



IPSL Climate Modelling Centre

*Etude et modélisation du climat  
et des ses variations:  
des études de processus aux analyses multi-modèle*

Jean-Louis Dufresne  
*pôle de modélisation du climat*

AG IPSL, Meudon, 19-20ptembre 2013

**Approche multidisciplinaire intégrée du Système Terre et étude en cohérence des changements climatiques passés, récents et futurs.**

Changement anthropique du climat

Paléoclimat

Rétroaction des nuages

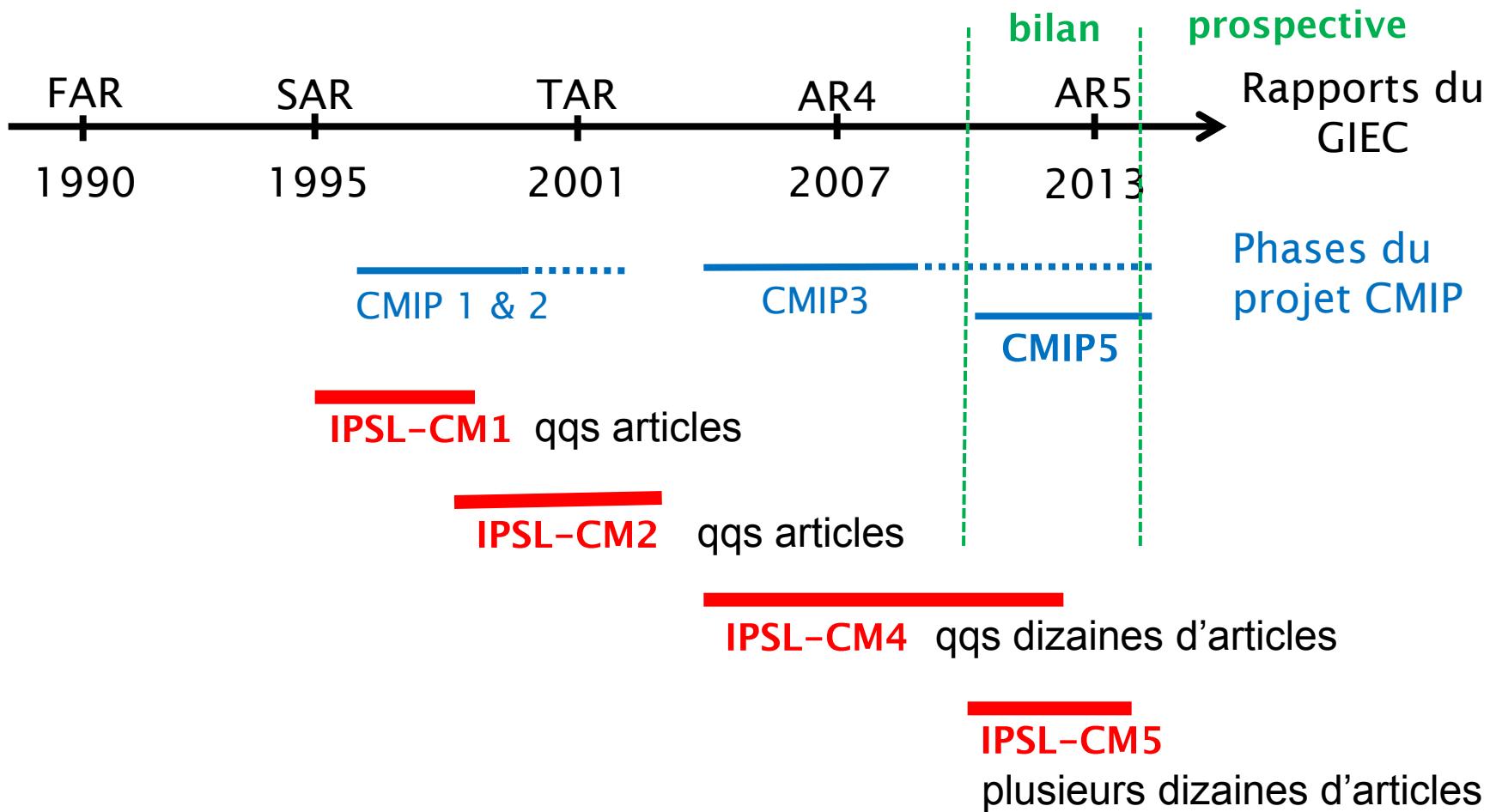
