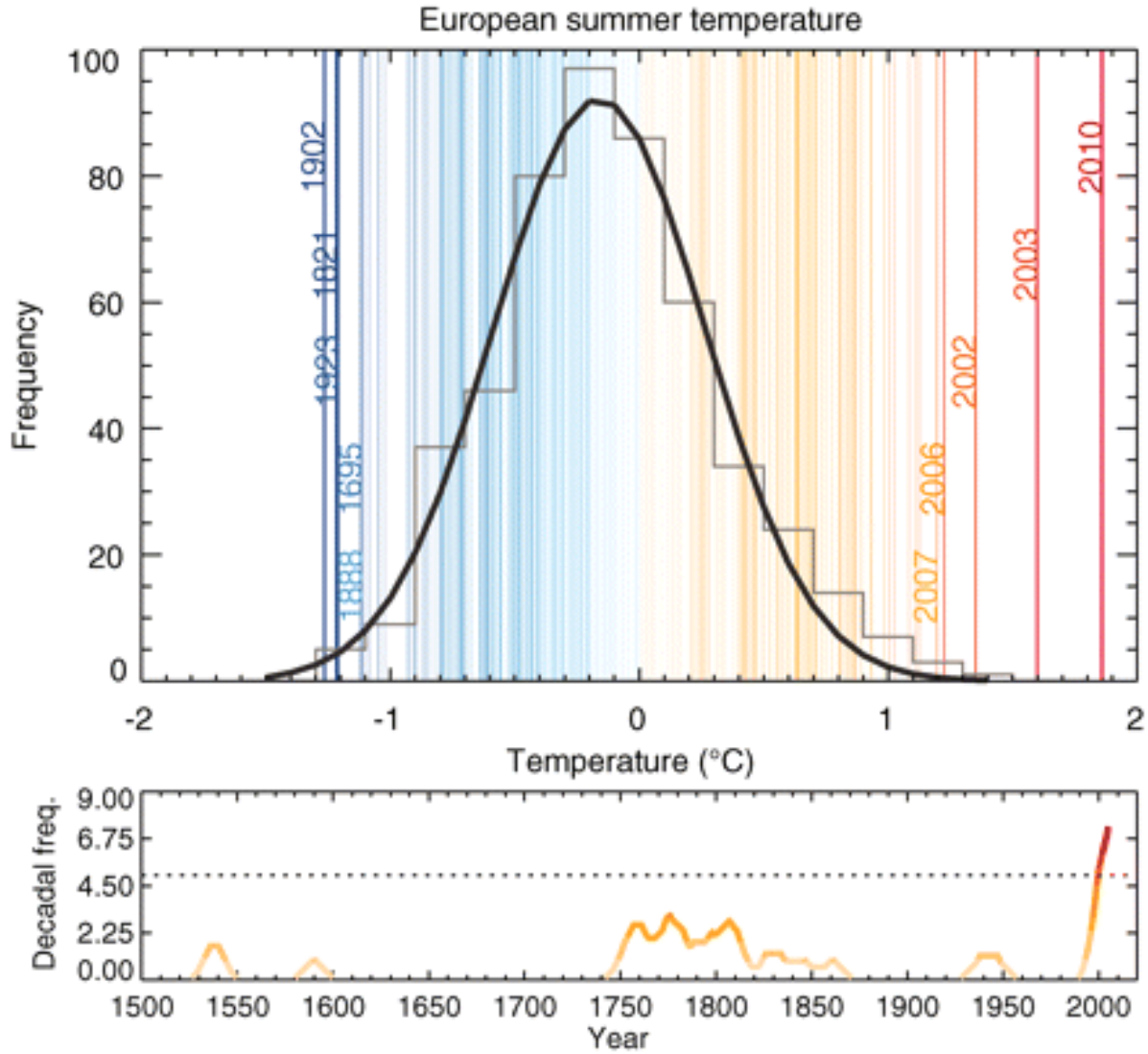
Cattiaux, thèse, 2010

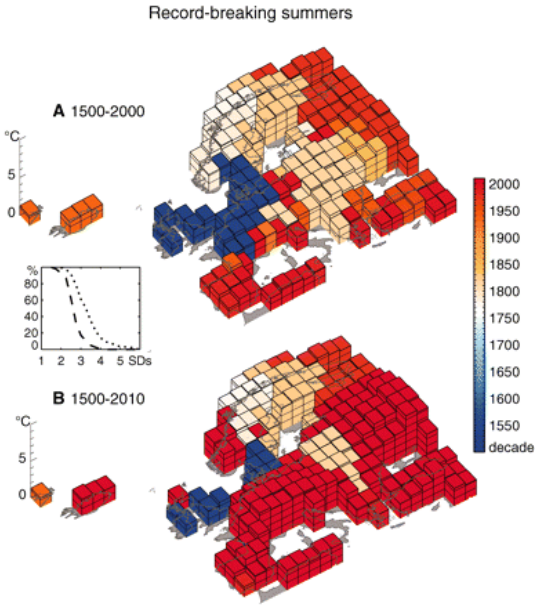
Ce n'est pas seulement la température « moyenne » qui change : Europe



Cattiaux, thèse, 2010

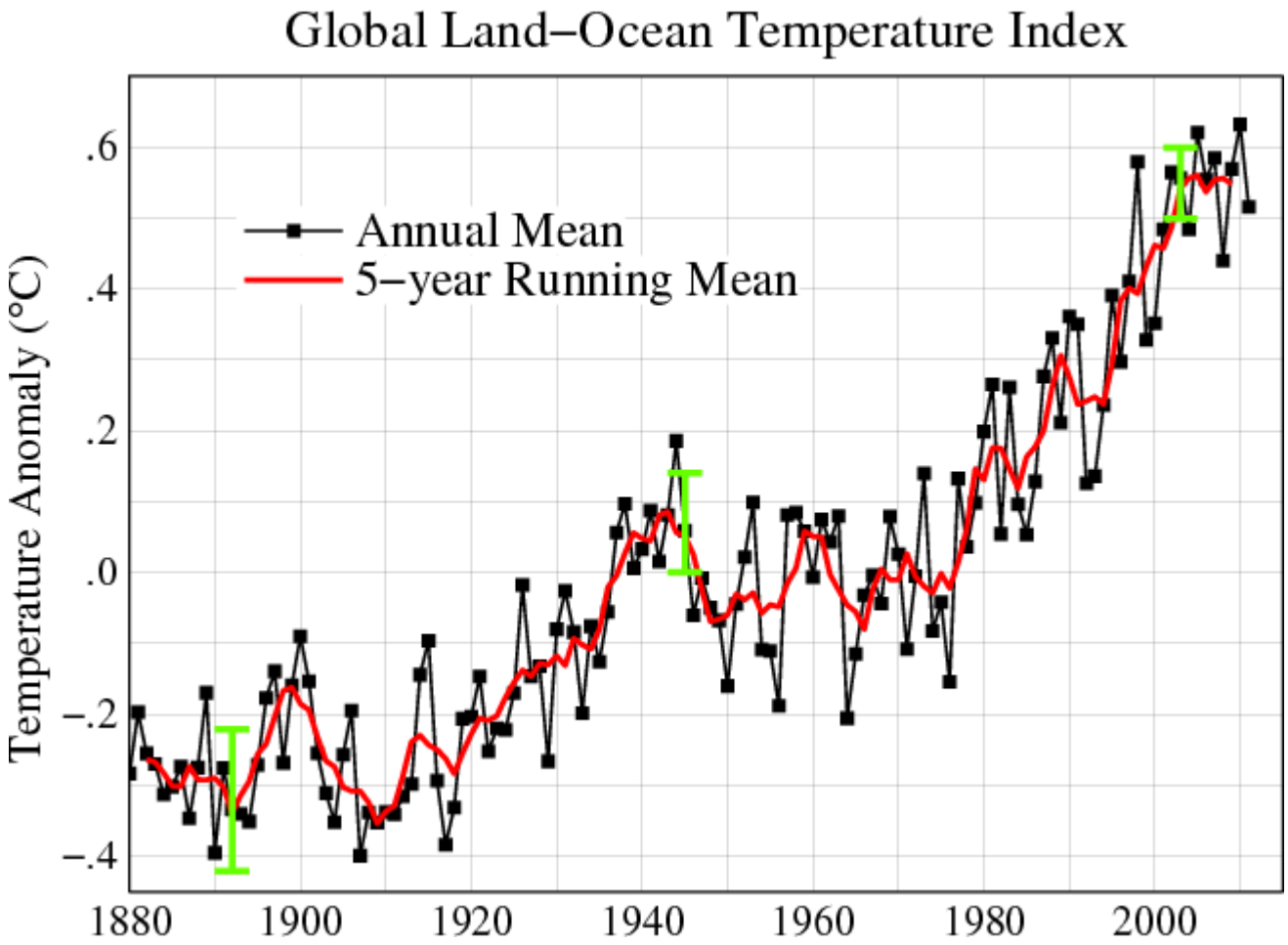
500 ans de température d'été en Europe





Barriopedro et al , Science, 2011

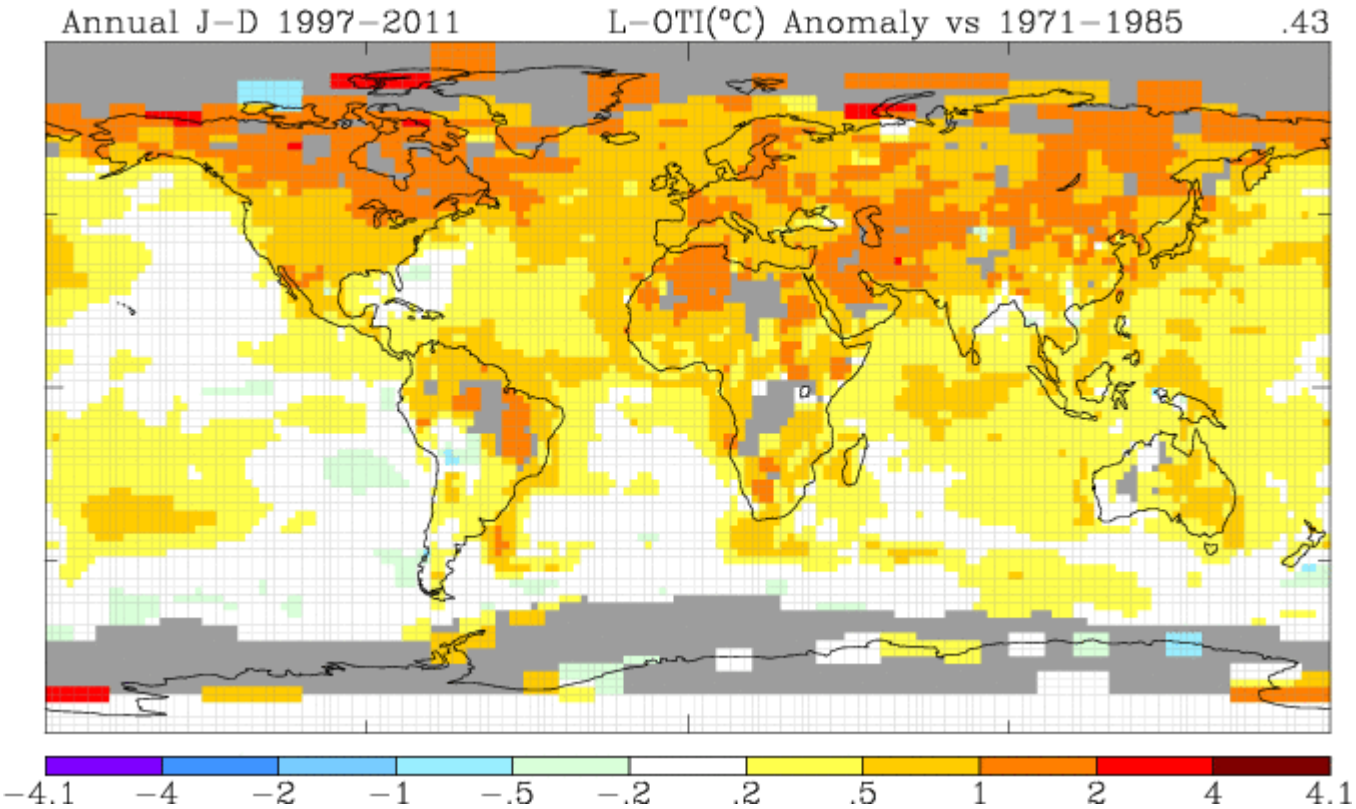
L'un des indicateurs: Température moyenne à la surface de la Terre



