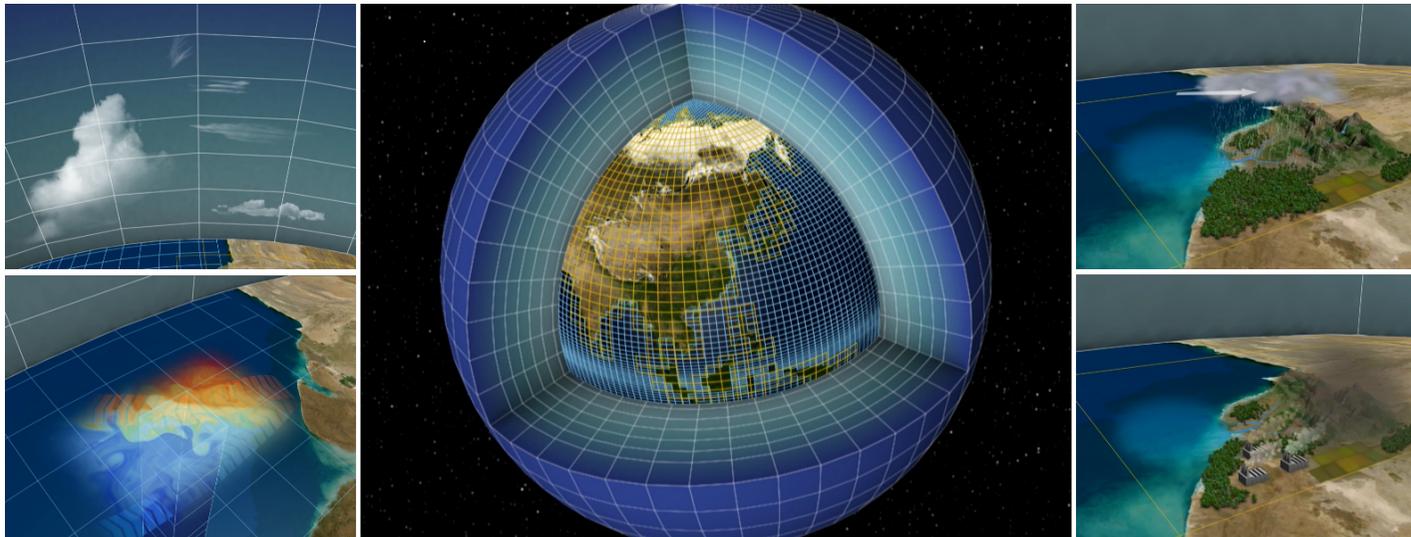


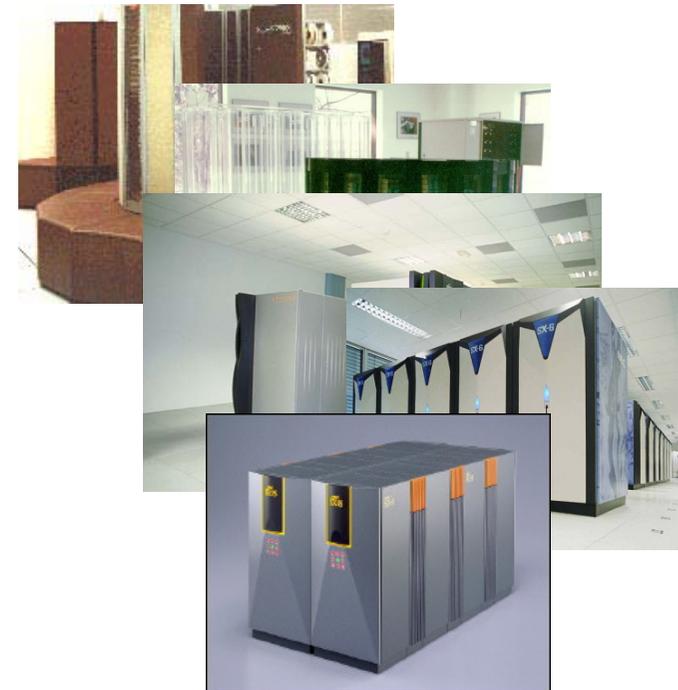
# Projections climatiques : quelles utilisations?

Pascale Braconnot  
IPSL/LSCE

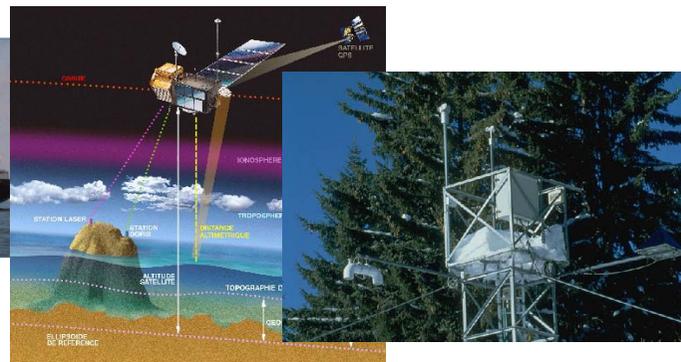


# Climat et perturbation anthropique : de nombreuses questions et de nombreux interlocuteurs

- Perturbation anthropique?
- Amplitude du réchauffement?
- Précipitation et hydrologie?
- Changement climatiques régionaux?
- Variabilité et événements extrêmes?
- Quels impacts? (hydrologie, écosystèmes...)



## Observations

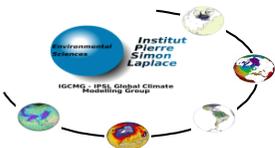


## Modélisation numérique

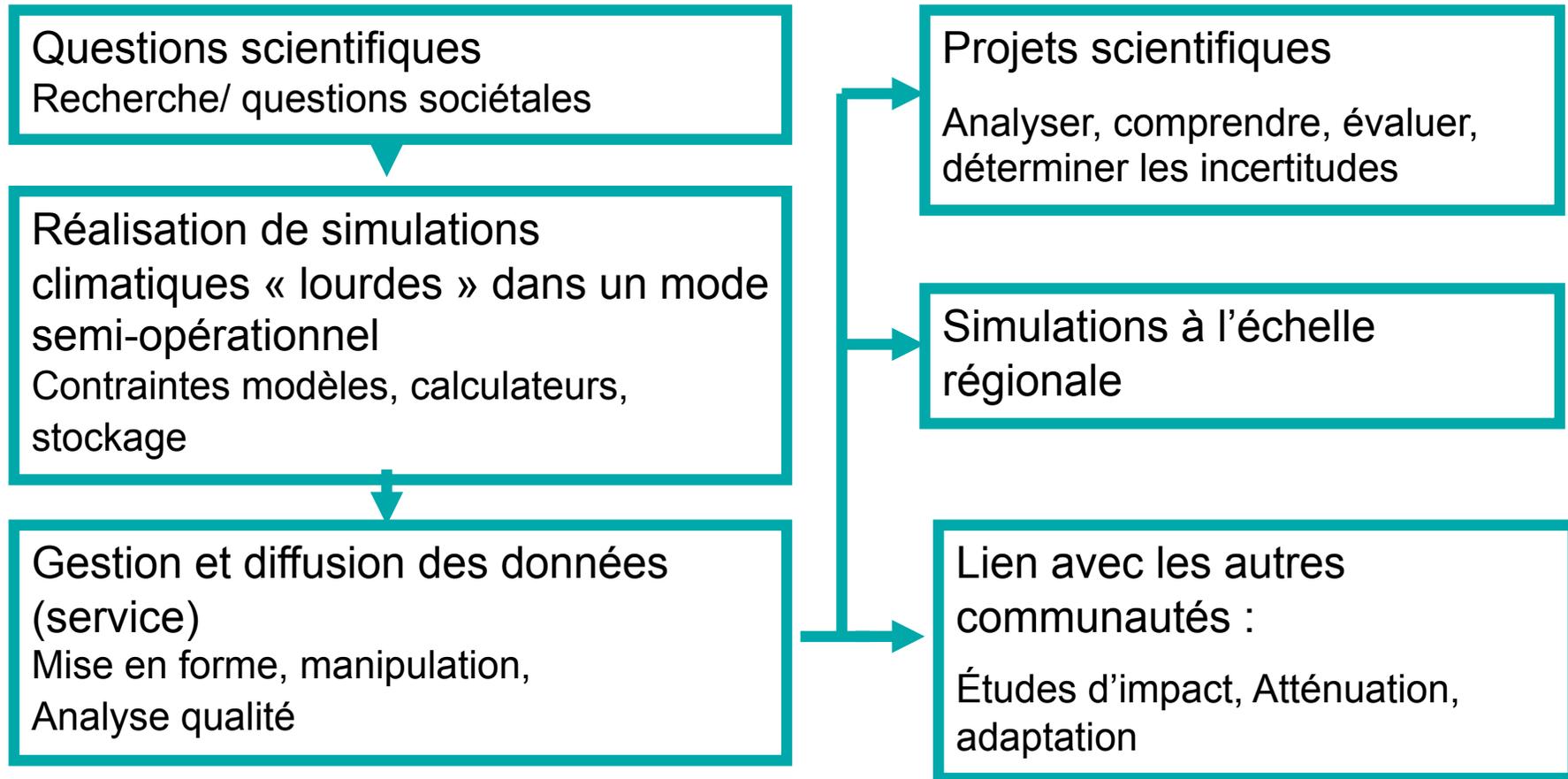
# Le rôle de la modélisation



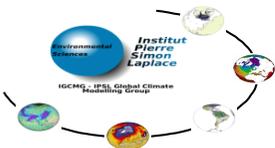
- Le climat futur n'est pas une simple extrapolation de l'actuel
- La simulations numérique a pour objectif de nous aider à:
  - Comprendre le fonctionnement du climat à différentes échelles de temps
  - Identifier comment le climat varie selon la perturbation appliquée
  - Tester des hypothèses (ex/ perturbation anthropique selon différents scénarios socio-économiques, rôle d'un phénomène ou d'une rétroaction)
- Les études actuelles ont pour objectif de mieux cerner les incertitudes
  - Crédibilité des modèles utilisés
  - Interactions complexes entre climat et environnement
  - Ignorance scientifique



# CMIP5 : un projet international (WCRP/ WGCM)



Calendrier imposé par le rapport du GIEC  
Taille de l'exercice = réponse à de nombreuses thématiques  
Diffusion de données : une grosse mobilisation internationale  
(France=Prodiguer)



