

# Modèles de climat

- design des modèles, différences avec modèles météo
- types de simulations, le GIEC
- services climatiques

# Modèles de climat

**Modèles météorologiques:** représenter le système tel qu'il est. Echelles fines, courtes durées (1h-1mois)

**Modèles de climat:** reproduire le comportement moyen du système, sa variabilité (ex: fréquence d'évènements extrêmes), son évolution dans la durée (10ans-100ans)

- Modèles de climat, de "système Terre"
- Applications, Scénarios du GIEC
- Services climatiques, modélisation 'sans couture'

# Modèles de climat

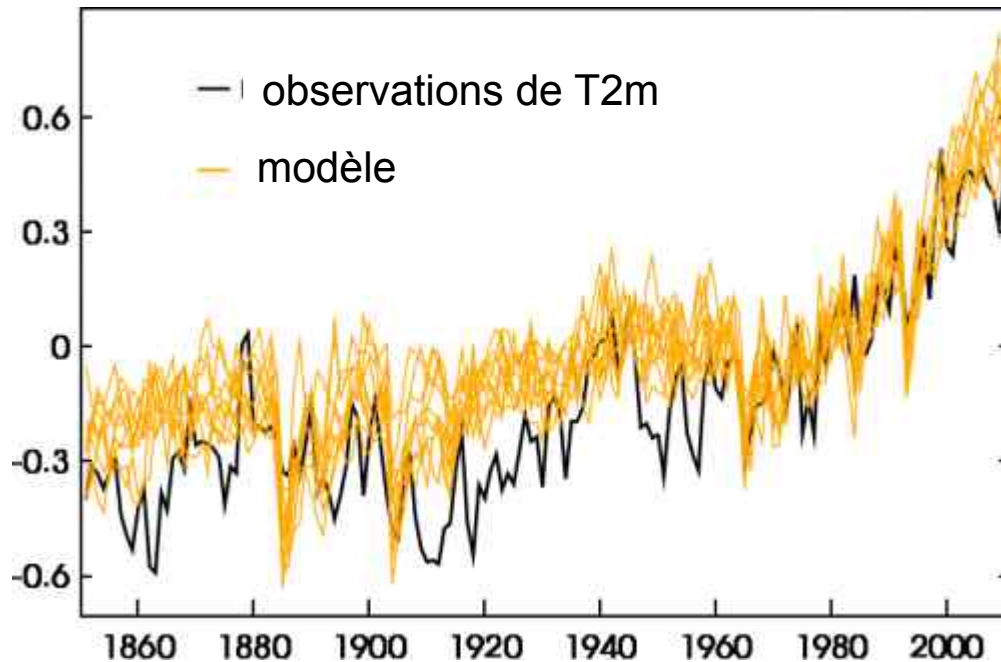
différences avec modèles météo:

- durées de simulation plus longues (1-1000ans)
- résolution plus faible:
  - ~100km global (GCM: general circulation model)
  - ~20km régional (RCM: regional climate model)
- importance des variables à évolution lente:
  - température/humidité du sol profond, végétation
  - dynamique des océans, banquise
  - GES gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, O<sub>3</sub>) et aérosols (sulfates)
- forçages externes:
  - scénarios d'émissions humaines
  - activité solaire
  - volcans

# Une simulation climatique

avec le GCM Arpege-climat:

écarts à la T moyenne sur le globe  
1850-2010



- les variations au jour le jour sont imprévisibles
- les variations lentes le sont

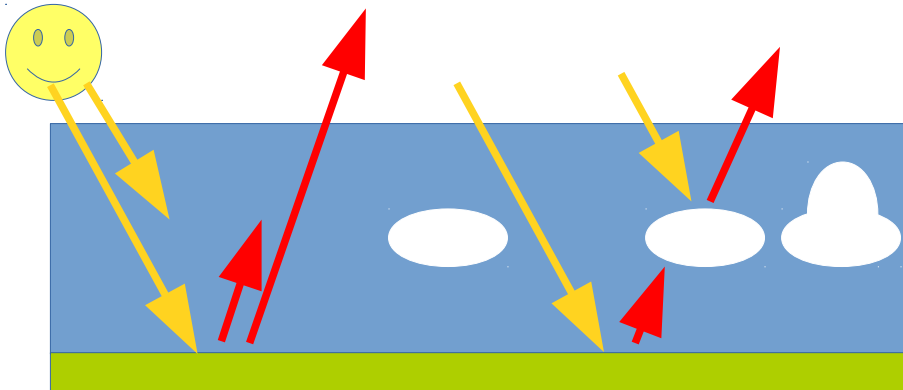
'climat' = statistiques sur ~30ans:

- moyennes
- tendances
- extrêmes
- cycles: diurne et saisonnier
- oscillations: ENSO, NAO...