NASA/GISS

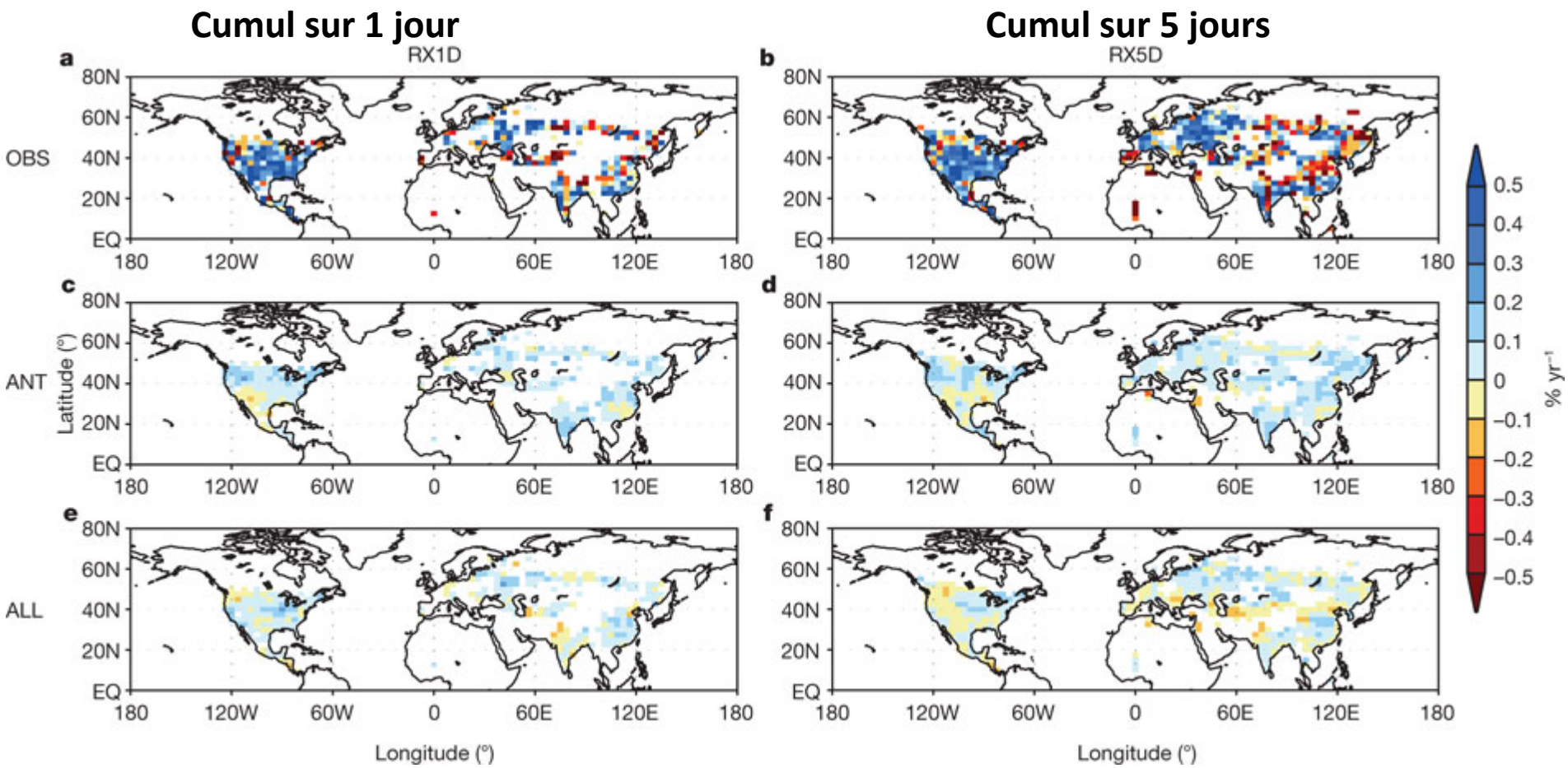
D'une génération à l'autre

Climat des derniers 15 ans - Climat de mes premiers 15 ans



NASA/GISS

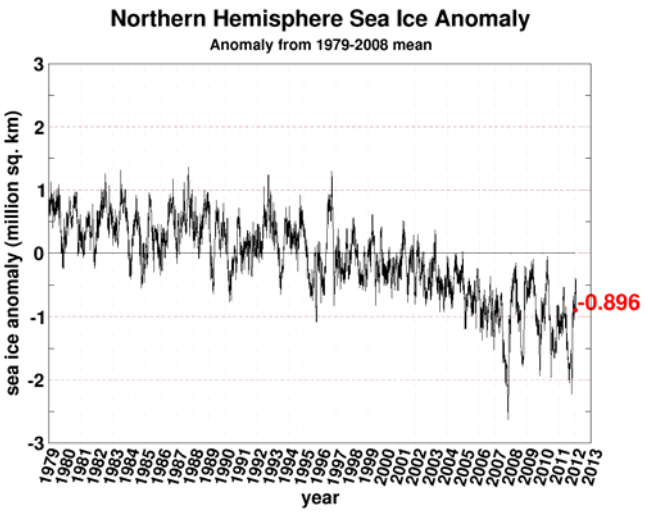
Records de précipitations

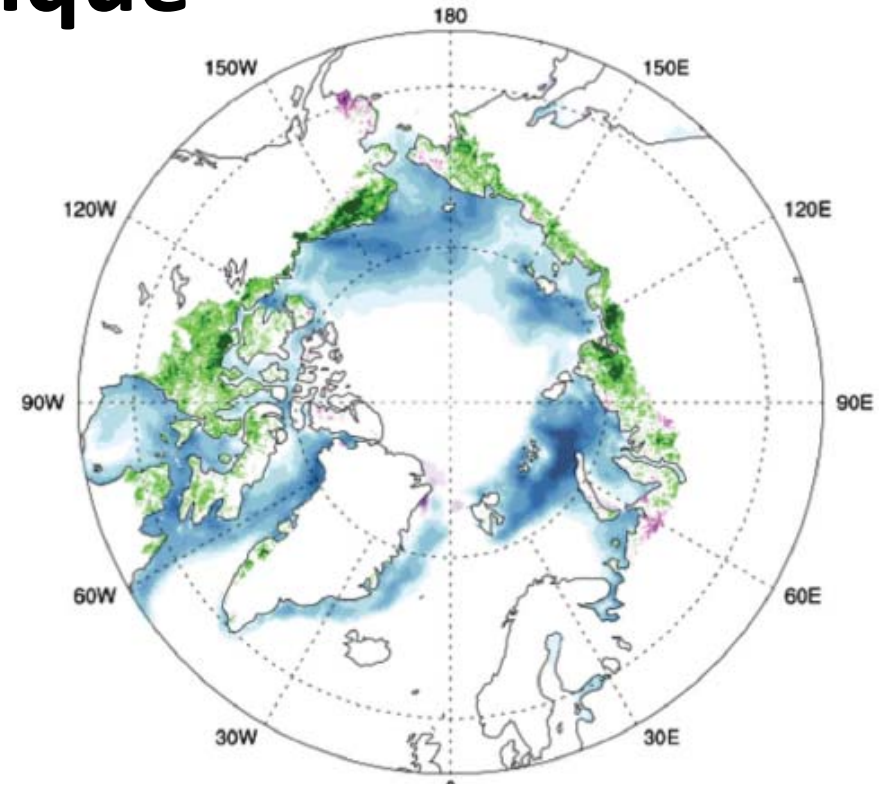


Repenser la notion de catastrophe « naturelle »!

Min et al, Nature, 2011

Glace de mer et végétation : Arctique





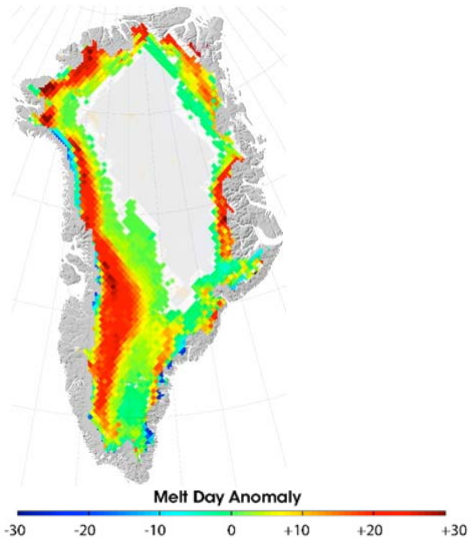
Eaux libres de glace (ampleur du changement, % entre 1982 et 2010)

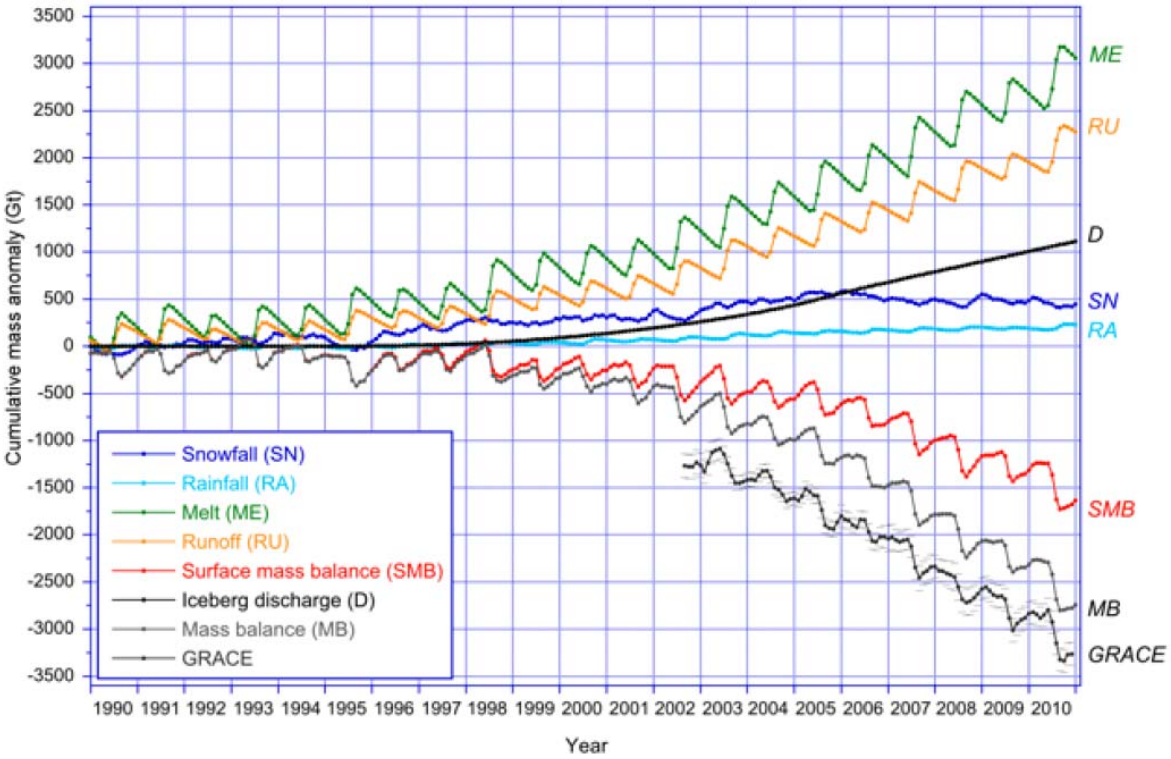
Indice de végétation (changement sans unité entre 1982 et 2010)

NSIDC; Masson-Delmotte et al, subm.