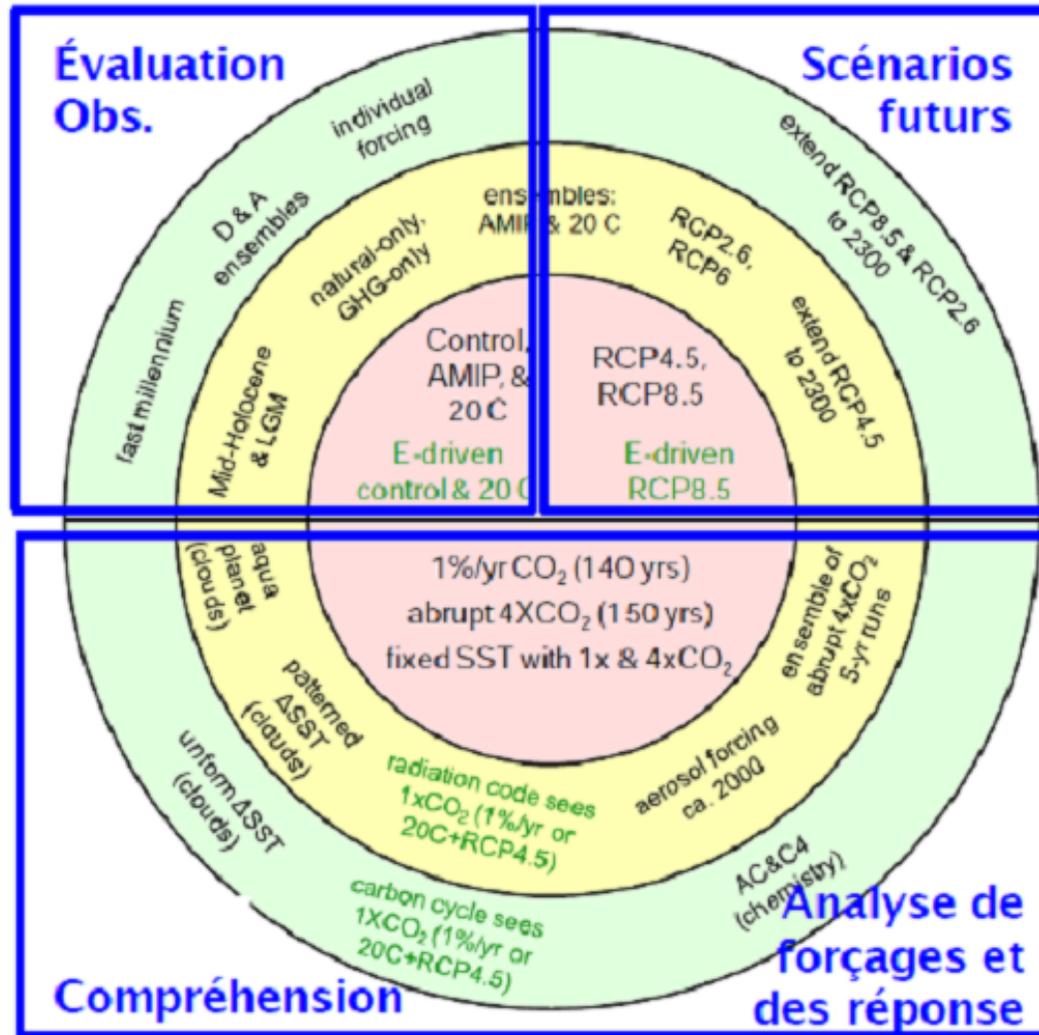
# Les simulations CMIP5



- Les expériences proposées ont émergées de la communauté scientifique (et non du GIEC)
- Les simulations concernent 2 échelles de temps et 2 types de questions principales
  - **Prévision décennale (« hincast », 2005-2030)** : haute résolution, pas de cycles du carbone, quelques simulations chimie
    - Extrêmes régionaux, variabilité interne/variabilité forcée
  - **Prévision long terme (2100 et au-delà)** : résolution intermédiaire, cycle du carbone, chimie et aérosols, utilisation des sols, nouveaux scénarios d'atténuation (RCPs)
    - Rétroactions, amplitude, vitesse, variabilité
- Calendrier :
  - simulations réalisées entre fin 2009 et automne 2011 (se poursuivent)
  - Diffusion (base de données) automne 2011 (se poursuit)
  - Publications pour AR5 : 31 juillet 2012
  - Publication du rapport du groupe 1 : 2013, groupes 2 et 3 : 2014



# Simulations long terme (~100 ans)



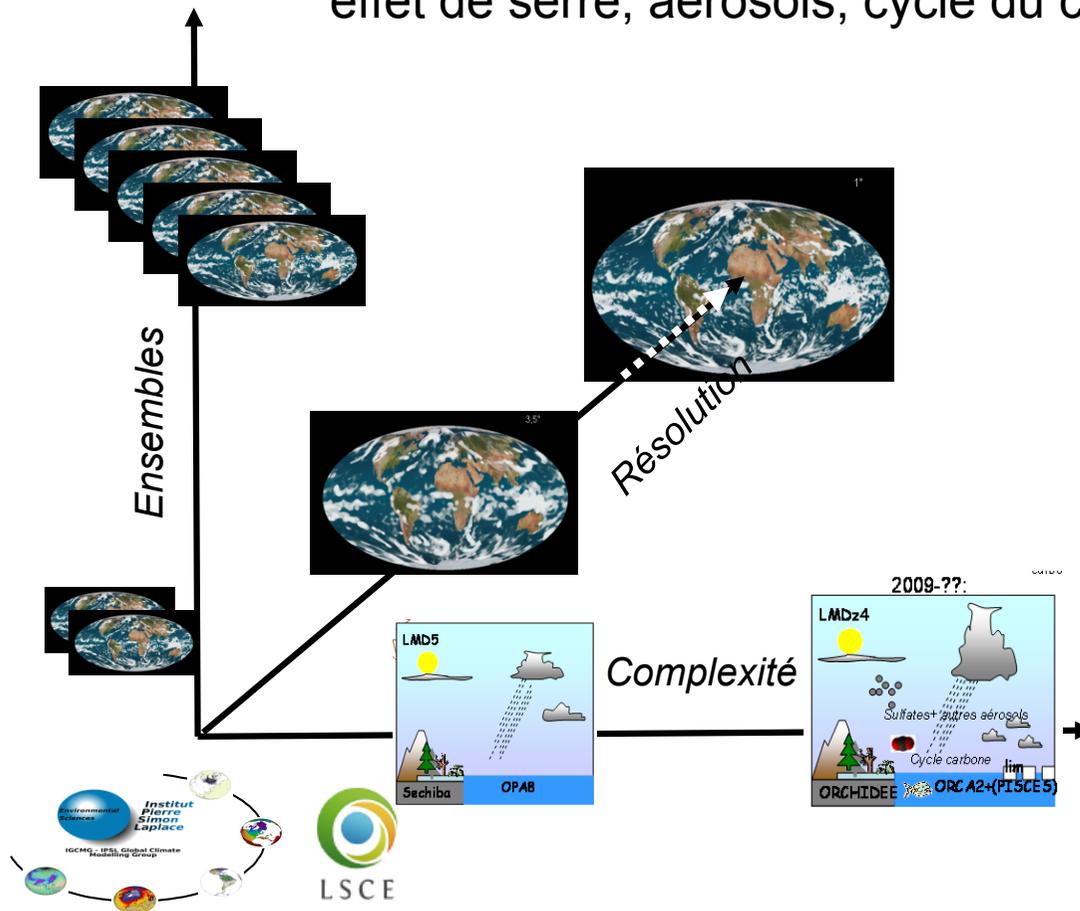
- Climats passés (20<sup>ème</sup> siècle, paléo)
- Tests de sensibilité pour les mécanismes climatiques
- Tests de sensibilité pour comprendre le rôle des différents forçages
- Simulateurs d'observations (ex: nuages) pour les comparaisons modèles-données

# Ce qui a changé par rapport à l'exercice CMIP3



## Des questions de plus en plus précises impliquant :

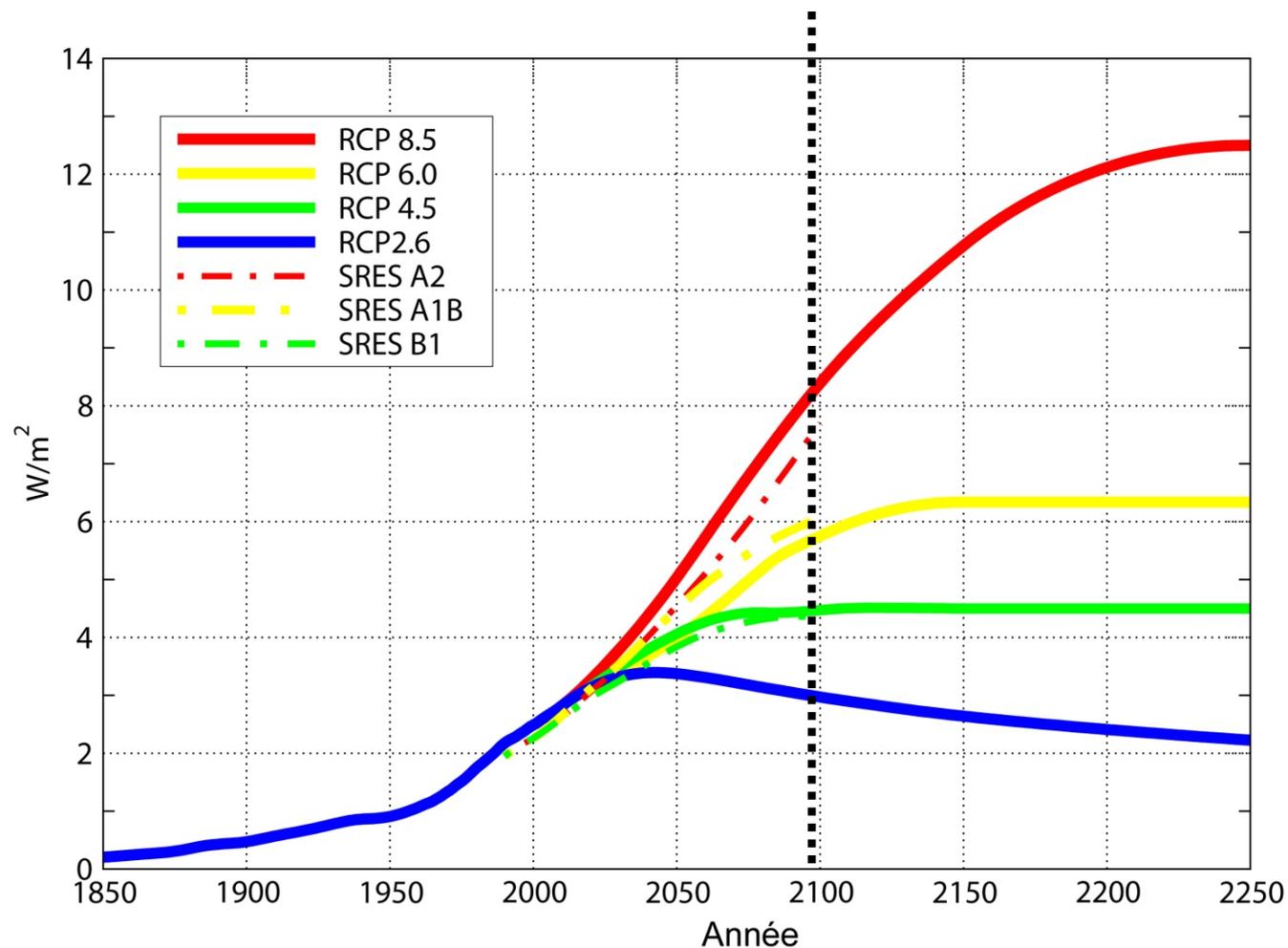
- de nombreuses échelles de temps et d'espace (global au local, quelques années à quelques décennies)
- Evolution des caractéristiques de la météorologies et de la variabilité climatique (heure à décennale)
- Couplages entre le climat et les cycles biogéochimiques (gaz à effet de serre, aérosols, cycle du carbone, utilisation des terres,...)