# Comprendre l'effet de serre

2 effets du rayonnement sur le climat: (schématiquement)

- réchauffement par effet de serre:
  - le soleil rayonne dans l'électromagnétique visible
  - la Terre rayonne vers l'espace surtout dans l'IR
  - l'énergie est interceptée par les sols, le nuages, les GES  
(Gaz à Effet de Serre: H<sub>2</sub>O CO<sub>2</sub> CH<sub>4</sub>...)
- refroidissement par aérosols:
  - interception du rayonnement solaire
  - réchauffement local, refroidissement en-dessous
  - surtout vrai des aérosols sulfatés (ex: volcans)



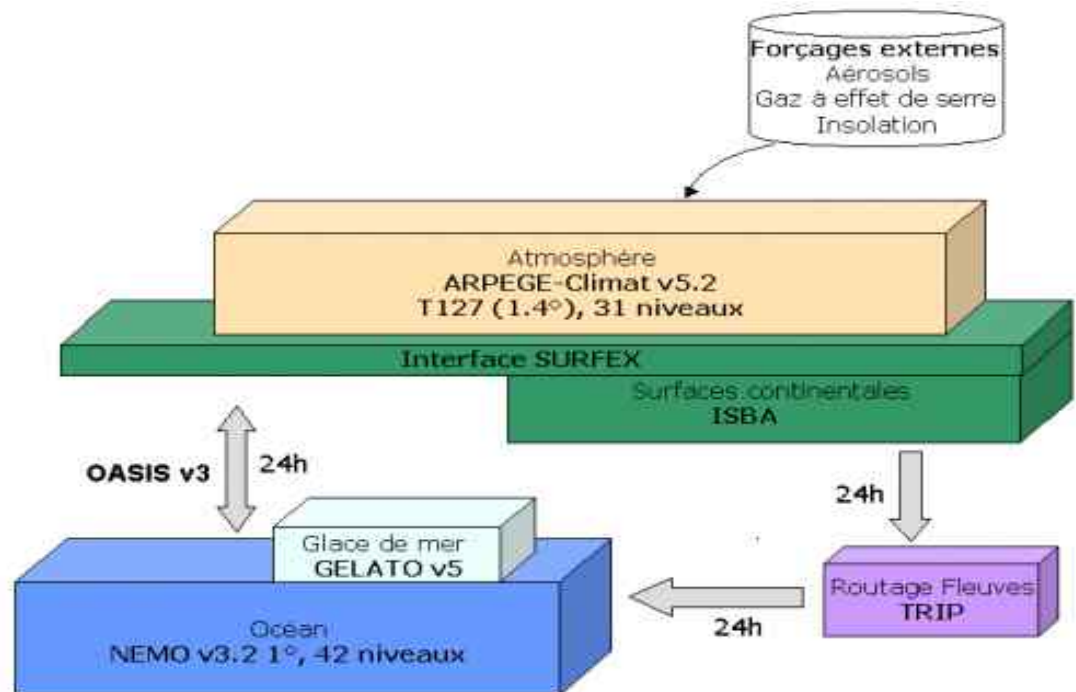
# Modèles de climat: couplages interactifs

Aux échelles climatiques, les **rétroactions** deviennent importantes: on ne peut plus séparer les échelles de temps des systèmes

- **atmosphère** météorologique
- **océan** couplé 3D avec banquise interactive, hydrologie
- flux sur **sol/végétation**, avec végétation évolutive
- **chimie/aérosols**

*Compromis entre sophistication de l'ensemble, et maîtrise de sa qualité*

ex: modèle de 'système Terre'  
de Météo-France



# Modèles de climat: validations

*Comment se convaincre qu'un climat simulé sera notre climat futur ?*

Tests nécessaires: comparaison avec obs, et entre modèles

- reproduire le climat actuel
- être stable sur plusieurs siècles (diagnostics de dérives)
- reproduire les évolutions récentes
- runs paléoclimatiques (glaciations quaternaires, gaz connus par les carottes glaciaires)

Expériences typiques:

- simuler un autre climat stable (ex: doublement CO<sub>2</sub>)
- simuler une évolution prescrite. ex. de scénarios:
  - croissance maîtrisée ou non des GES
  - croissance, puis décroissance
  - géoingénierie

*La dispersion entre modèles est supposée renseigner sur les incertitudes des simulations*



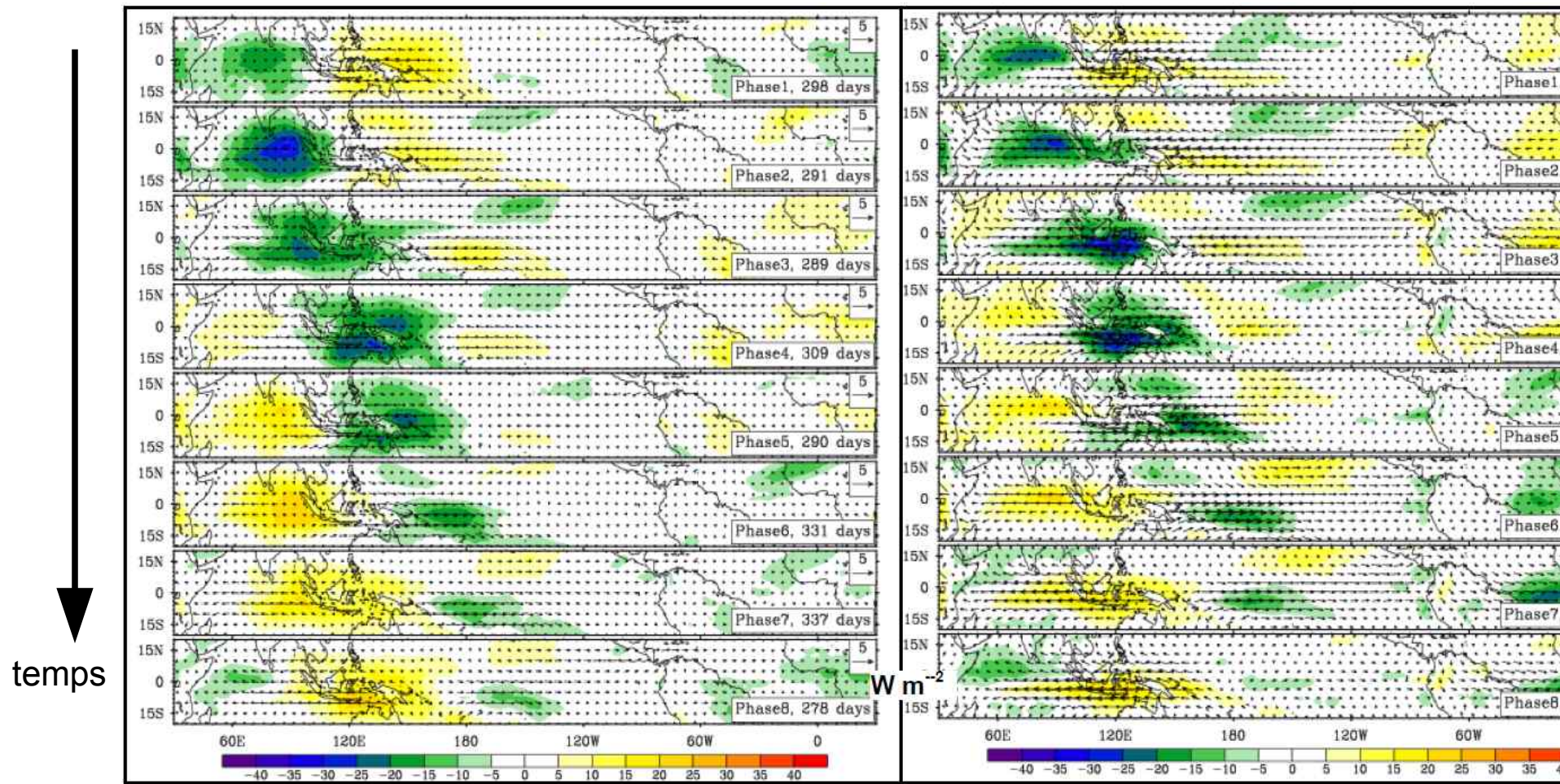
# Validation des modèles de climat

Evaluation du mode principal de variabilité de météo sous les tropiques  
(oscillation de Madden-Julian, cycle de 30 à 40 jours)