Volume des calottes : Groenland

Anomalie de durée de fonte 2011 – (1979-2007)

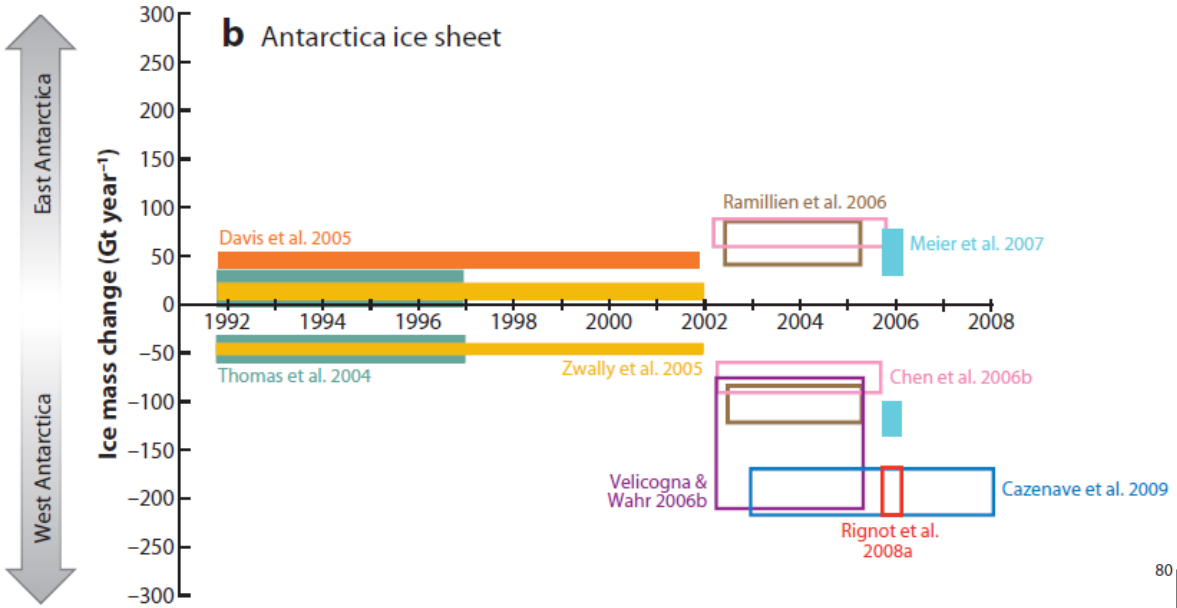




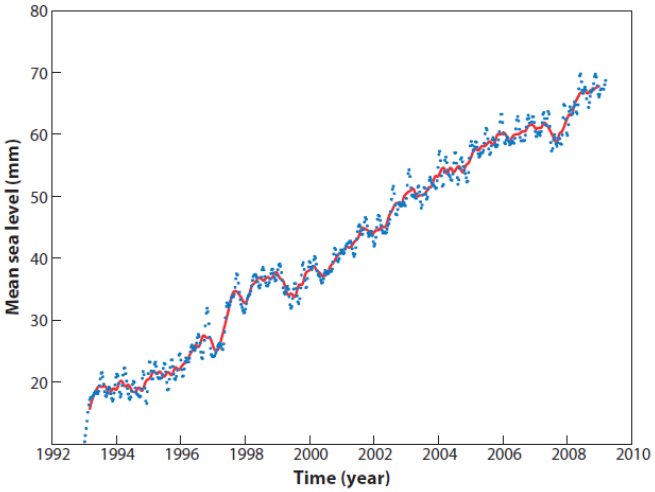
van den Broeke et al, 2009 updated

NSIDC

Volume des calottes : Antarctique



Niveau des mers
+ ~3.2 mm/an
dont ~ 0.6 mm/an Groenland
et ~0.6 mm/an Antarctique de l'Ouest



Cazenave and Llovel, 2010

Qu'est ce qui fait varier le climat? Approche empirique

des mécanismes de variabilité naturelle :

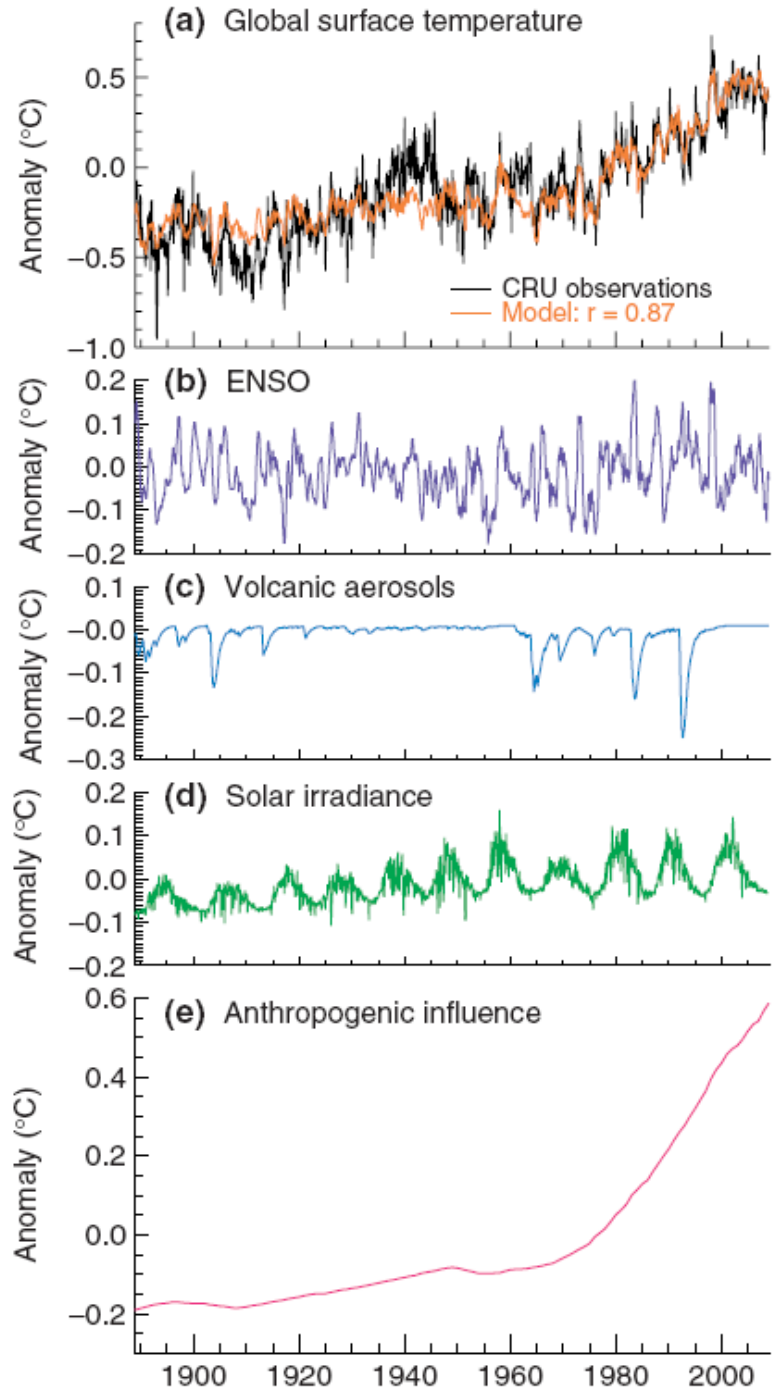
océan-atmosphère

activité volcanique

activité solaire

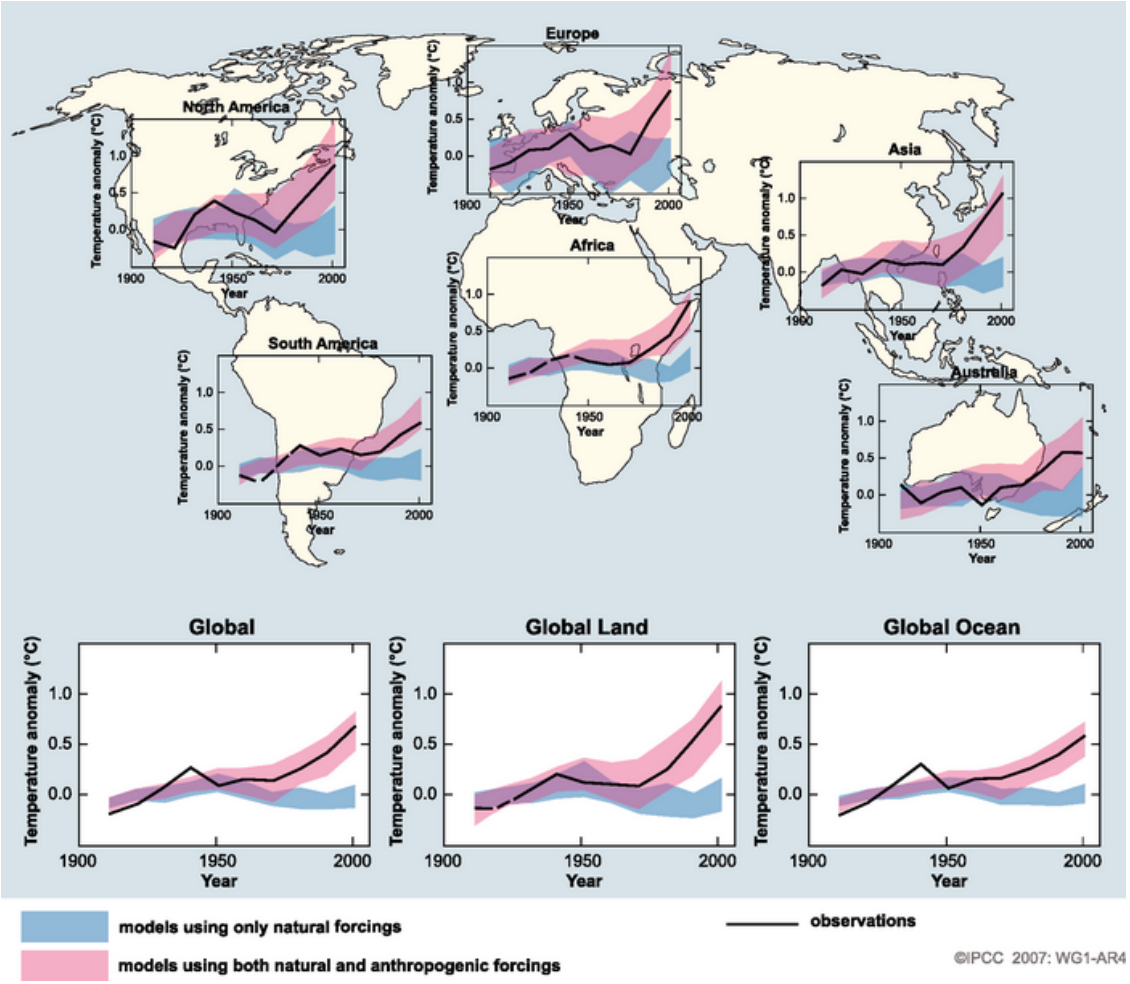
+

le poids devenu dominant des activités humaines



Lean 2010

Qu’est ce qui fait varier le climat?
Approche théorique (modélisation physique)