La résolution spatiale est de l'ordre de 150 km pour le modèle du CNRM.

Le modèle de l'IPSL participe à CMIP5 en deux résolutions : 180 et 260 km. Le cycle du carbone est interactif.

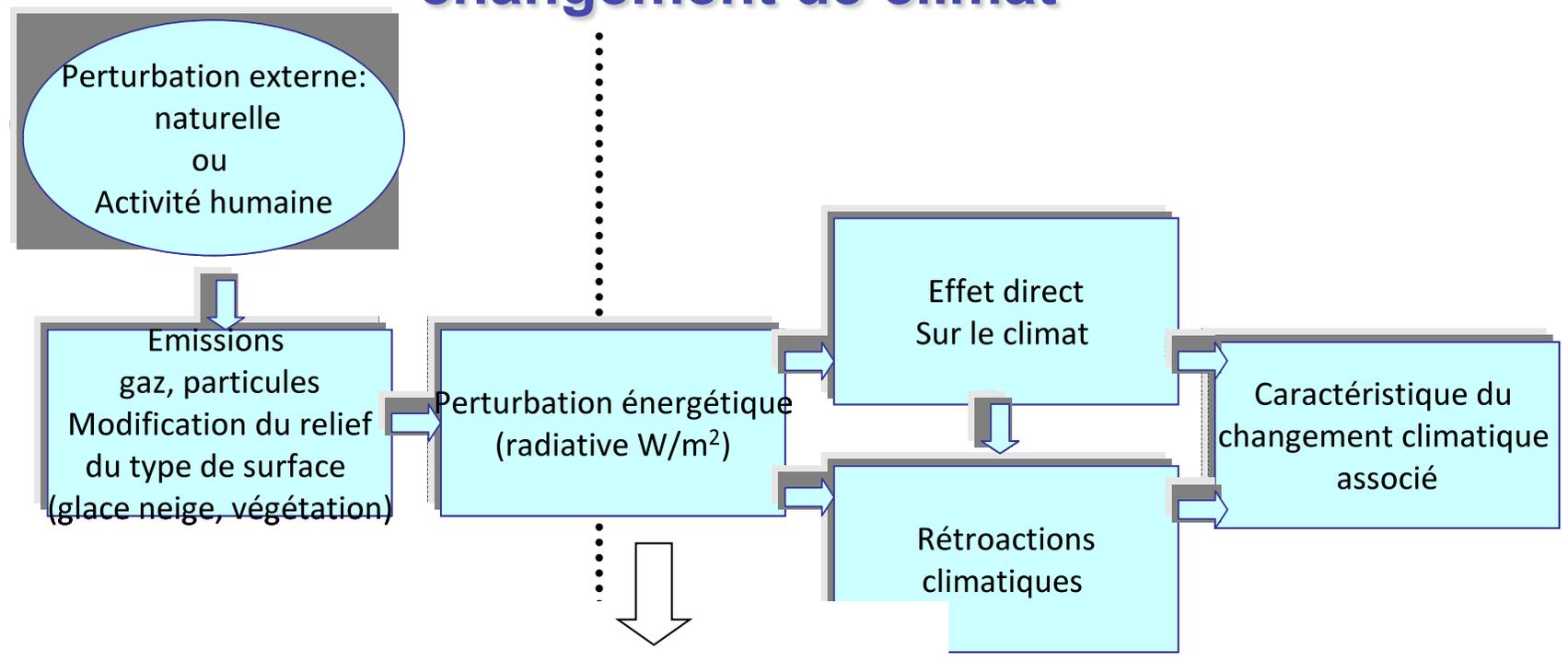
# Une nouvelle philosophie de travail : les RCP



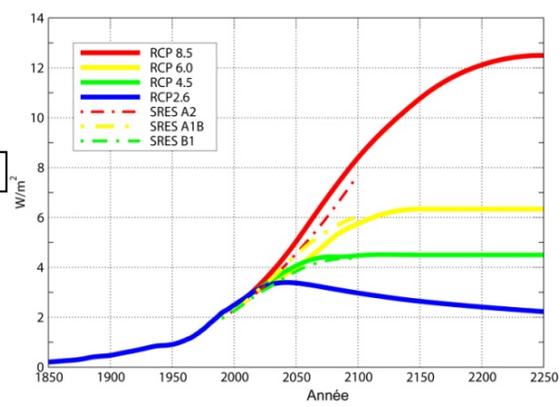
Ces scénarios “RCP” mesurent l’intensité de la perturbation du système climatique par l’homme , via:

- les émissions de gaz à effet de serre et d’aérosols
- les transformations de l’occupation des sols

# Comprendre les liens entre perturbations externes et changement de climat



Plusieurs histoires possibles en terme d'émissions (gaz, aérosols) ou d'utilisation des sols

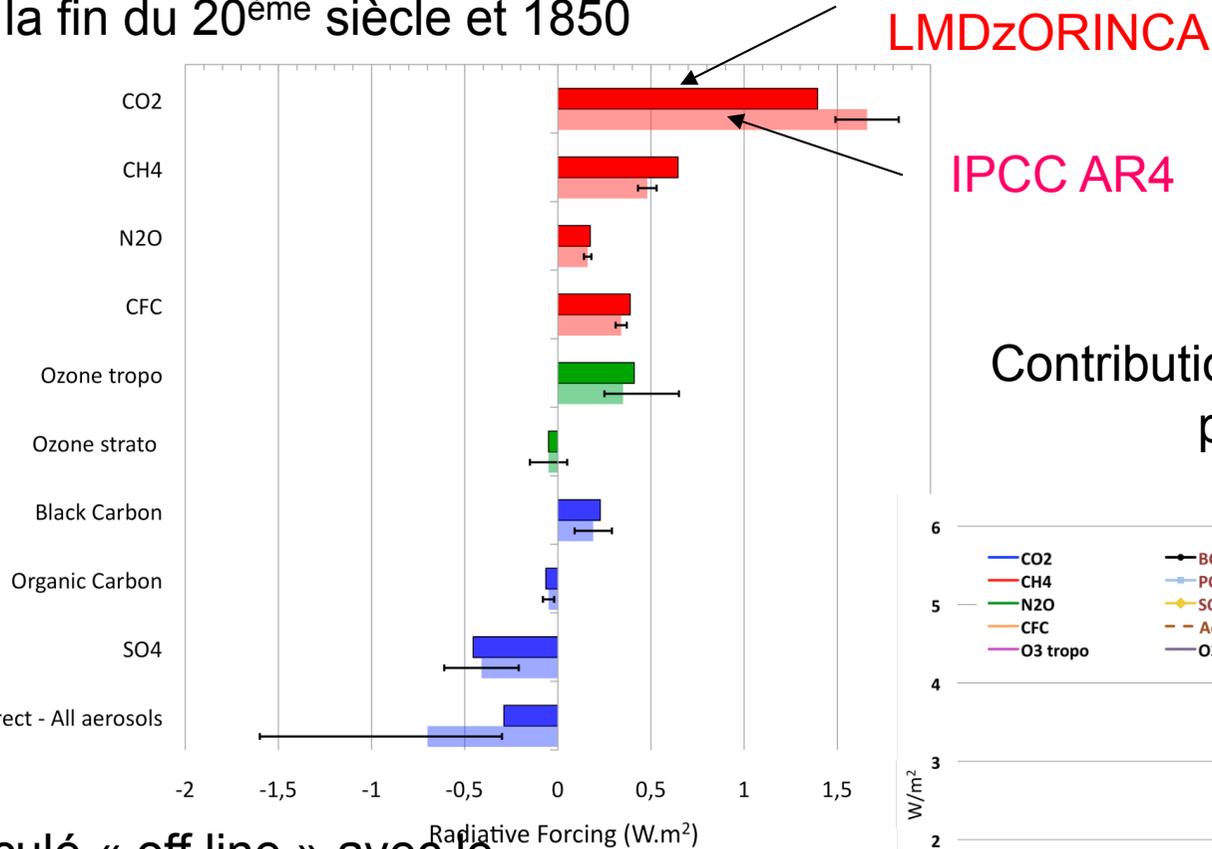


A l'échelle régionale les intensités des différentes perturbations ne sont pas proportionnelles et dépendent des hypothèses des scénarios.