Variations de flux IR au sommet de l'atmosphère

– observation

simulation



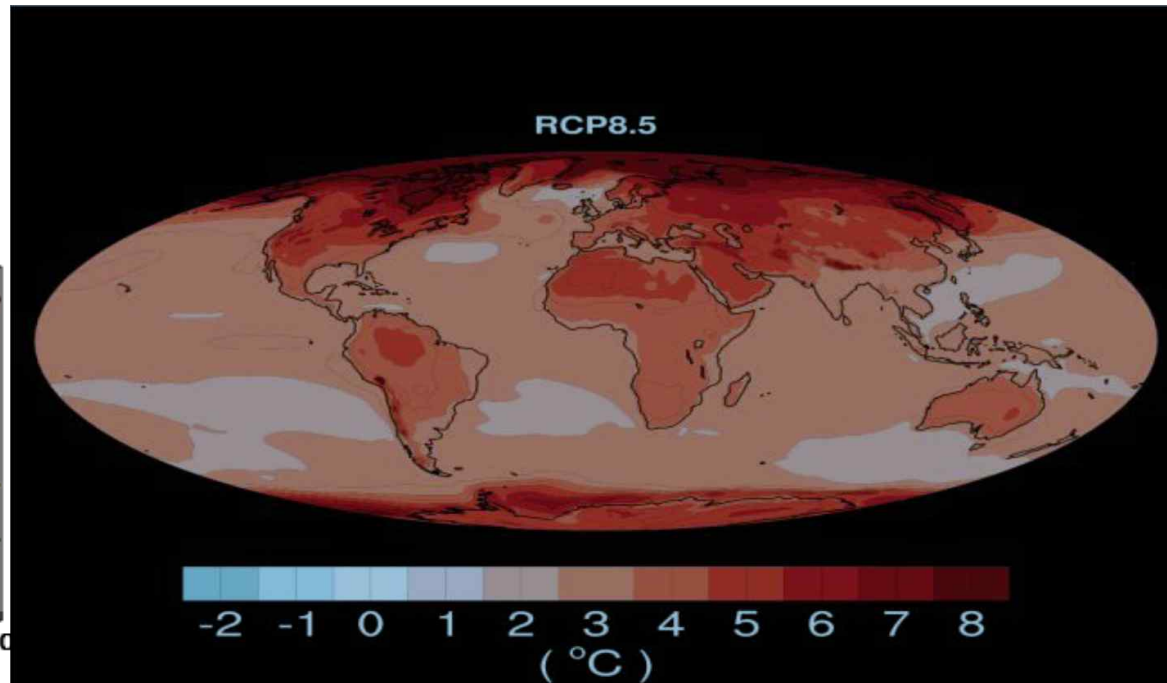
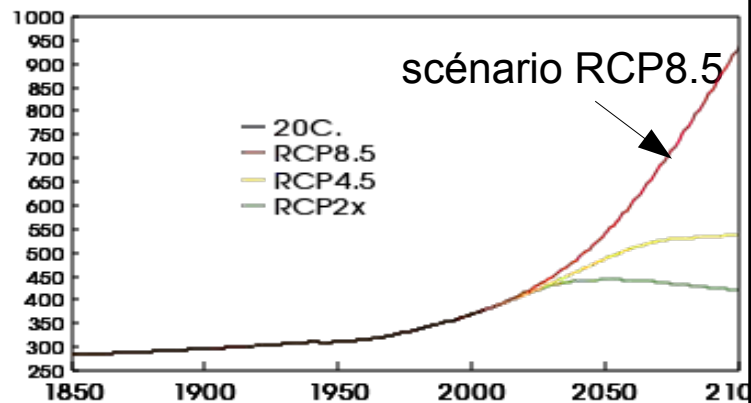


# Le GIEC

Peut-on prévoir le futur changement climatique ? En comparant différents scénarios socio-économiques:

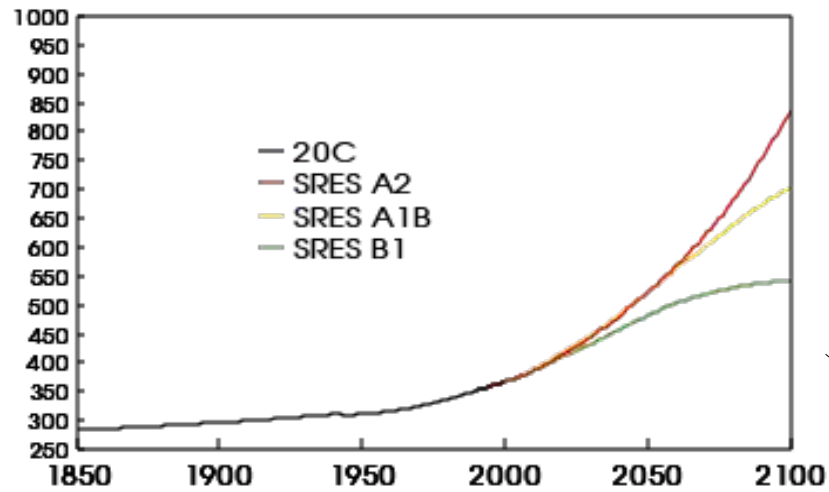
- coordonné par le Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change)
- CMIP: des ensembles de simulations "indépendantes" mises à jour régulièrement
- CMIP-5: 60 modèles de climat par 20 laboratoires mondiaux
- simulations du passé, passé récent et futur (2006-2300)