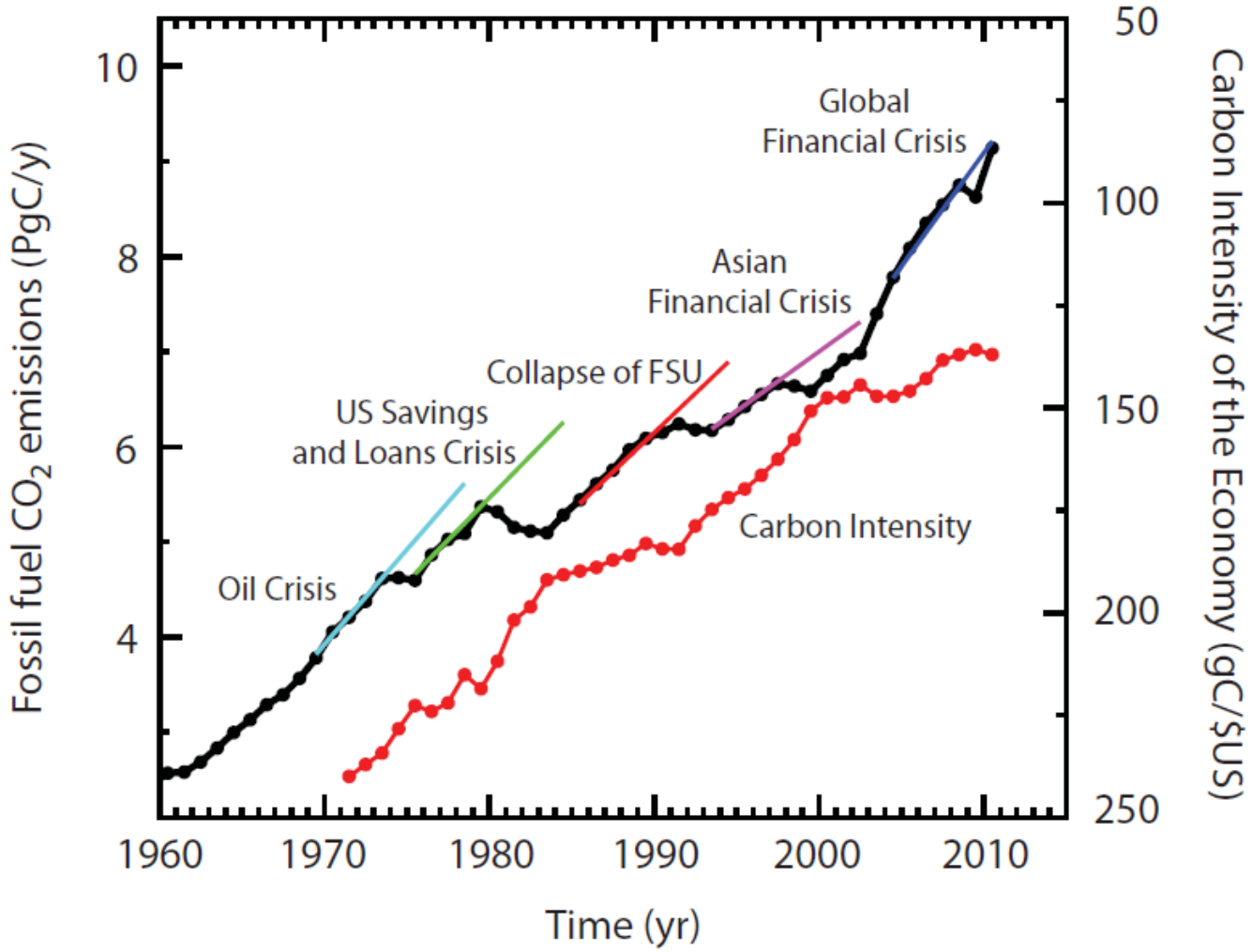


A retenir

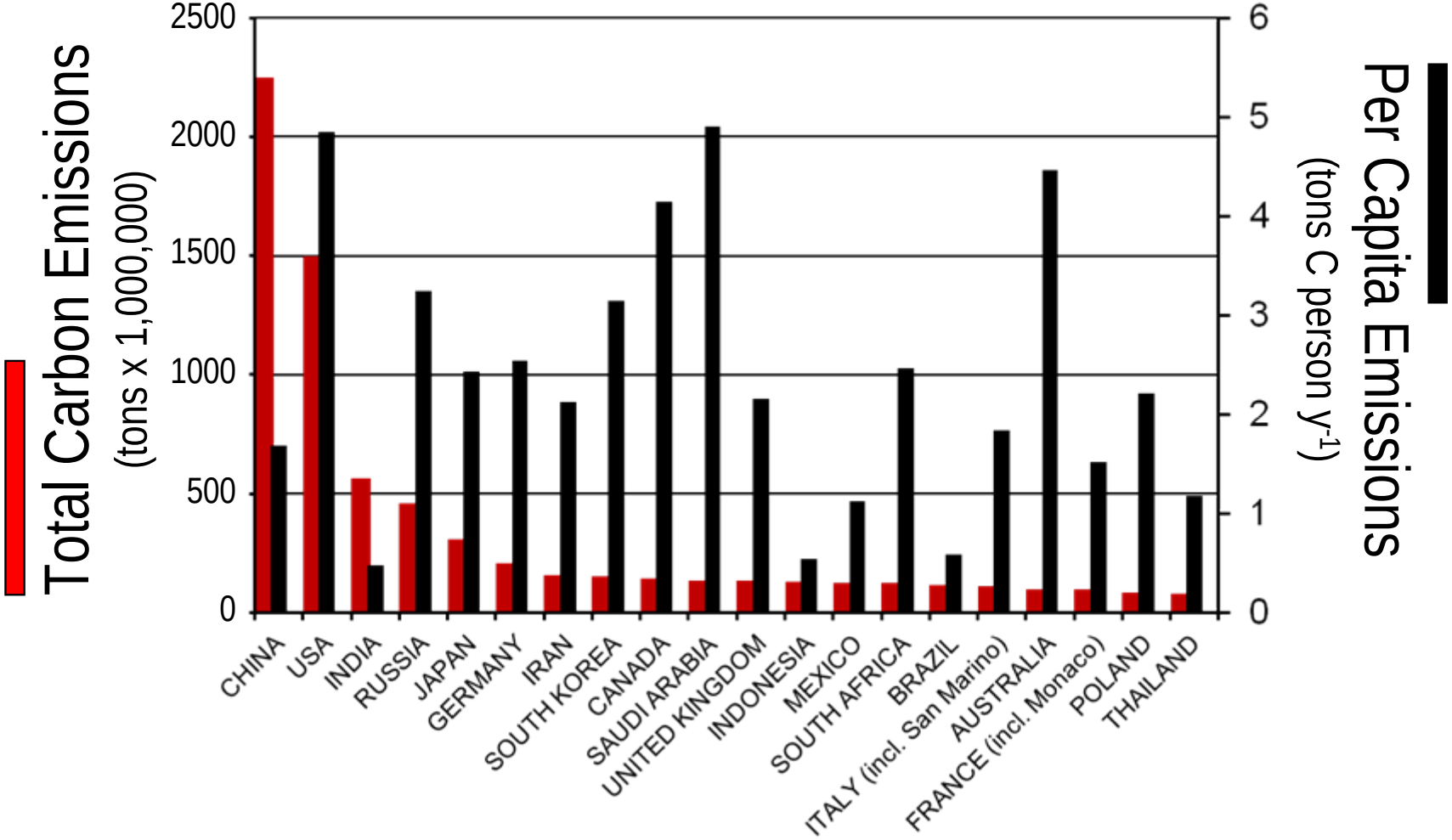
- Le changement climatique est une réalité incontestable
- Le réchauffement des derniers 40 ans ne peut s'expliquer que par la perturbation du bilan radiatif terrestre par les activités humaines
- Les facteurs naturels (activité solaire et volcanique) ont un rôle important mais ne peuvent pas expliquer le réchauffement en cours
- Verrous scientifiques : interactions aérosols –nuages – rayonnement, interactions entre facteurs naturels et anthropiques et variabilité océan-atmosphère
- Une nouvelle ère, l'Anthropocène

Quels risques climatiques futurs?