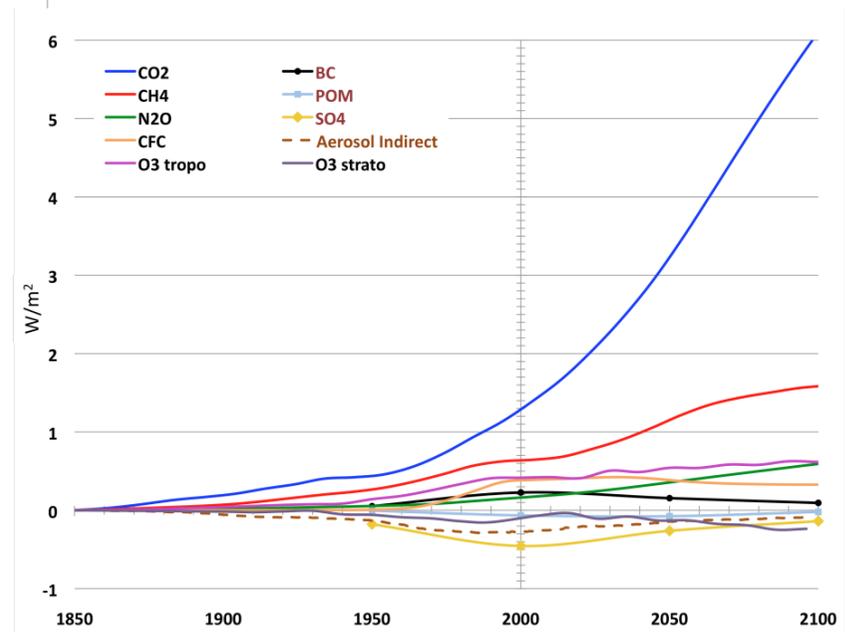
Peut être un élément important suivant étude menée

# Estimation des forçages radiatifs

Entre la fin du 20<sup>ème</sup> siècle et 1850



Contribution des différents agents pour le RCP85



Calculé « off line » avec le code radiatif du modèle d'atmosphère

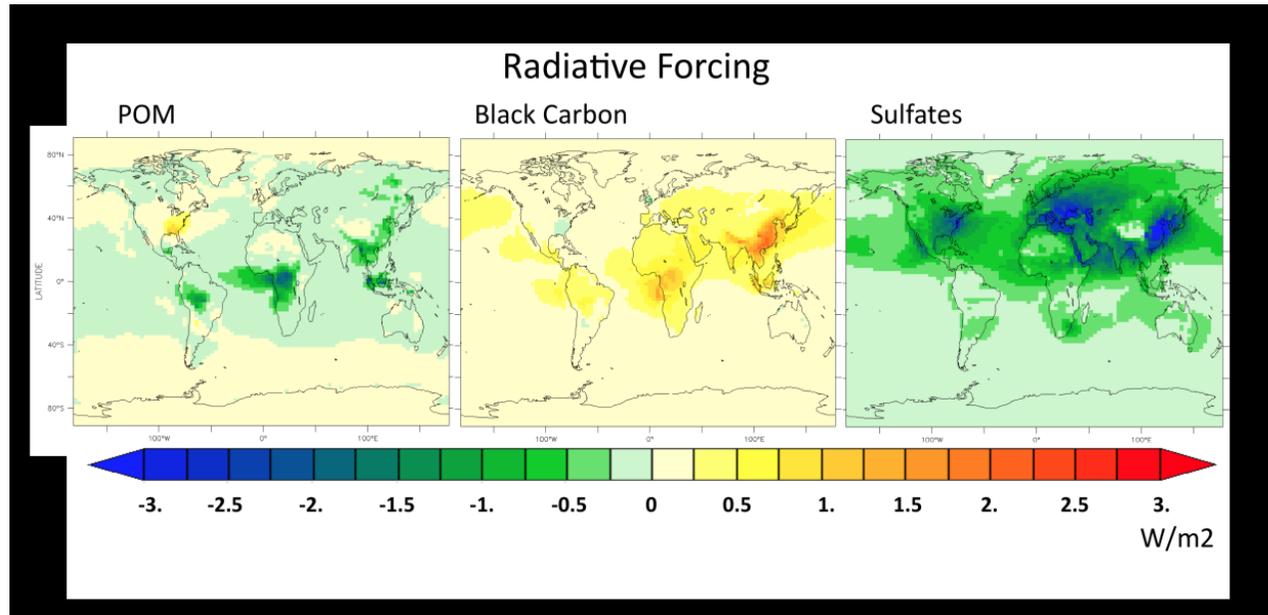
Szopa et al, 2012

# Sans oublier des effets régionaux

ESCRIME

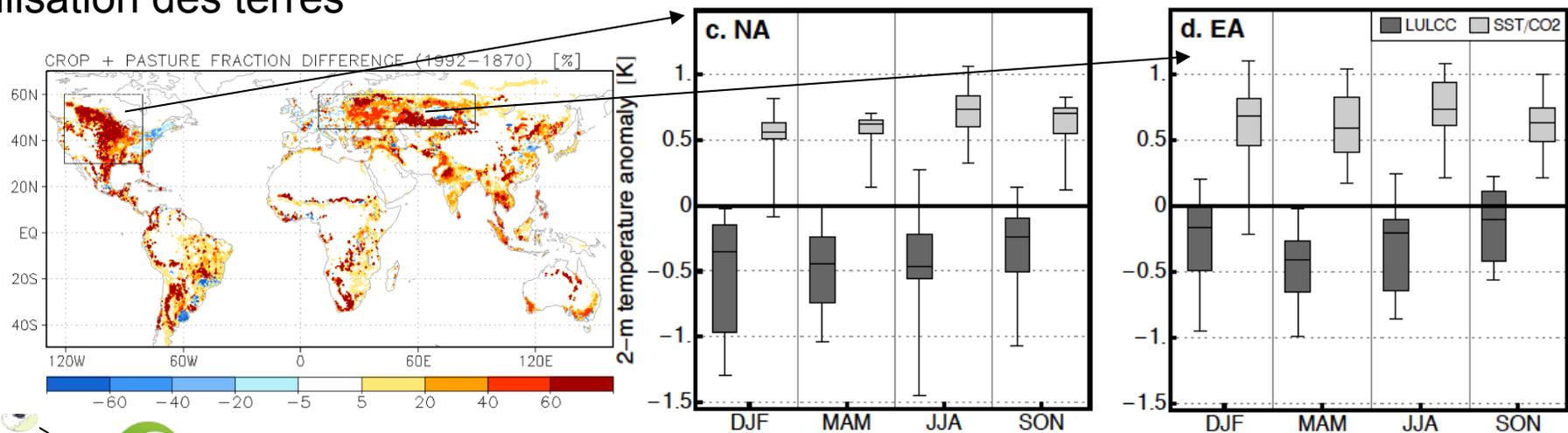


## Ex aérosols



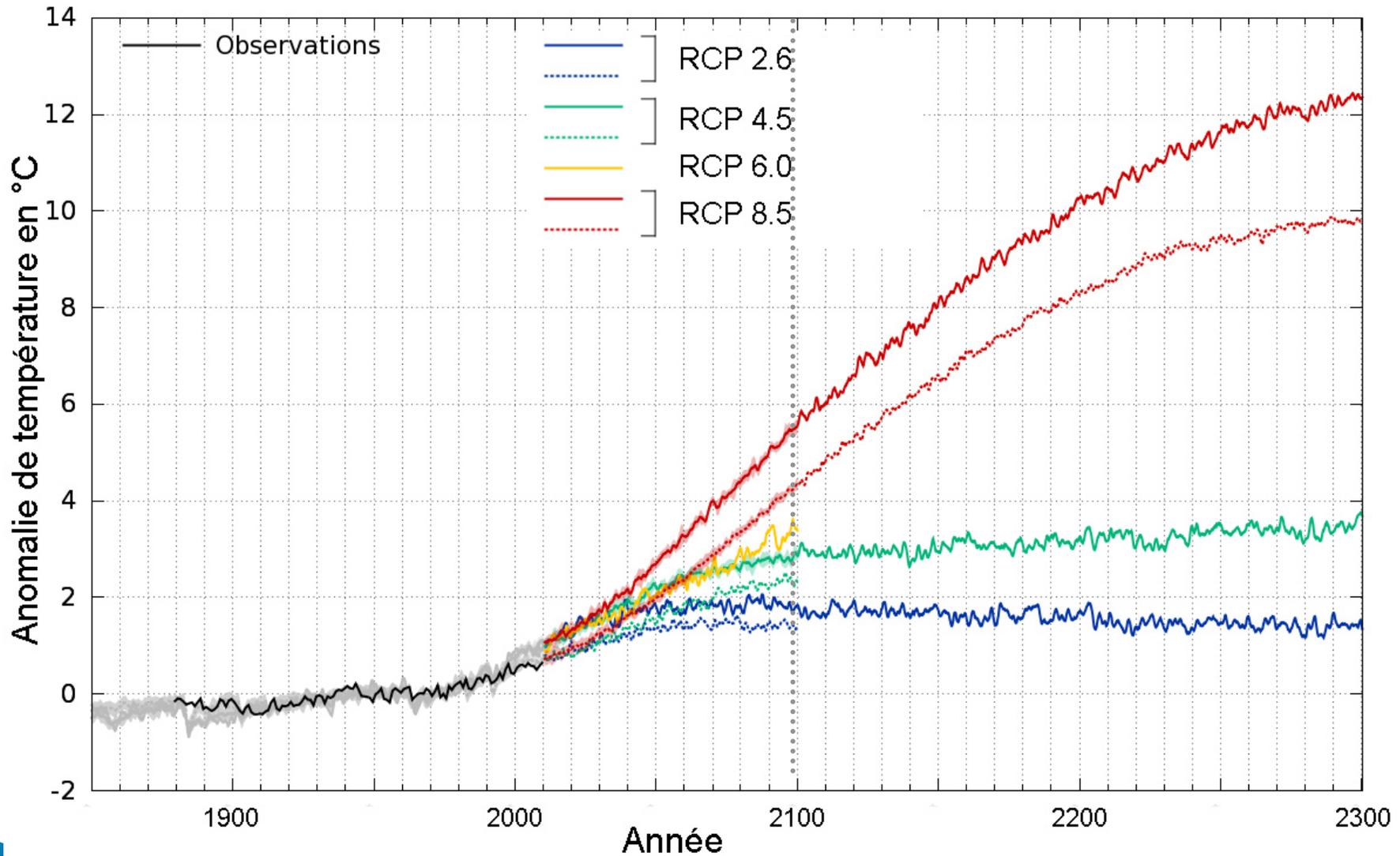
Zsopa et al. 2012

## Ex utilisation des terres



# Température de surface: 1850-2300

Anomalies de la température de l'air proche de la surface (°C)