réchauffement  
simulé  
 $T(2090) - T(1990)$

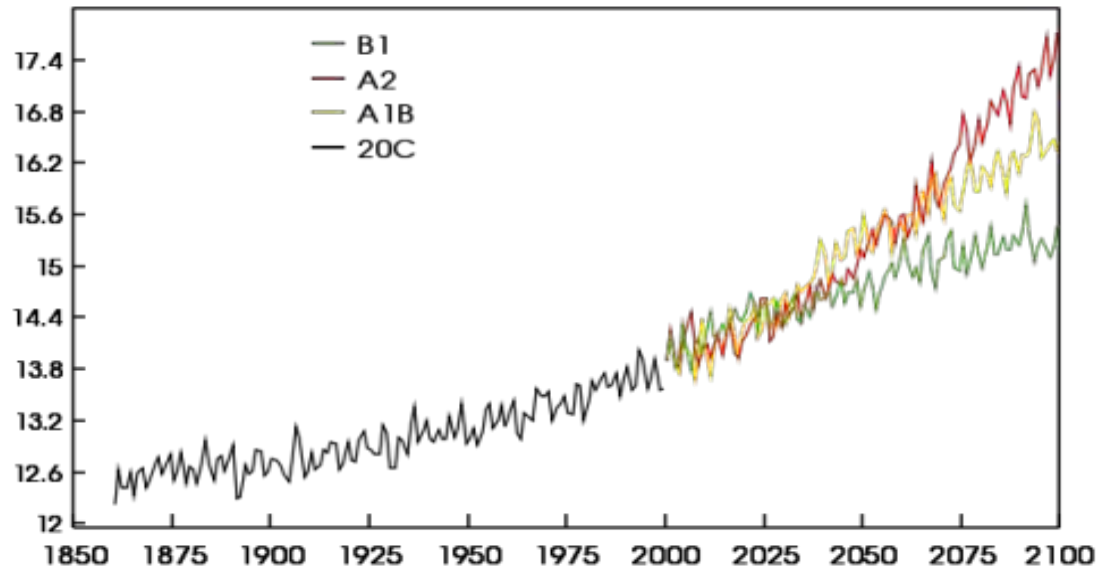


# Scénarios du GIEC

CO2 prescrit



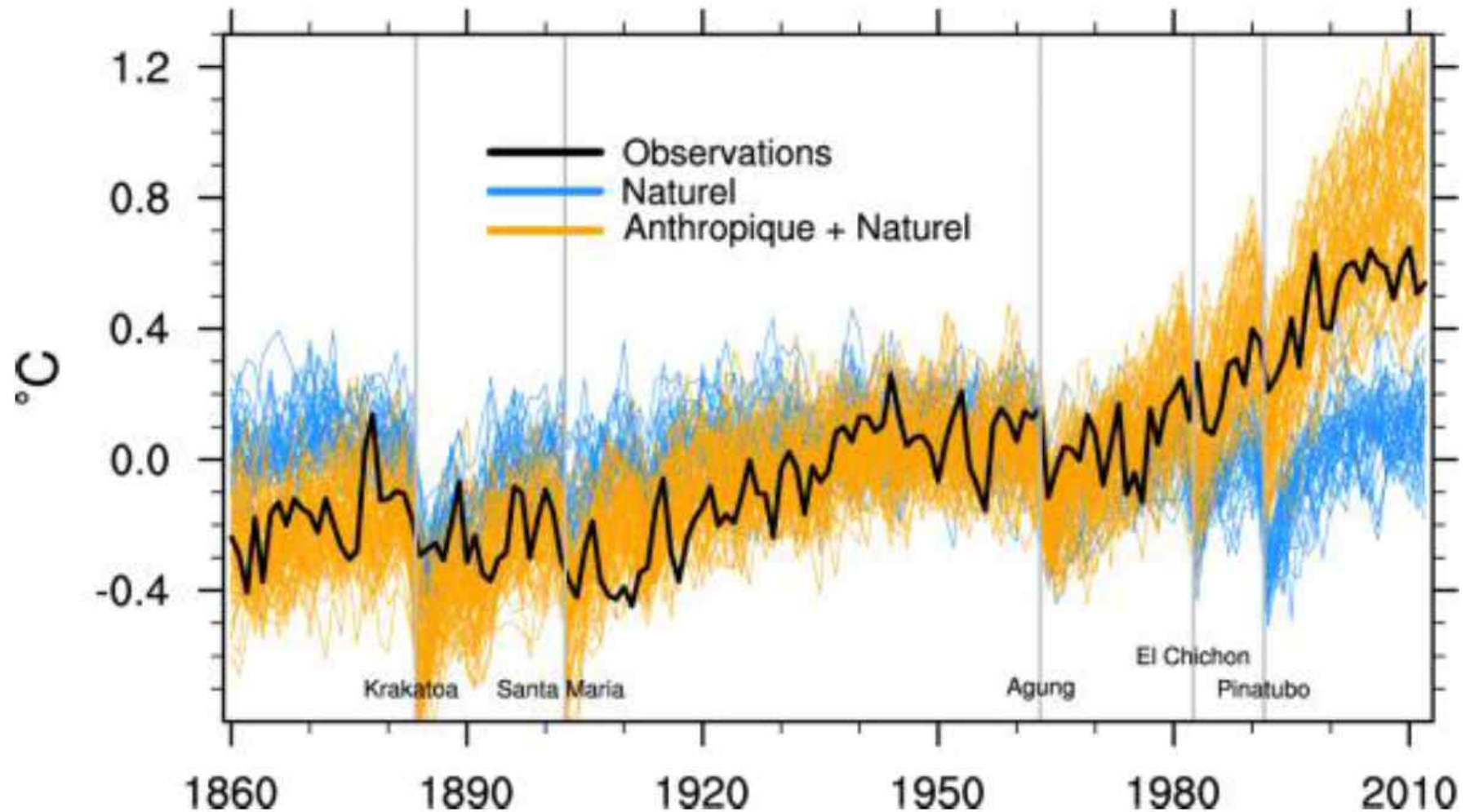
réchauffement simulé



# Attribution du changement climatique

But: détecter les causes des changements observés

on regarde l'impact de différents facteurs dans mes modèles



# Modèles de climat: quelques problèmes

Erreurs systématiques atmosphériques par rapport au climat actuel:

- convection tropicale pas au bon endroit
- jet extratropicaux plus ou moins intenses
- précipitations: trop sec ou trop humide selon les régions
- signe de la rétroaction entre effet de serre et couverture nuageuse

Incertitudes avec les couplages:

- stockage de la chaleur et du CO<sub>2</sub> par les océans

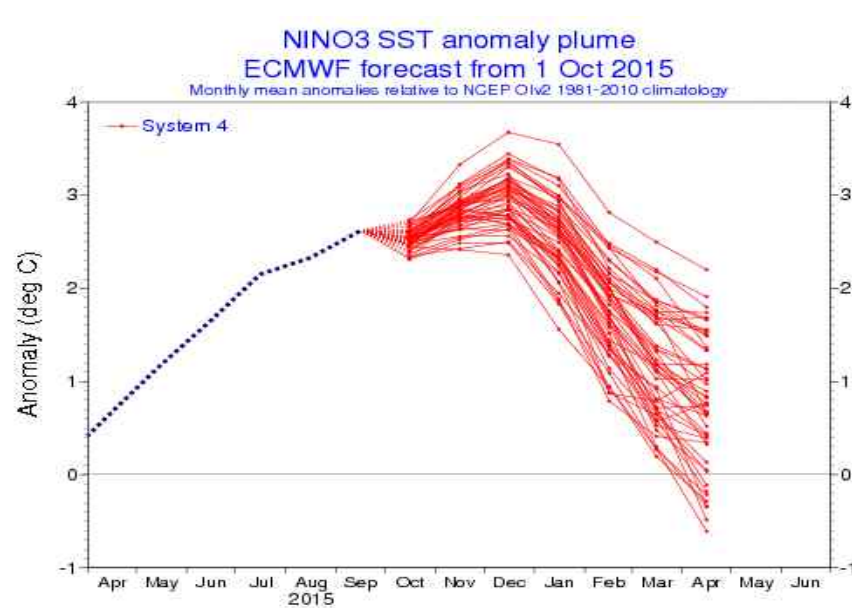
Précision des prédictions:

- impact locaux: peut-on régionaliser les scénarios ?
- changement des fréquences et/ou intensité des événements: neige, vagues de chaleur, sécheresses, inondations...

*Recherches aussi sur les adaptations statistiques, les impacts hydrologiques, biologiques, sociétaux...*

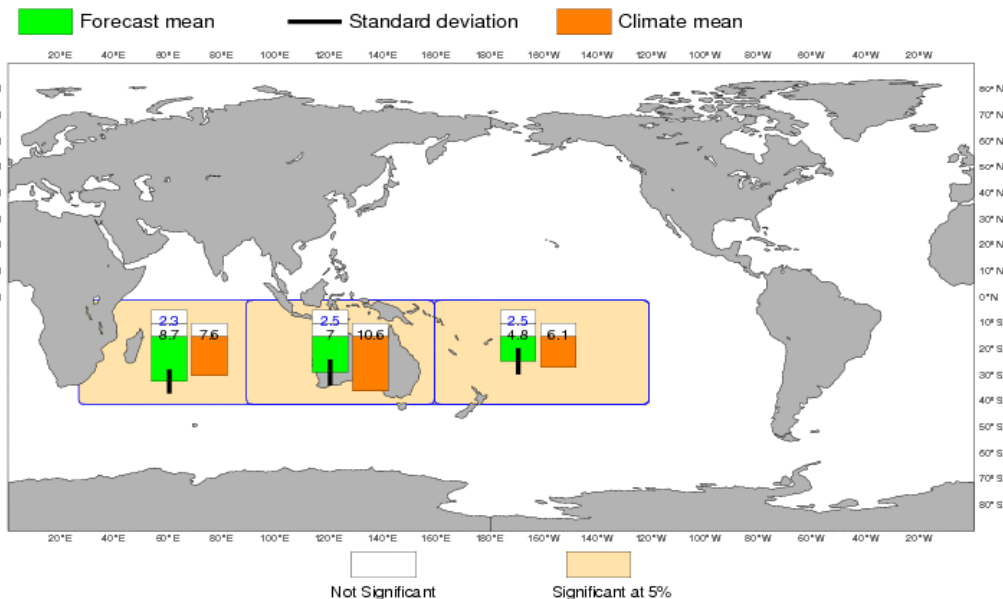
# La prévision saisonnière

- activité intermédiaire entre météo et climat
- Echéance ~9 mois, remise à jour ~mensuelle
- modèle couplé atmosphère-océan
- prévision d'ensemble (incertitude sur états initiaux, modèles)
- produits: probabilités d'anomalies



ECMWF Seasonal Forecast  
Tropical Storm Frequency  
Forecast start reference is 01/10/2015  
Ensemble size = 51, climate size = 300