Emissions de CO_2

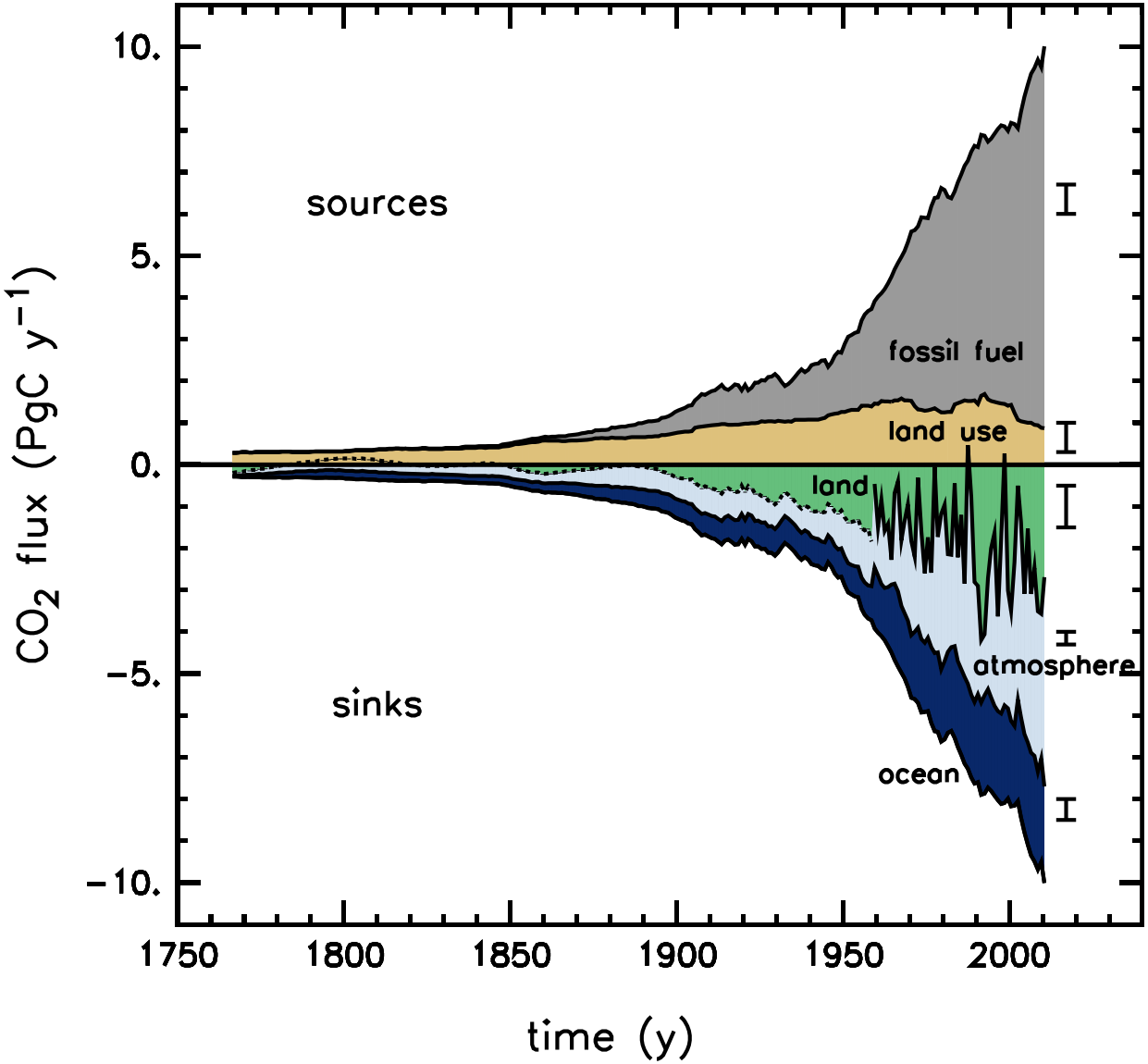


Top 20 des pays : émissions totales et par habitant



Global Carbon Project 2011; Data: Boden, Marland, Andres-CDIAC 2011; Population World Bank 2011

Perturbation du cycle du carbone



2000-2010

(PgC y^{-1})

7.9±0.5

1.0±0.7

2.5±1.0
(Residual)

4.1±0.2

2.3±0.5
(5 models)

Global Carbon Project 2011; Updated from Le Quéré et al. 2009, Nature G; Canadell et al. 2007, PNAS

Devenir des émissions anthropiques (2010)

9.1±0.5 PgC y^{-1}

+

0.9±0.7 PgC y^{-1}

5.0±0.2 PgC y^{-1}

50%

2.6±1.0 PgC y^{-1}

26%

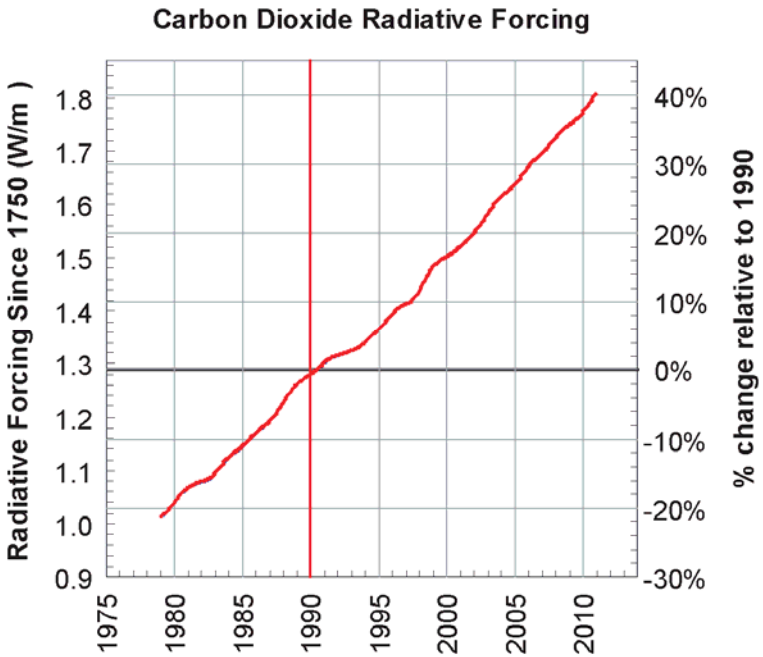
Calculated as the residual of all other flux components

24%

2.4±0.5 PgC y^{-1}

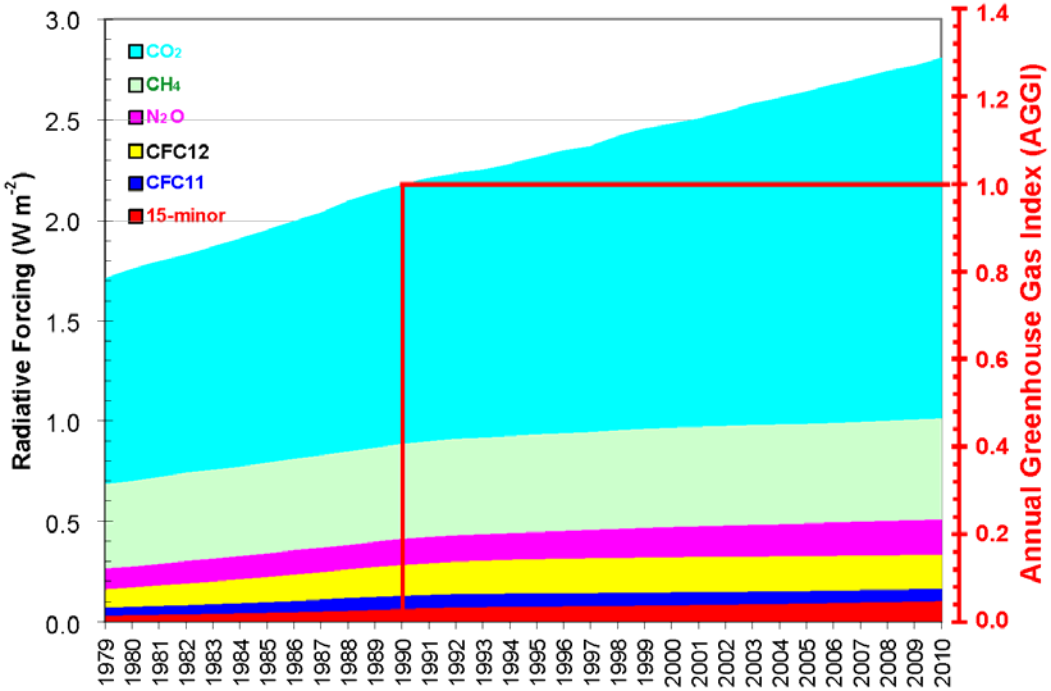
Average of 5 models

Global Carbon Project 2010; Updated from Le Quéré et al. 2009, Nature Geoscience; Canadell et al. 2007, PNAS



Enjeux des rejets de CO_2:

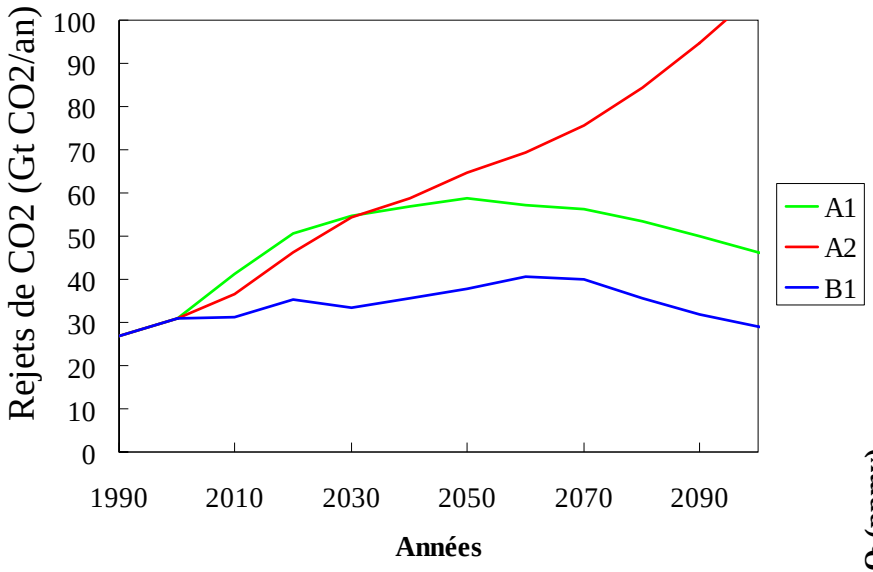
- Effet radiatif le plus important
- Très longue durée de vie (100-30 000 ans)
- Acidification des océans

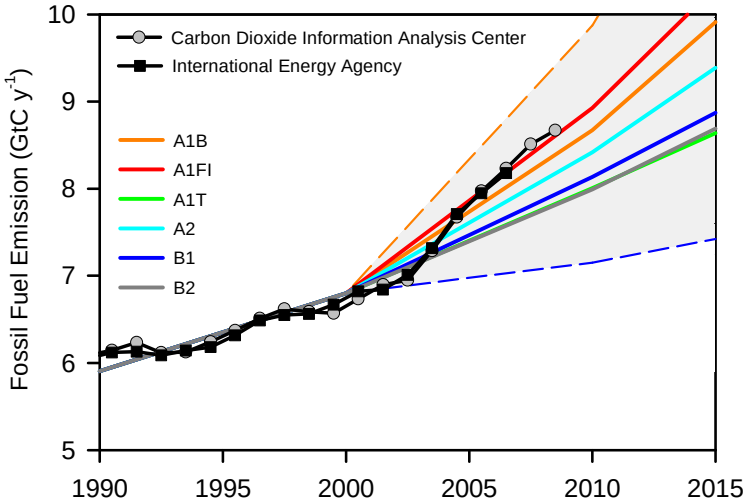


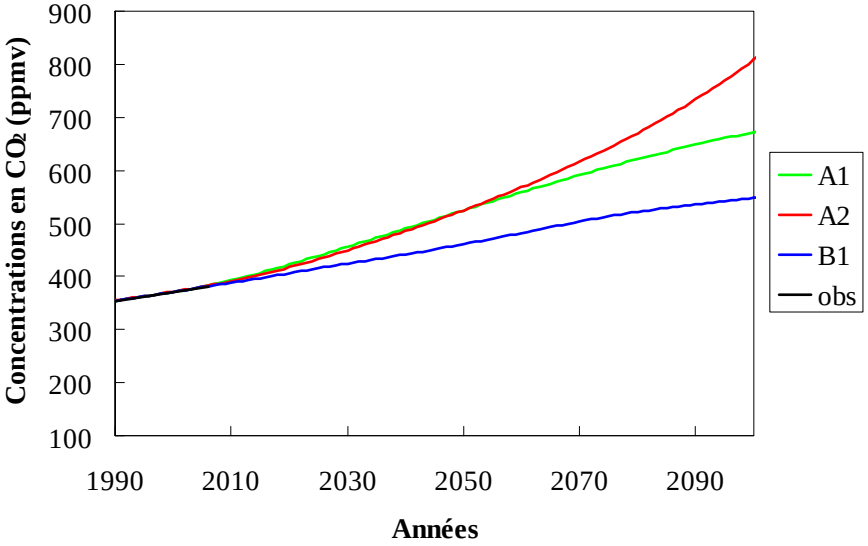
NOAA, 2012

INTEGER,INTENT(IN) :: pim,pjm
INTEGER,INTENT(IN):: par_orix, par_sz
INTEGER,INTENT(IN) :: pitau0
REAL,INTENT(IN) :: pdate0, pdeltat
INTEGER,INTENT(OUT) :: pfileid, phor
INCLUDE "netcdf.inc"
INTEGER :: ncid, iret
INTEGER :: leng, lengf, lenga
CHARACTER(LEN=120) :: file, tfil
CHARACTER*30 :: timenow