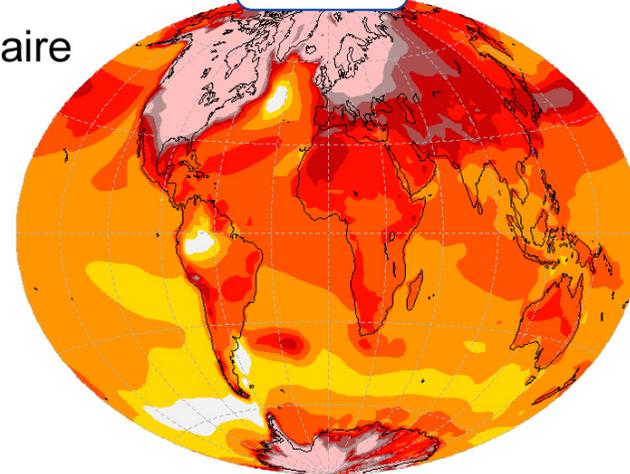
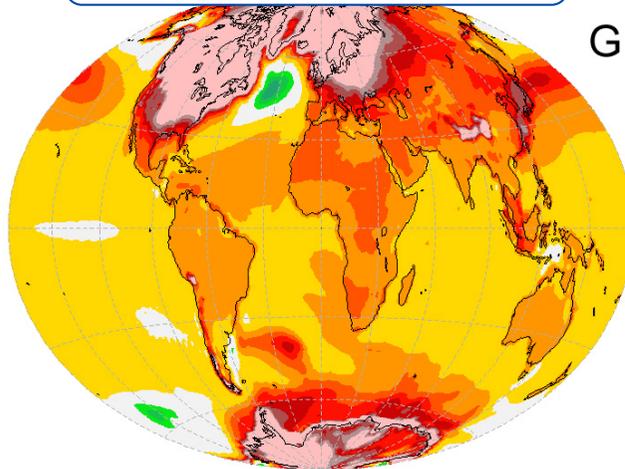
# Mise en perspective : glaciaire / RCP8.5

CNRM-CERFACS

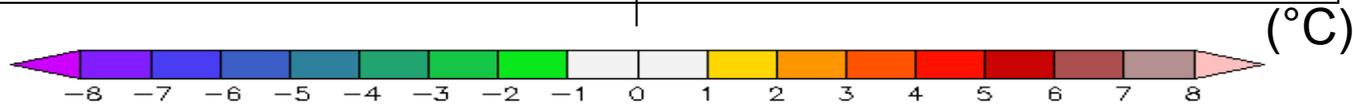
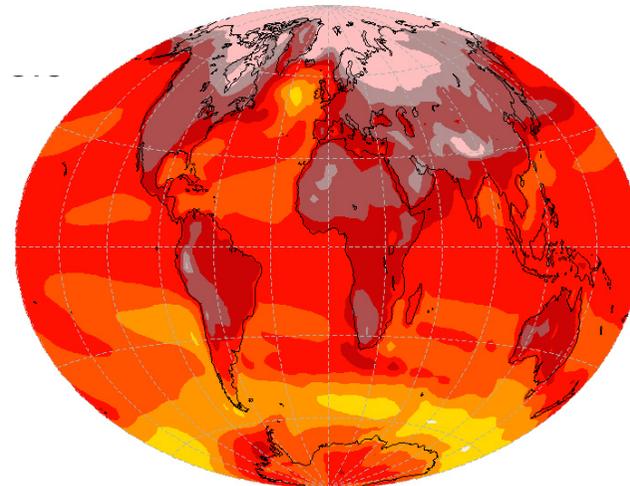
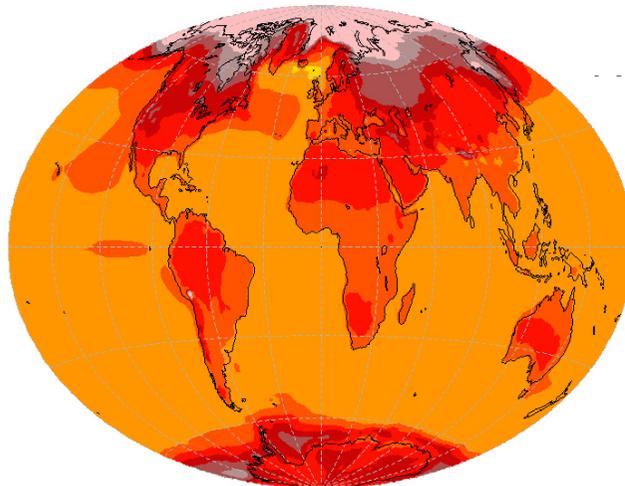
IPSL

Glaciaire

Glaciaire  
à présent



Présent à  
RCP8.5



# Quelques enseignements des premiers résultats (Hawai, mars 2012)

- Les nouvelles simulations sont en cours d'analyse
- La qualité des modèles est similaire à celle de l'exercice précédent, malgré l'augmentation de la complexité
- Similarités avec résultats précédents en terme de caractéristiques du changement climatique, dispersion des résultats entre modèles, mais nombreuses possibilités d'en améliorer la compréhension.
- Quelques aspects des simulations sont améliorés ; glace de mer en Arctique, circulation océanique (thermohaline), précipitation dans quelques régions, équilibre masse sur les calottes de glace, caractéristiques de la variabilité climatique tropicale (El-Niño).
- Mais aussi des biais systématiques tenaces : double ITCZ, nuages en Arctique, biais chaud océan sud, zone de convergence sud tropicale, humidité surestimée dans les régions de subsidence...

# Le numéro spécial de climate dynamics



- Objectif :
  - Présenter les modèles de climat de l'IPSL et du CNRM (articles de référence)
  - Présenter les premiers résultats des simulations CMIP5 et comparer avec l'exercice CMIP3 précédent
- Contributions IPSL/CNRM/LGGE
  - Principaux sujets abordés
    - Description des modèles et évaluation
    - Evaluation basée sur l'étude des processus
    - Analyse de la dynamique du climat et de sa variabilité
    - Analyse de la réponse du climat à différentes perturbations externes (simulations historiques, projections climatiques, prévision décennale, paléoclimats)
    - Etude des interactions entre le climat, la chimie et les cycles biogéochimiques
    - Simulations régionales
- Editeurs invités : S. Bony (LMS/IPSL) et J. Mignot (LOCEAN/IPSL)



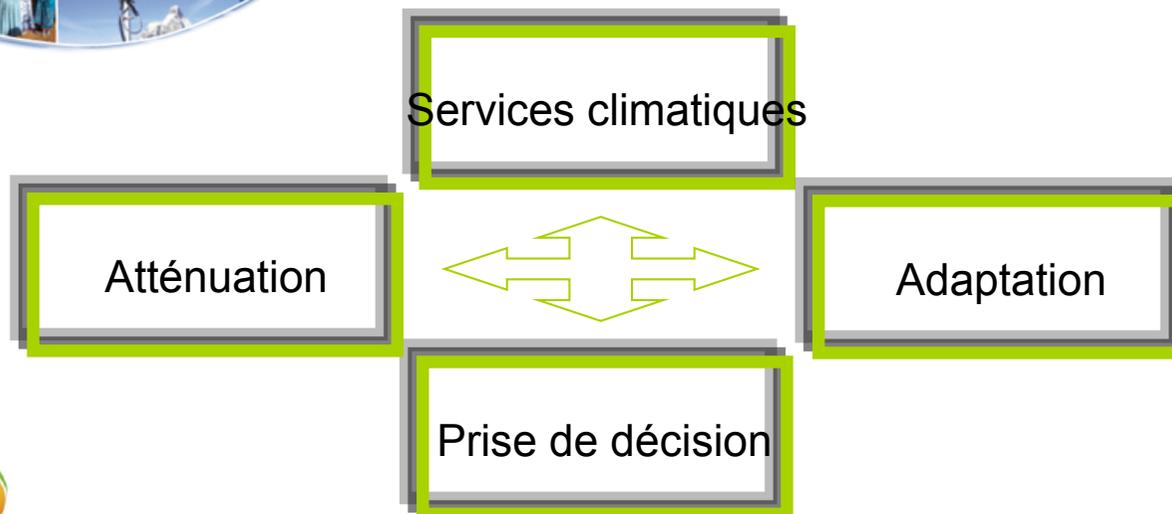
# Liens avec les autres acteurs

ESCRIME



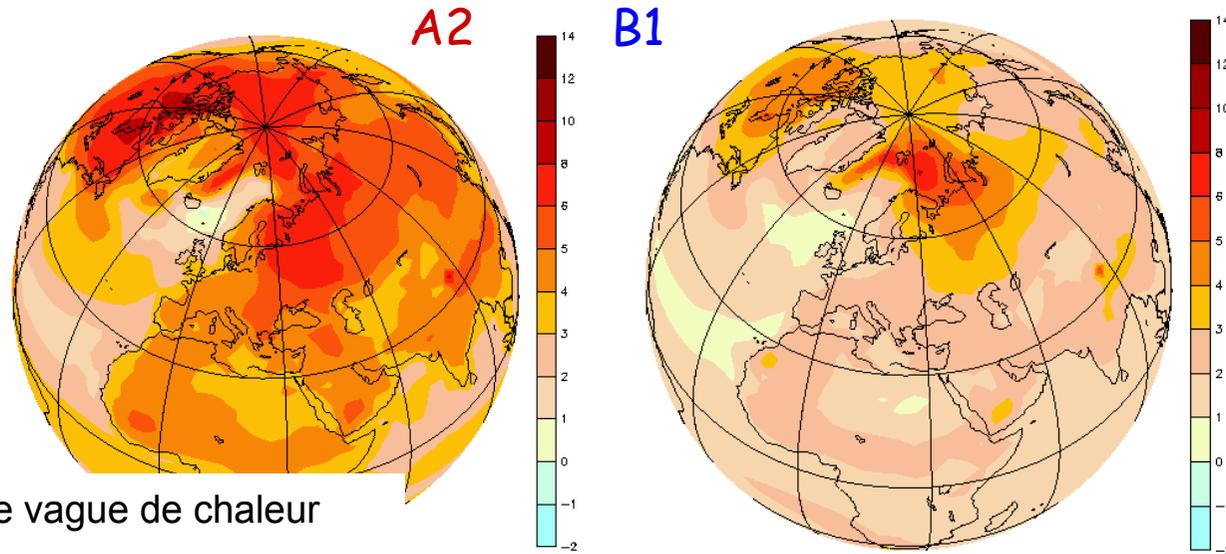
## Modéliser l'évolution climatique pour:

- Comprendre
- Tester comment des choix socio-économiques peuvent modifier le climat
- Caractériser les événements météorologiques (vagues de chaleur, sécheresse, inondations, tempêtes, ... )
- Informer



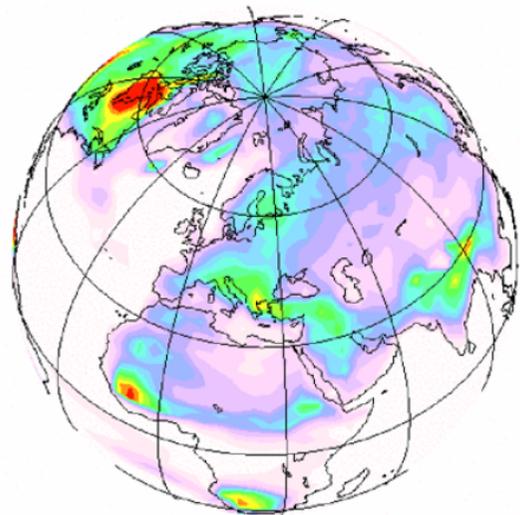
# Climat simulé (2100 – présent)

Température de l'air:  
 (Moyenne annuelle)



Mais aussi

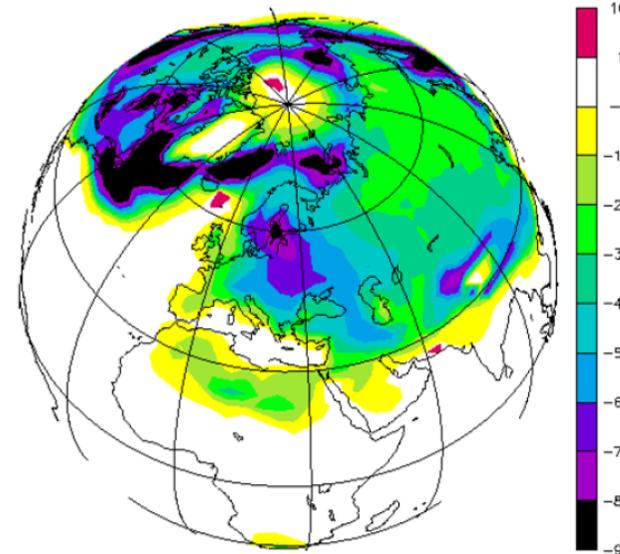
Nombre de jours de vague de chaleur  
 (°C)



température (deg)

augmente

Nombre de jours de gel (A2)



diminue

Etc ....