System 4  
NDJFMA 2015/16  
Climate (initial dates) = 1990-2009





# Prévision mensuelle

échéance ~1 mois, remise à jour ~hebdomadaire

ECMWF EPS-Monthly Forecasting System

2-meter Temperature anomaly

Forecast start reference is 12-10-2015  
ensemble size = 51 , climate size = 680

Day 1-7

12-10-2015/TO/18-10-2015

Shaded areas significant at 10% level  
Contours at 1% level

ECMWF EPS-Monthly Forecasting System

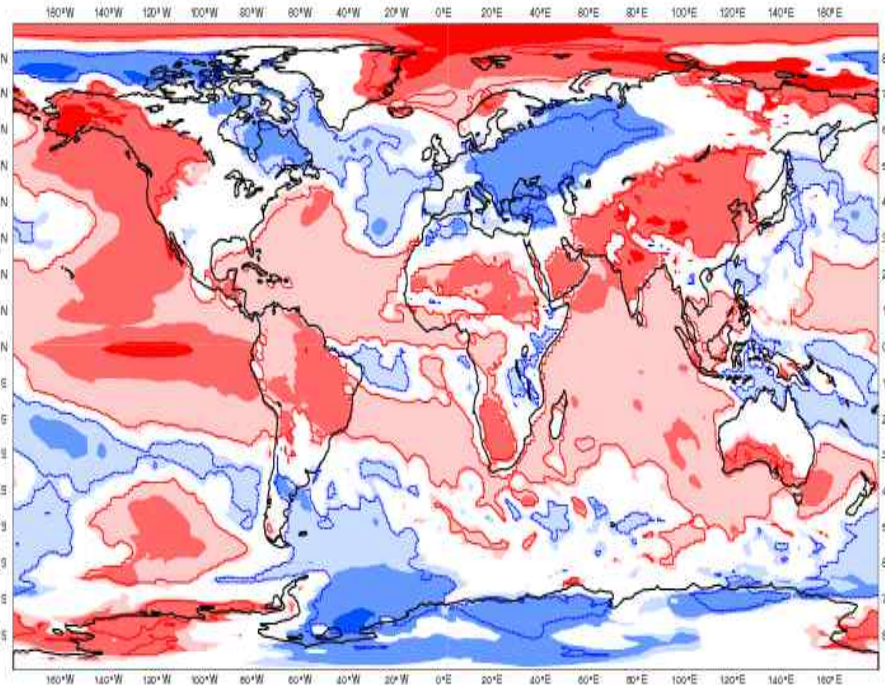
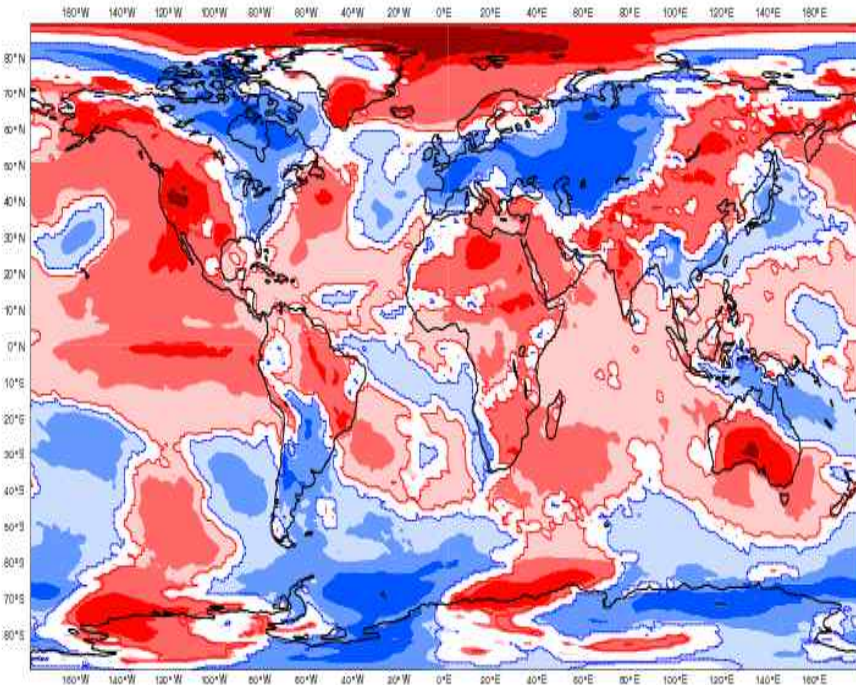
2-meter Temperature anomaly

Forecast start reference is 12-10-2015  
ensemble size = 51 , climate size = 680

Day 15-21

26-10-2015/TO/01-11-2015

Shaded areas significant at 10% level  
Contours at 1% level



# Services climatiques 'sans couture'

But: répondre aux questions sur le climat et son changement, ex:

- quel est le climat passé en un point ?
- le climat d'aujourd'hui est-il 'anormal' ?
- comment va-t-il évoluer ? fréquence & intensité des extrêmes ?
- un changement constaté présage-t-il du futur ?

Outils:

- Archives d'observations, ou **réanalyse** s'il n'y en a pas (=analyse homogénéisée dans le temps)
- Prévisions à toutes les échelles de temps: météo, mensuelle, saisonnière, projections climatique
- Présentation unifiée (corrections statistiques)
- nécessite un développement cohérent des modèles et des produits