Projections climatiques : scénarios d'émissions

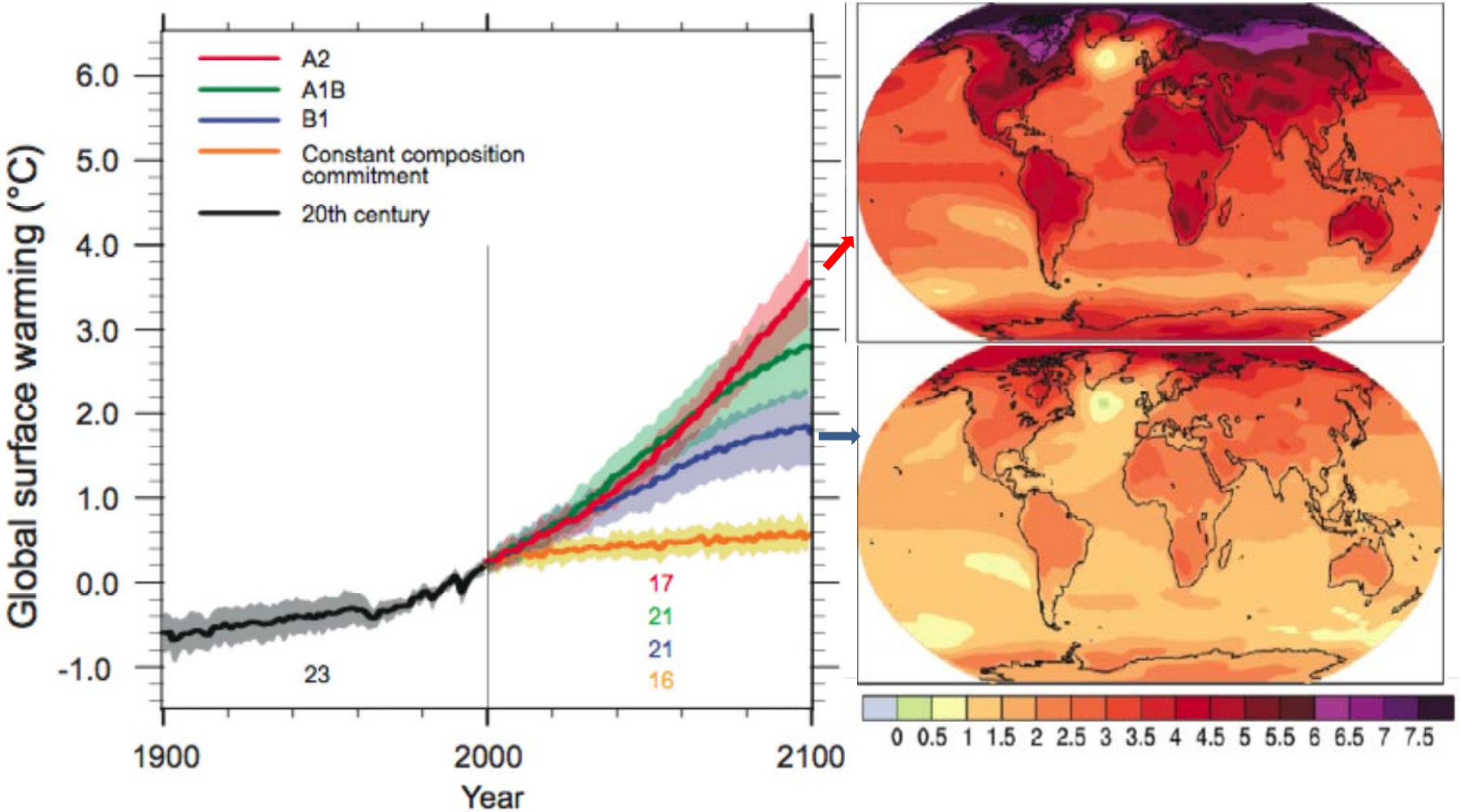






IPCC 2007 + Global Carbon Project 2009

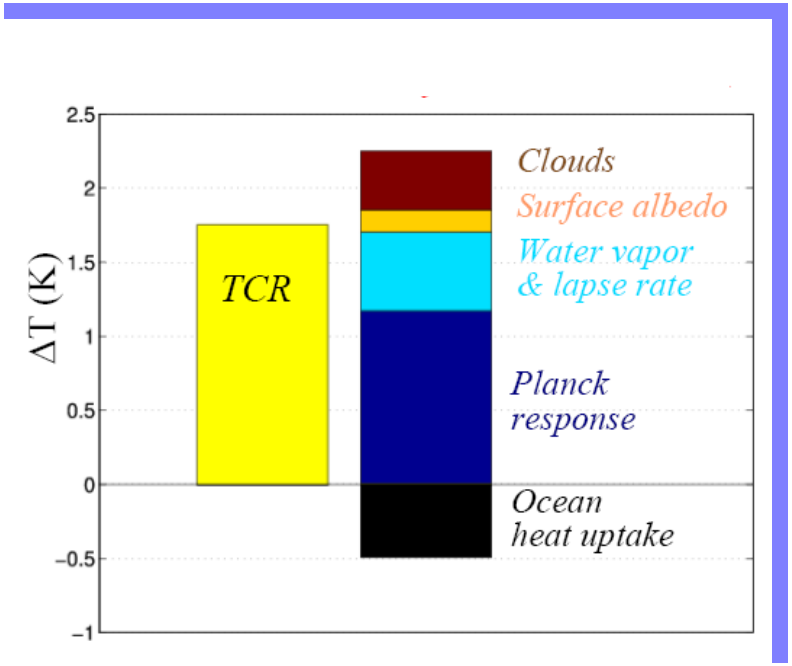
Projections



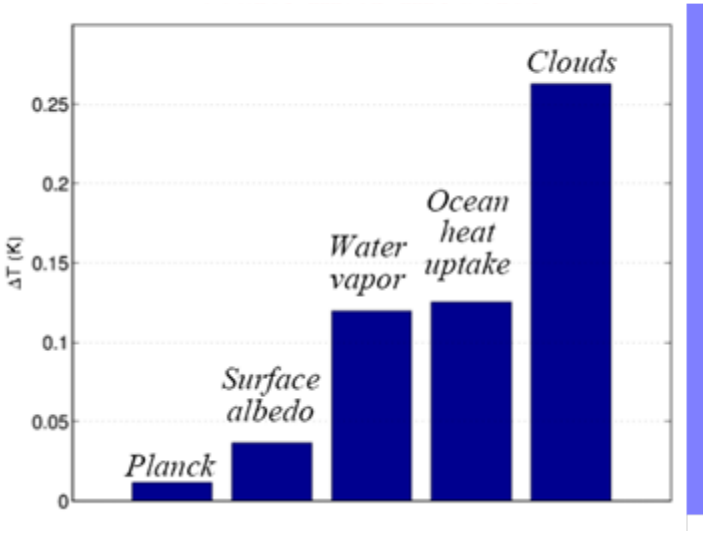
IPCC AR4 2007

D'où vient la dispersion entre modèles

Température moyenne de surface ($2xCO_2$)

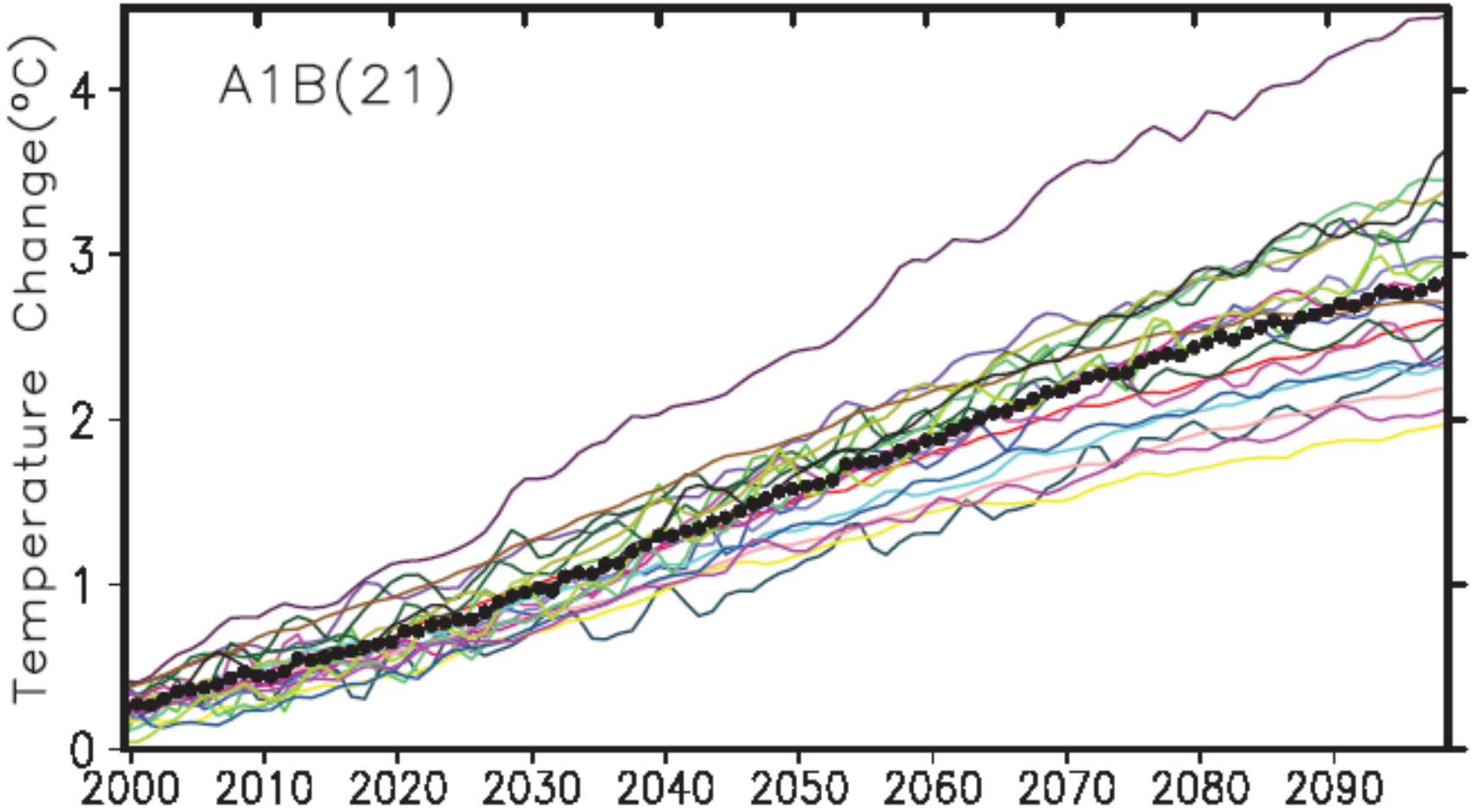


Dispersion entre modèles (°C)