# Déterminer et analyser les incertitudes

ESCRIME



Class	Type	Methods	Action
Inherent uncertainties	Climate system understanding	None	None
	Natural variability	Multi-realisation analysis	Make distinction between variability and anthropogenic signals
	Socio-economical projections	Multi-scenario analysis	Assess range of values depending on “socio-economic” decisions and time frame.
Models imperfection	model uncertainties	Multi-model analysis	Assess range of values
		Model bias analysis	Making data correction to reduce bias
		Model performance analysis	Subsetting dataset to get a “best dataset” and reduce bias
	Downscaling uncertainties	Comparison of several downscaling methods (dynamical and statistical)	Assess range of values
Methods limitation	Errors inherent to analysis methods (grid or temporal interpolation; extreme analysis...)	Comparison of several methods	Select the best one or assess uncertainties comparing different method results

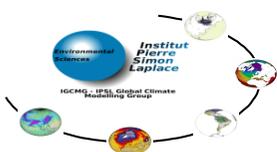
Besoin de délivrer un message qui est :

Crédible  
Compréhensible  
Peut donner lieu à l'action

Besoin de comprendre les besoins des utilisateurs pour donner le bon niveau d'information

Chaque cas est spécifique et demande un traitement adapté des incertitudes.

Déandréis et al. Submitted

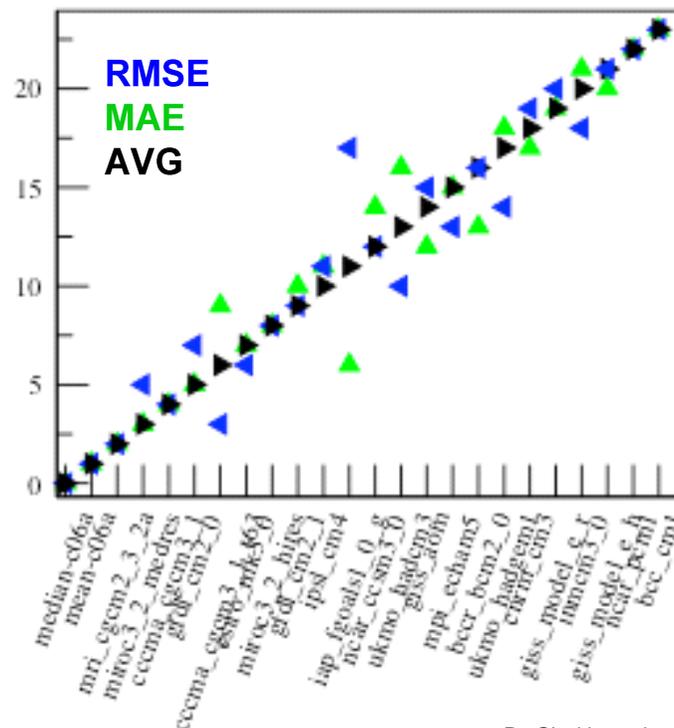


Projet européen IS-ENES : analyse de 17 cas d'études pour passer de la donnée modèle de climat à une variable d'impact

# Questions d'évaluation non résolues

- Quel est le lien entre la capacité à représenter le climat actuel et la crédibilité des projections climatiques?
- Peut-on justifier de pondérer les résultats des modèles par rapport à leur scores / des mesures simples?

Précipitation en moyenne annuelle  
CMIP3 models, Observations = GPCP



- Classement d'un modèle peut dépendre du choix de la mesure
- Modèles "extrêmes" apparaissent quelque soit mesure (dans cet exemple)
- Choix des mesures dépend aussi de la question posée.
- Donner une « note » aux modèles n'est pas le plus pertinent, mais plutôt aide à réflexion

# Mise en relation question/réponse : ex vagues de froid

- Projets GICC invulnérable et ANR CEPS Secif
  - Définition vague de froid suivant les partenaires considérés.

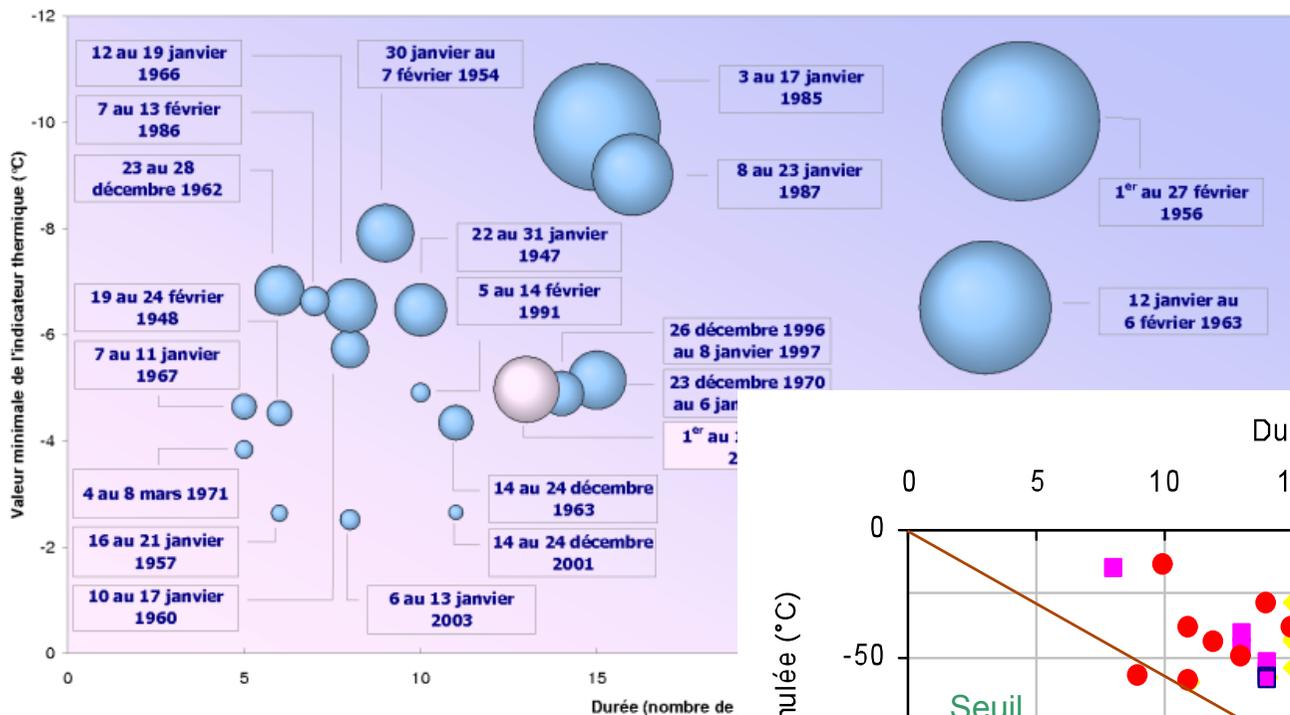
Issue  
analyse  
de cas

Partenai- res	Objectifs	Paramètres	Indicateur climatique	Critères de sélection / critères de vulnérabilité		
				Persistence	Amplitude	Ext. Géo
<b>IPSL / GDF- SUEZ</b>	Vulnérabilité de la distribution de gaz	$\Delta T_{\text{moy}}$ p/r 1971- 2000 ( $\Delta T_{\text{moy}}$ ) Saison : NDJFM	Nombre de jours où $\Delta T_{\text{moy}} < 0^\circ\text{C}$	$\geq 15$ jours	Anomalie cumulée $< -75^\circ\text{C}$	Fort sur l'Europe
<b>EDF</b>	Analyse des pics de consommation d'électricité	$T_{\text{min}}$ Saison : NDJFM	Nombre de jours où $T_{\text{min}} < 0^\circ\text{C}$	$\geq 2$ jours		Ville du Nord de la France
<b>CNRM- GAME</b>	Caractérisation de l'hiver 2009- 2010	$\Delta T_{\text{min}}$ p/r 1971- 2000 Saison : DJFM	Nombre de jours où $\Delta T_{\text{min}} < Q_{10}$			
	Mécanismes et prévisibilité	$\Delta T_{\text{min}}$ p/r 1971- 2000 Saison: DJFM	Nombre de jours où $\Delta T_{\text{min}} < Q_{10}$			
	Analyse des biais des modèles	$T_{\text{min}}$ Saison: DJFM	Nombre de jours où $T_{\text{min}} < Q_{10}$			
	Analyse des VDF présentes et futures	$T_{\text{min}}$ Saison: DJFM	Nombre de jours où $T_{\text{min}} < Q_{10}$	$\geq 6$ jours		
<b>LSCE</b>	Représentation des VDF dans les modèles.	$\Delta T_{\text{moy}}$ p/r à 1961- 2000 Saison : NDJFM	Nombre de jours où $\Delta T_{\text{moy}} < 2\sigma$			

# Classement des vagues de froid

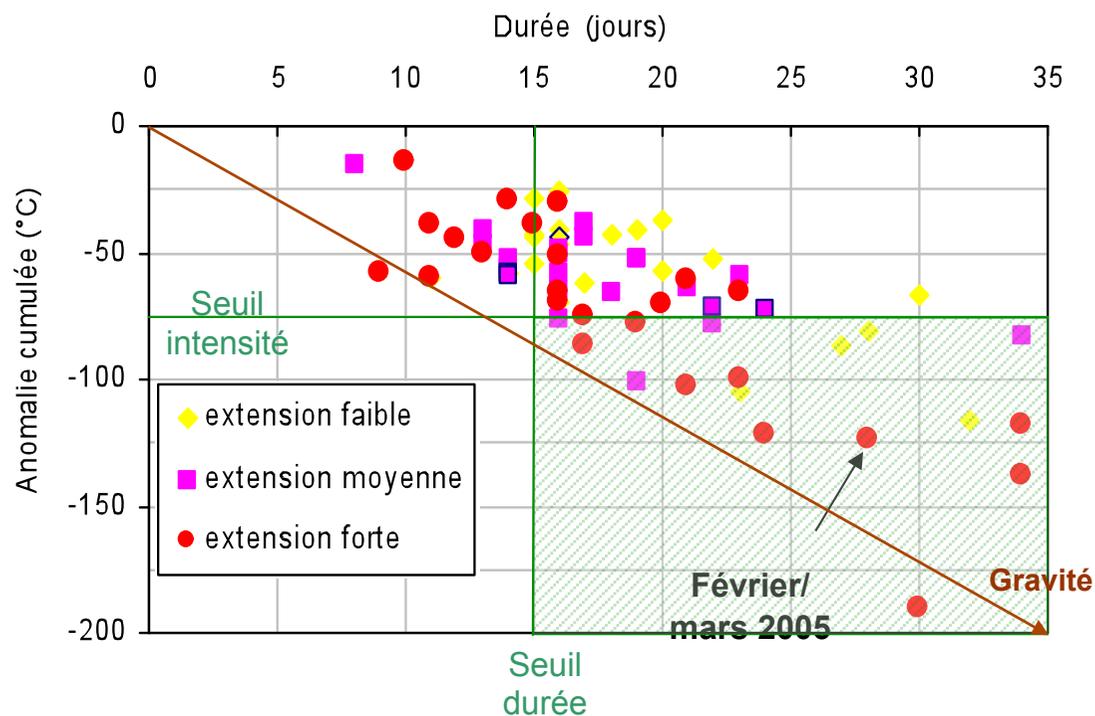
## Vagues de froid en France

Période 1947-2012



Classement différent selon objectif poursuivi :

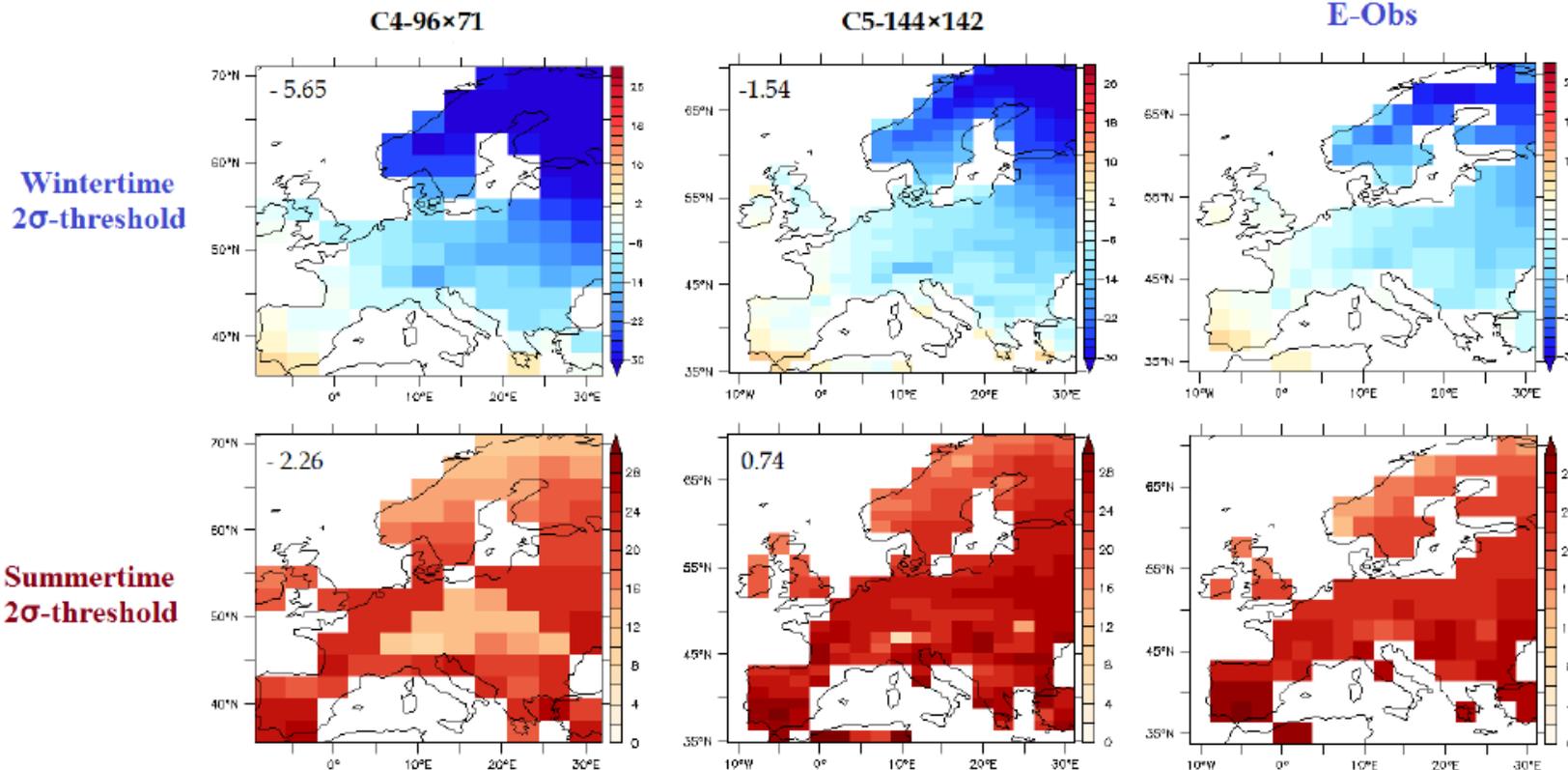
- Critère météoFrance de suivi des vagues de froid
- critères par rapport à la questions de GDF



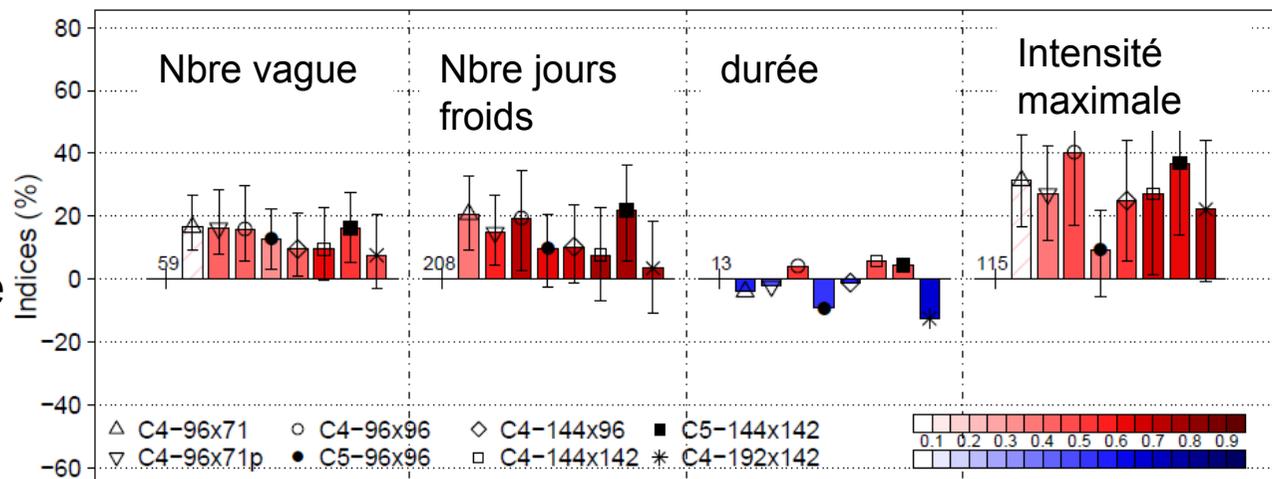
# Conclusion

- **Projections climatiques = support à de nombreuses thématiques**
  - Compréhension climat et son changement
  - Lien avec questions environnementales ou sociétales ou le climat est un élément seulement
- **CMIP5 = un exercice sans précédent**
  - Nombre de simulations et thématiques abordées
  - Taille de l'archive et diffusion de données (forte contribution IPSL dans la mise en place de l'infrastructure)
  - Mode semi-opérationnel de groupe de recherche / mise en place, réalisation/ diffusion des données simulations
  - Potentiel / compréhension/ caractérisation des incertitudes
- **Quelques alertes**
  - Choix des simulations / utilisation visée
  - Complexité des perturbations / complexité des modèles / prendre en compte dans les études?
  - Critères d'évaluation
- **De nombreuses questions sur :**
  - Façon de communiquer les résultats à large gamme d'utilisateurs
  - Partage expertise scientifique (taille de la communauté / taille de la demande)
  - L'aspect « multiformes » de l'incertitude