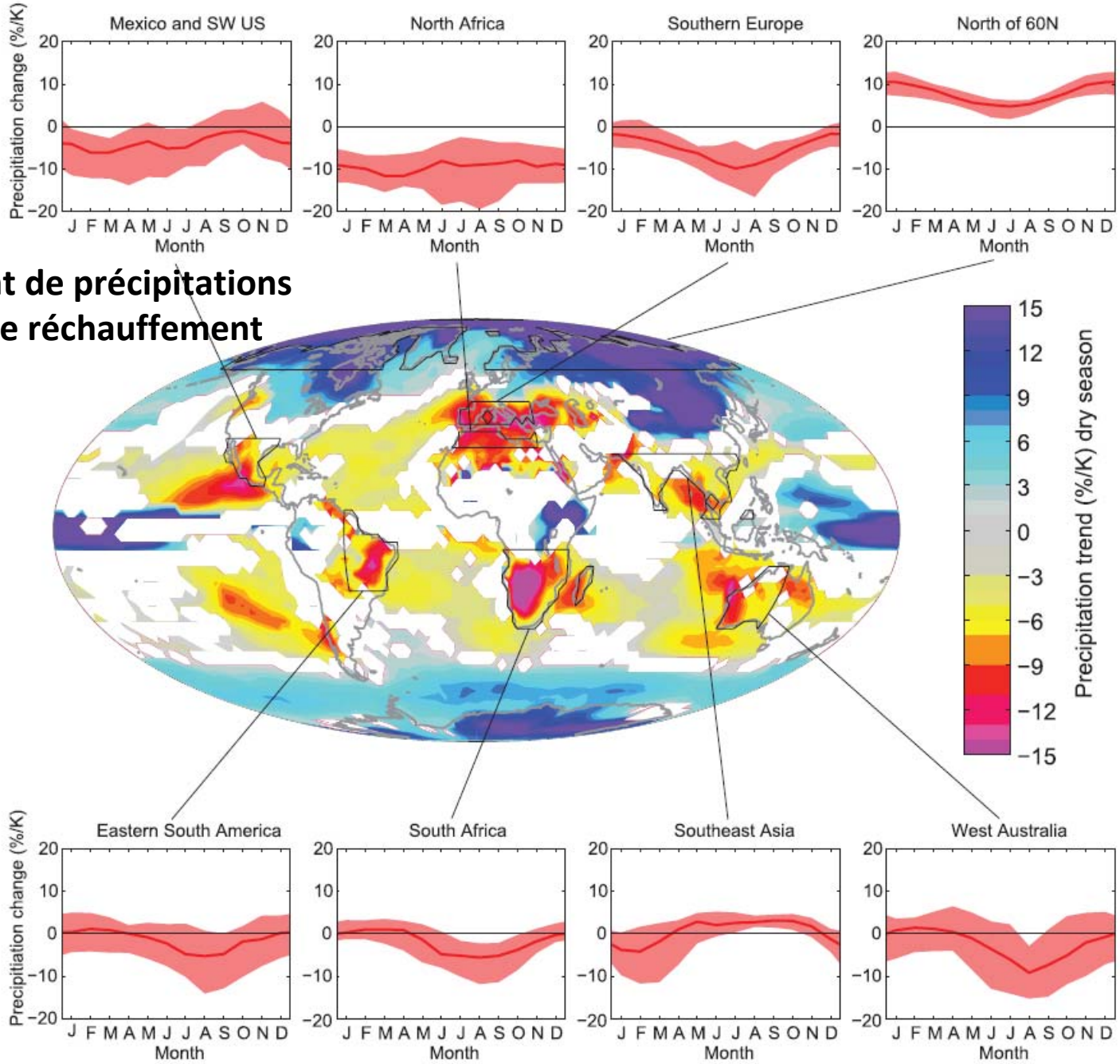
(Dufresne & Bony, 2007)

Ne pas attendre un changement régulier, linéaire (+ forçages naturels!)



IPCC AR4

Changement de précipitations (%) par °C de réchauffement

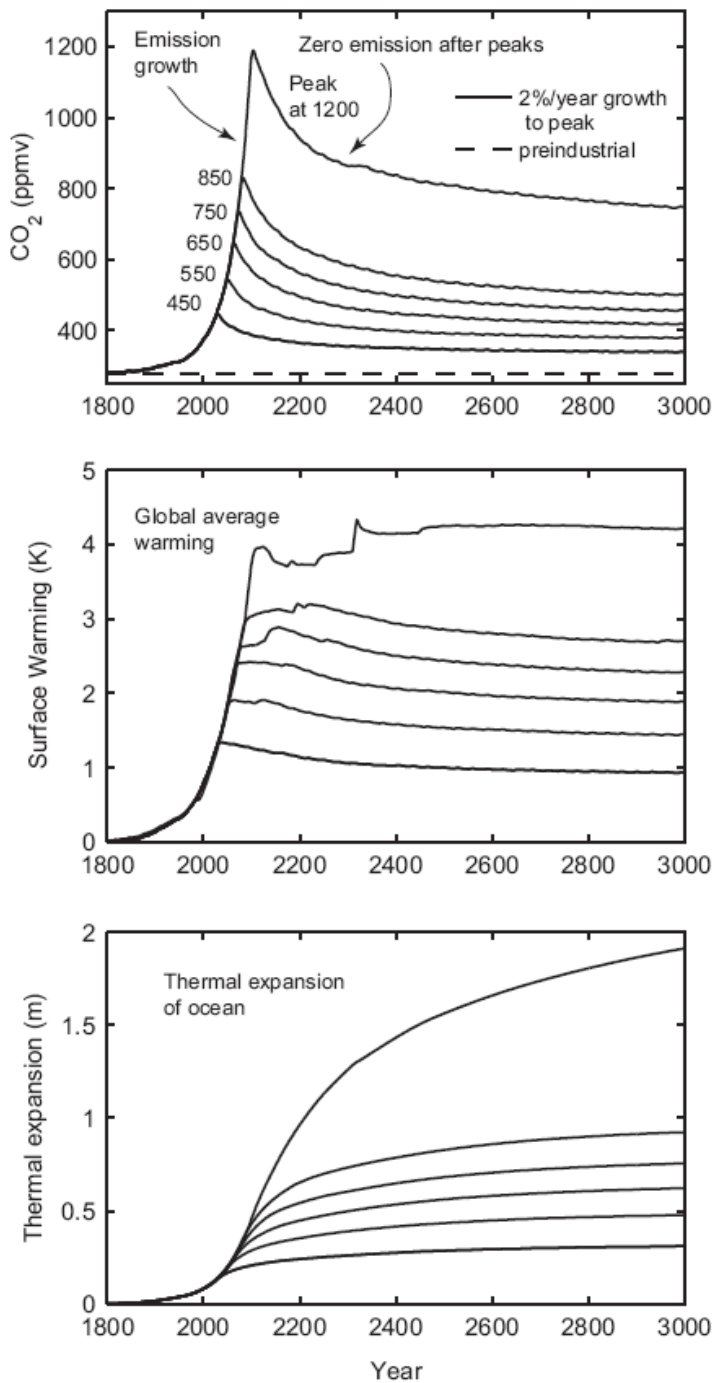


Source : Solomon et al 2009

Principales incertitudes

- Phénomènes locaux (ex: tempêtes)
- Interactions aérosols – nuages
- Variabilité (ex: El Niño / La Niña, Oscillation Arctique…)
- Rétroactions du cycle du carbone
- Niveau des mers : réponse des glaces de l'Antarctique et du Groenland

Pour les Pays-Bas, risque de montée plausible de niveau des mers:
Scénario « haut » de 0,5 à 1,15 m à horizon 2100, x3 à horizon 2200



Effets « irréversibles » à l'échelle de plusieurs siècles :

- composition de l'atmosphère et impacts radiatifs, acidification des océans

- réponse du climat y compris pour les perturbations du cycle de l'eau et le niveau des mers

Solomon et al PNAS 2009

Pourquoi étudier l'évolution passée du climat?

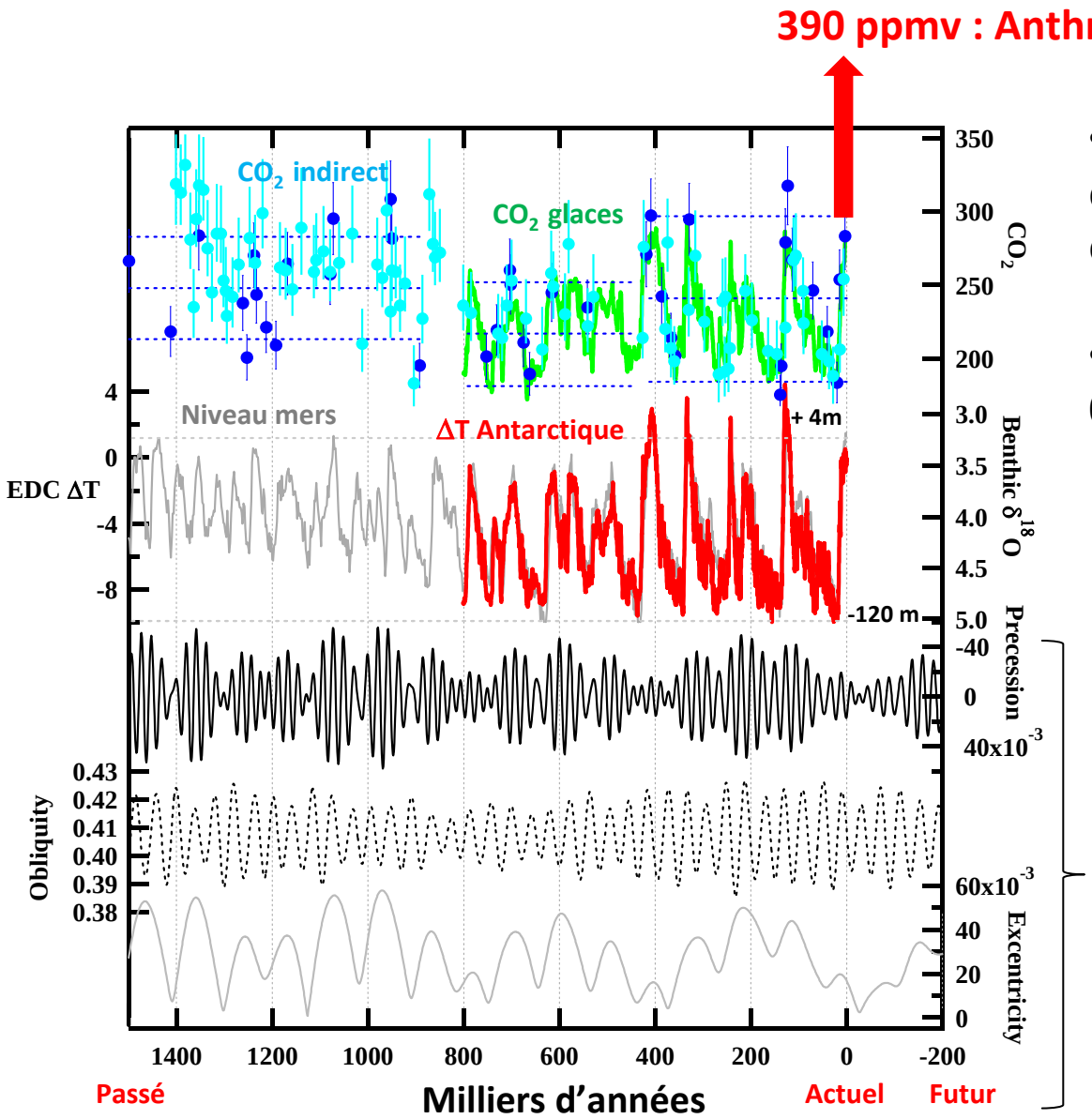
- Mettre les changements en cours dans la perspective de la variabilité naturelle