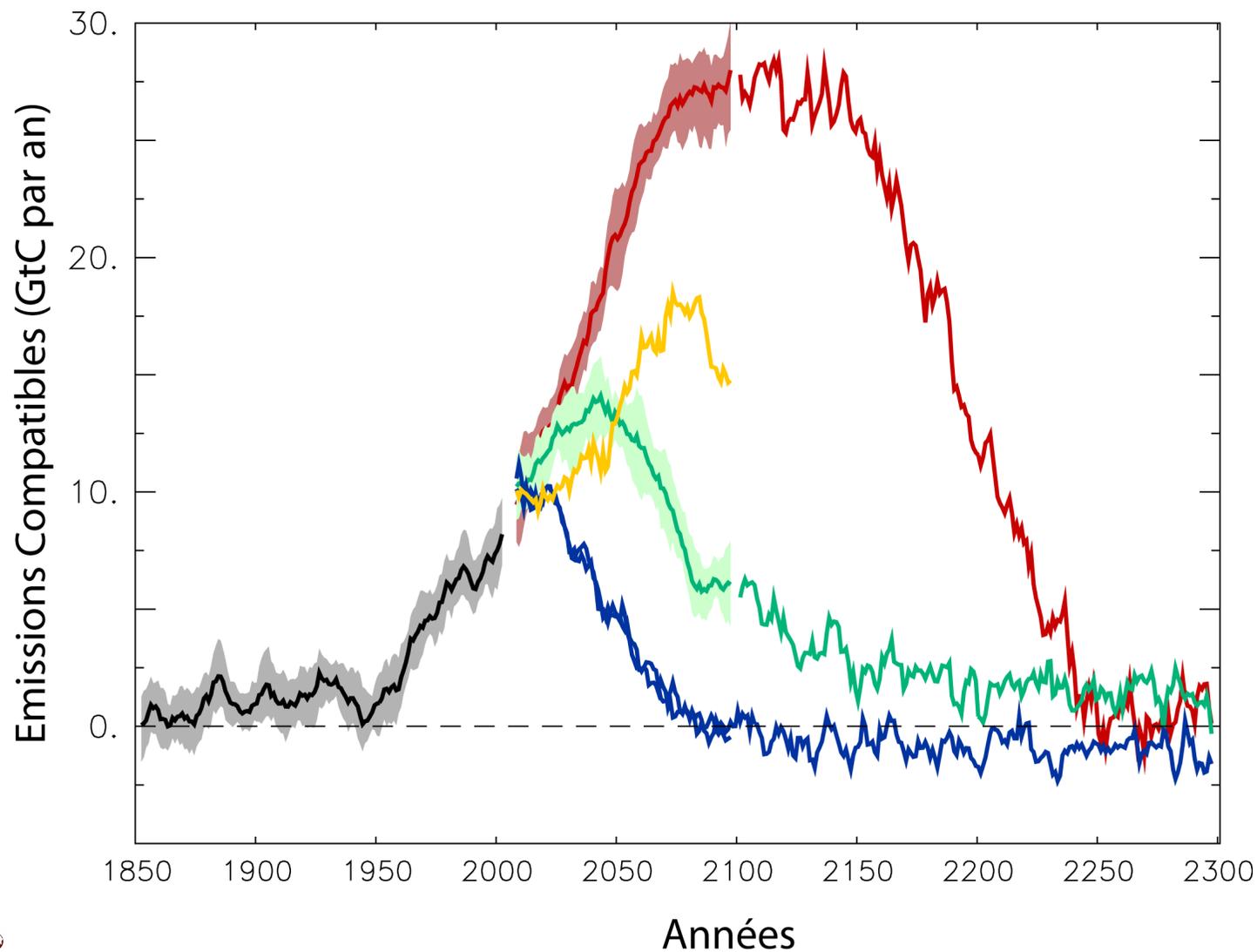
# Extrêmes de température (test résolution)



Caractérisation des vagues de froid / observations et analyse de l'effet de la résolution



# Émissions fossiles compatibles (GtC par an)



# Se projeter jusqu'en 2100 et au-delà: ex IPCC (2007)

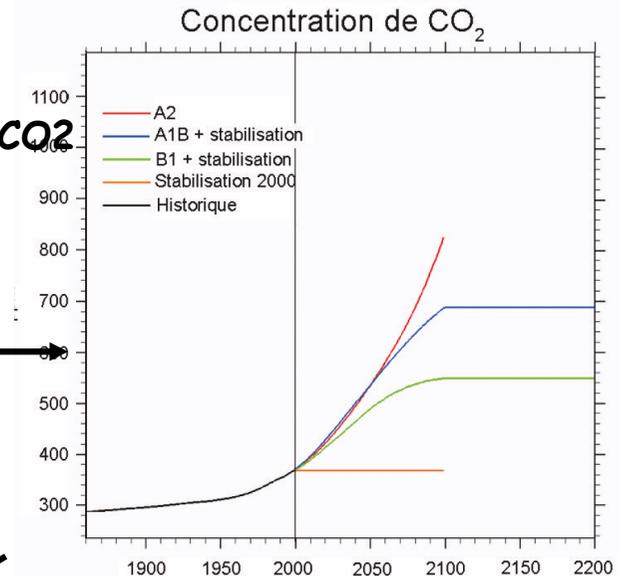


➤ A partir d'hypothèses sur les conséquences de l'activité anthropique sur la composition atmosphérique et les caractéristiques des surface continentales

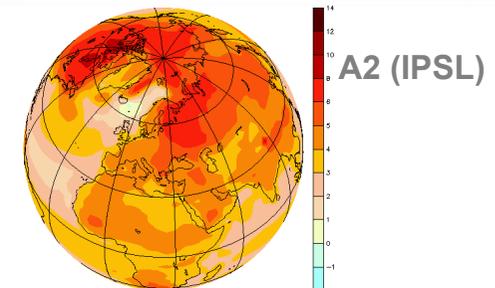
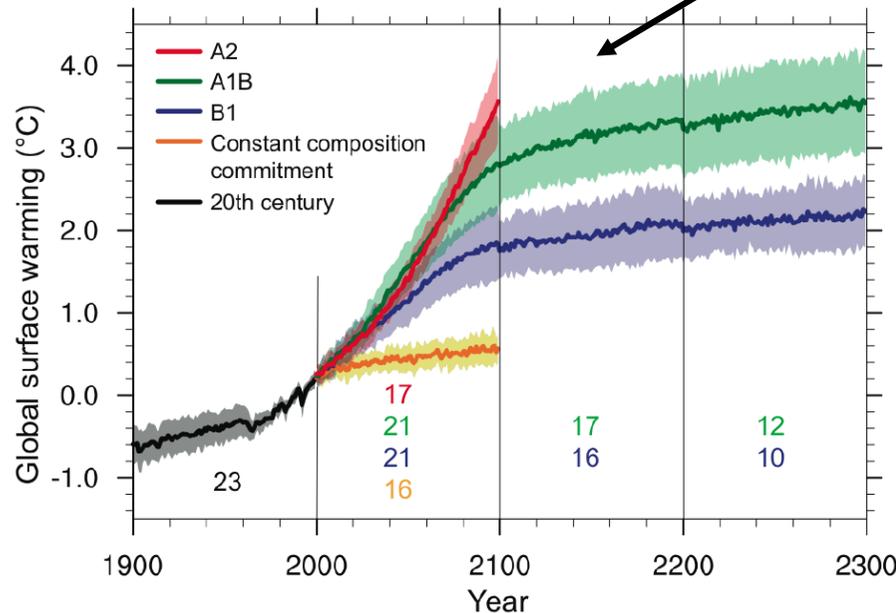
Emission scenarios

➤ Calcul des caractéristiques du climat (météorologie, saisonnalité, variabilité interannuelle..).

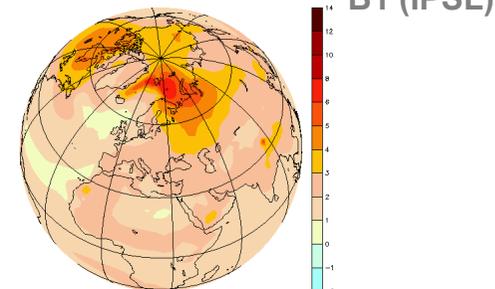
Ex: CO<sub>2</sub>



Ex :  
Température  
annuelle  
globale



IPCC / IPSL - SRESA2 scenario - Anomalies de température (deg C) (2090-2099) comparee a (2000-2009)



IPCC / IPSL - SRESB1 scenario - Anomalies de température (C) (2090-2099) comparee a (2000-2009)



# Des émissions aux simulations climatiques (ex: IPSL)

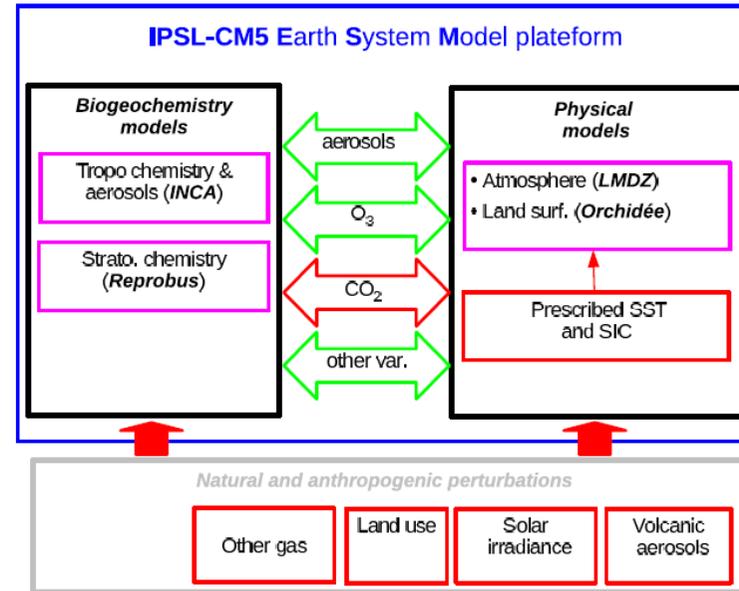


1. Calcul de la distribution 3D des aérosols et de l'ozone à partir de simulations couplées atmosphère-chimie-aérosols pour les différents scénarios

Utilisés pour les simulations IPSL et CNRM : projet LEFE MISSTERRE

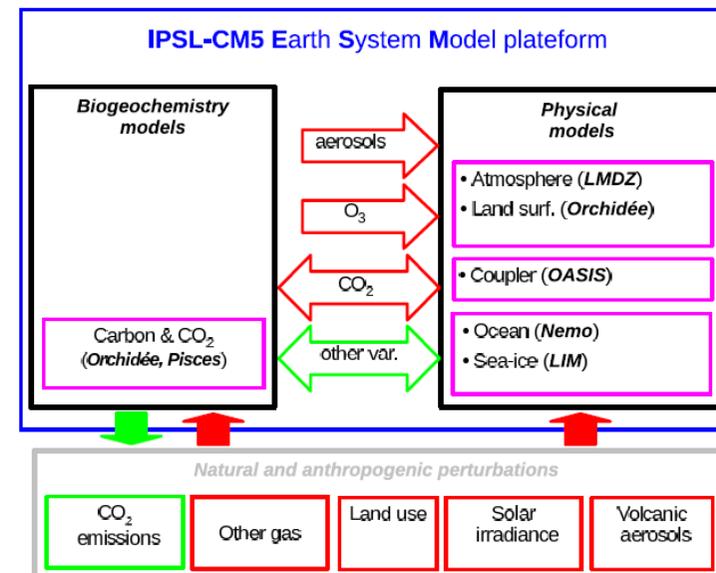


2. Utilisation des distributions 3D issues de 1 pour réaliser les simulations climatiques couplées.



b)

Szopa et al. 2012



Dufresne et al. révision