- Comprendre les rétroactions lentes :
  climat, océan profond, calottes de glace, cycle du carbone

- Accéder à des « expériences naturelles » sur le système climatique :
  réponse (linéaire) aux perturbations radiatives (sensibilité du climat)
  non linéarités

- Tester les modèles de climat par rapport à différents « bancs d'essai »

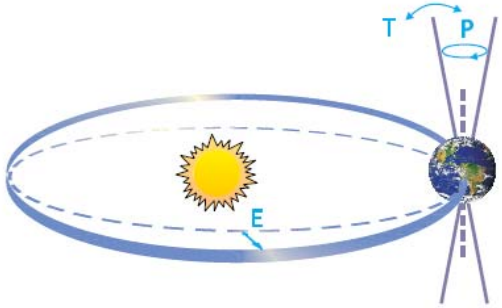
Les derniers cycles glaciaire-interglaciaire



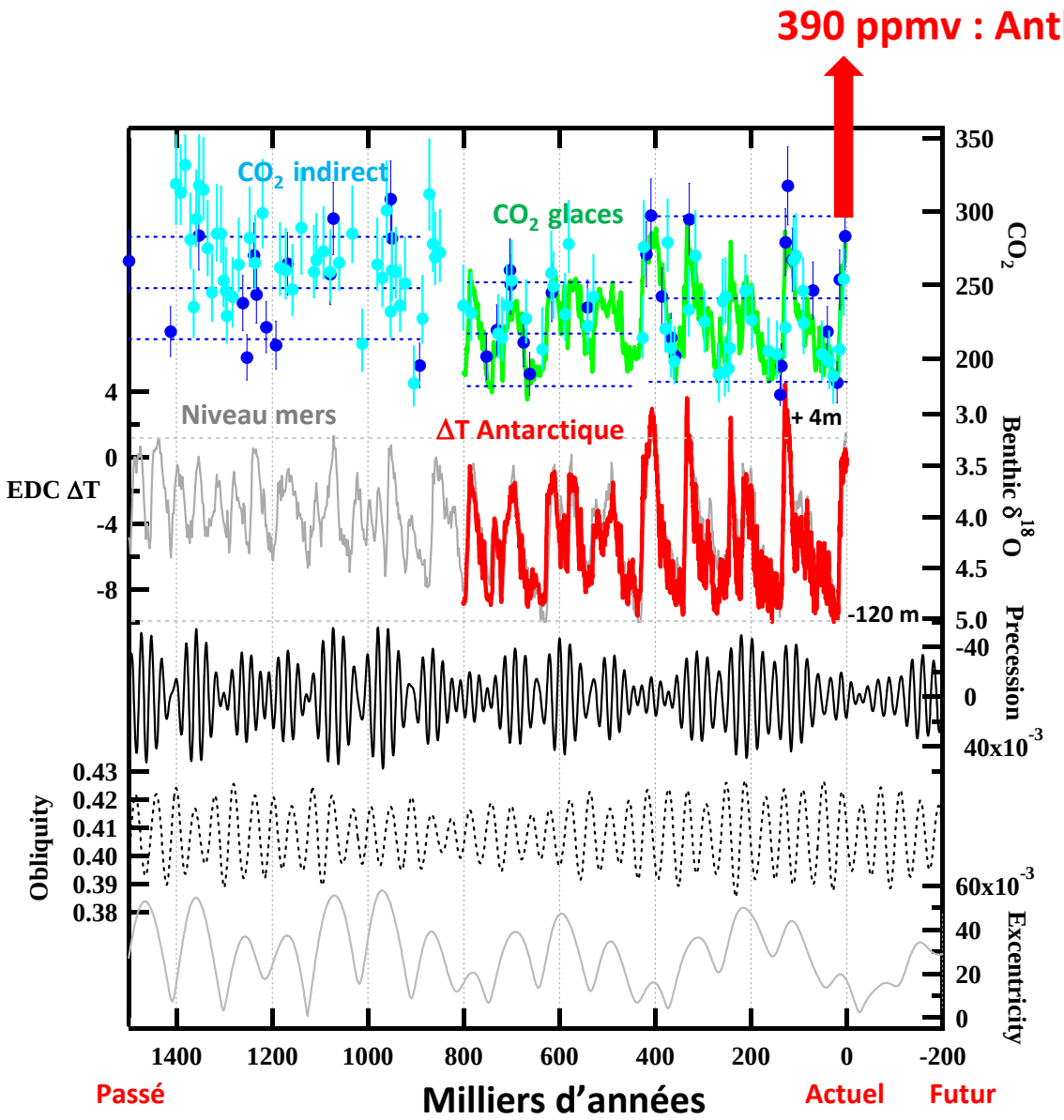
Jouzel & Masson-Delmotte, QSR, 2011

- Importance des couplages climat – calottes - cycle du carbone

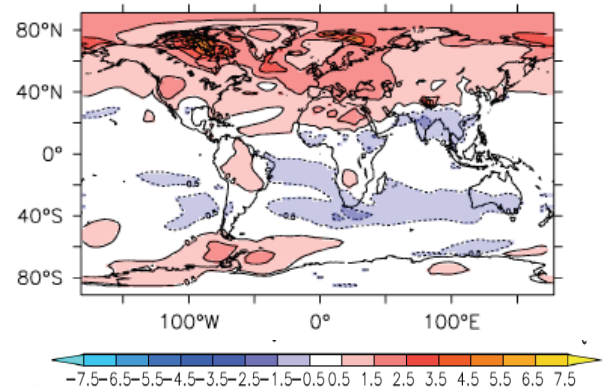
- Cohérent avec sensibilité de 0.75°C par W/m²



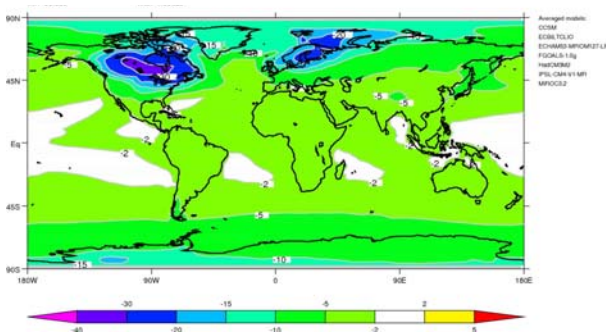
Les derniers cycles glaciaire-interglaciaire



126 ka

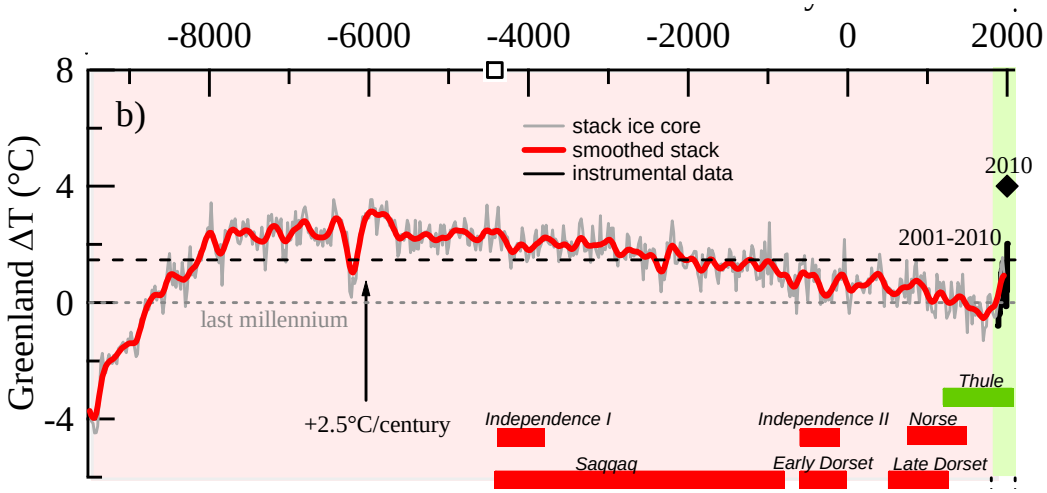


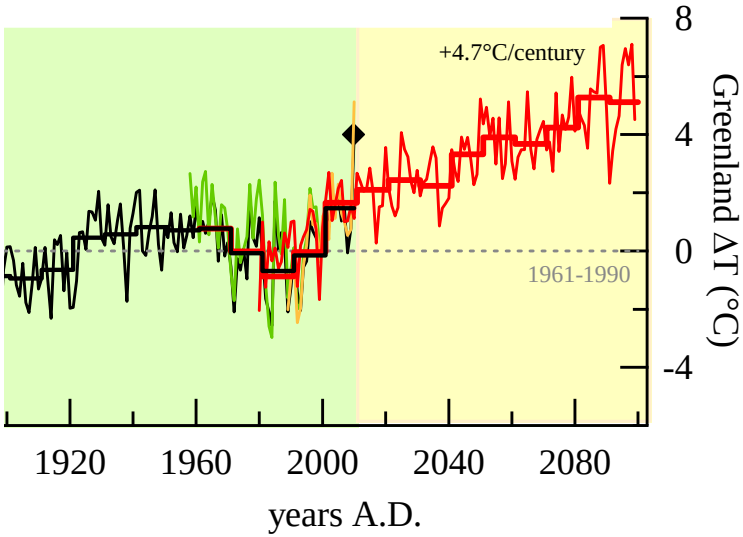
21 ka



Jouzel & Masson-Delmotte, QSR, 2011

Zoom sur le Groenland





- Réchauffement au 20ème siècle, brutal vers 1995
- Dernière décennie exceptionnellement chaude
- Rupture par rapport à la tendance depuis 8 000 ans
- Projections climatiques : +5°C au 21ème siècle?
  - abrupt,
  - niveaux comparables dernier interglaciaire

Vinther et al, Nature, 2009; Masson-Delmotte et al, su

Du constat scientifique aux enjeux politiques

Développement durable

Assurer le bien-être des hommes d'aujourd'hui,
sans compromettre celui des hommes de demain

Convention cadre des Nations Unies sur le changement climatique

Stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui éviterait une interférence anthropique dangereuse avec le système climatique

De formidables défis

- **Défis scientifiques**
  - comprendre comment fonctionne le climat
  - anticiper les risques climatiques et leurs impacts :

prédictabilité à l'échelle de la décennie - couplages avec cycle du carbone, avec cryosphère-écosystèmes et activités humaines – trajectoires à long terme

- **Défis politiques**
  - adaptation
  - atténuation (« mitigation »)

- **Responsabilité morale**
  - entre pays, entre générations

- **Crispations**
  - alarmisme / déni
  - opportunités / vulnérabilités
  - juste répartition des coûts
  - pas de solution simple mais un ensemble de stratégies