Couplage climat-cycles

Composition chimique

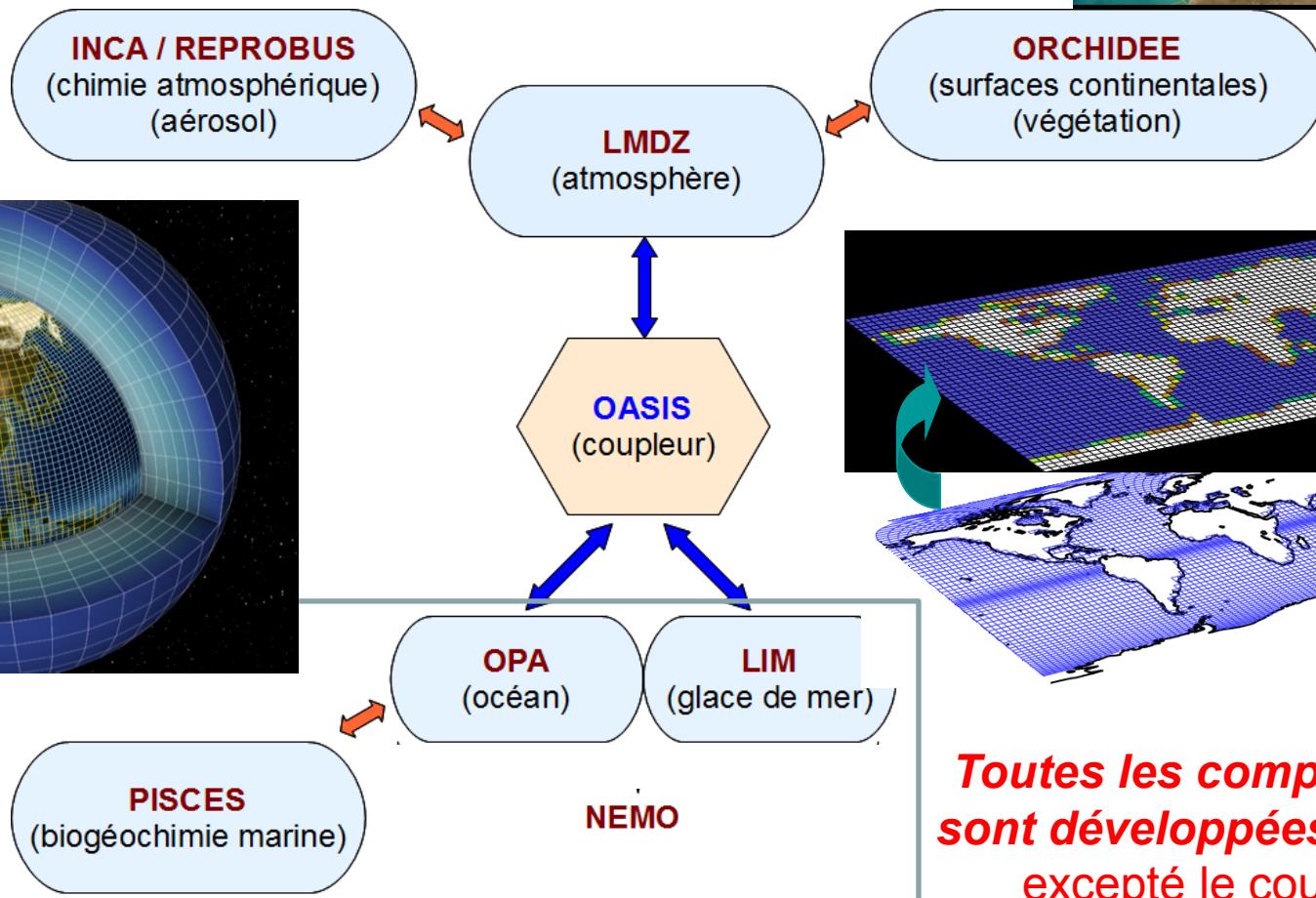
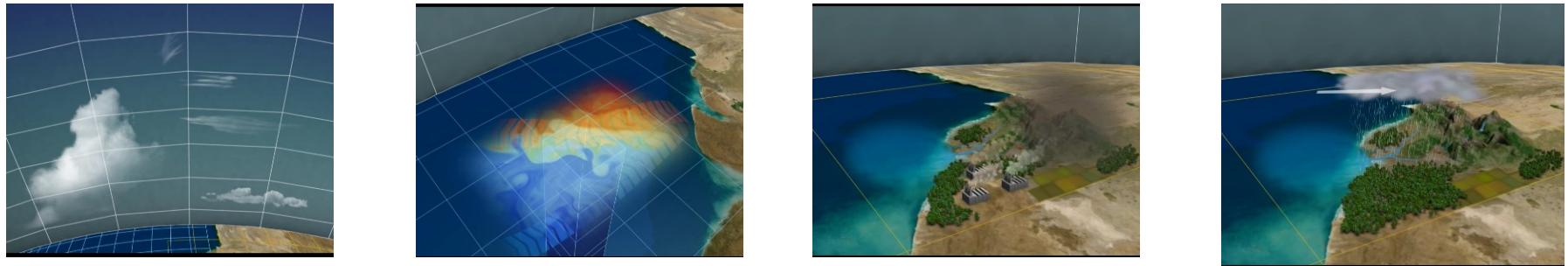
Variabilité-Prévisibilité

# Une activité engagée depuis plusieurs années

## Dynamique scientifique autour du modèle



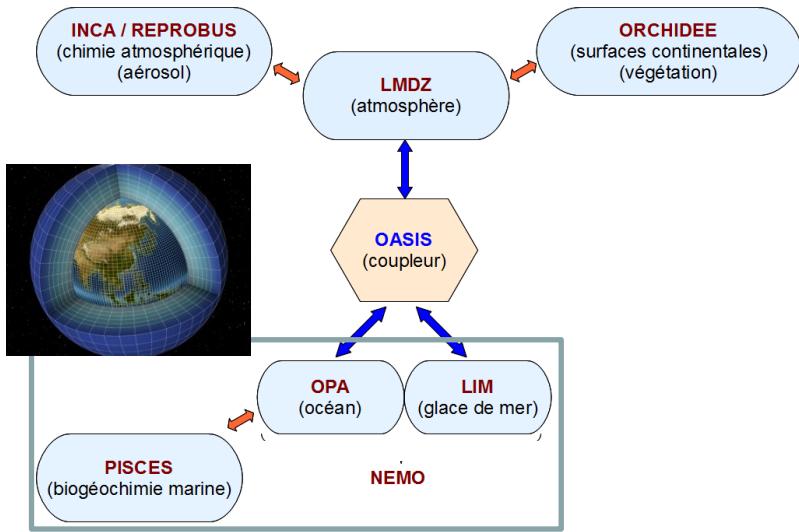
# Le modèle couplé "Système Terre" de l'IPSL



**Toutes les composantes sont développées à l'IPSL**  
excepté le coupleur

# Modèles de l'IPSL pour CMIP5

LMDZ-ORCHIDEE-ORCA-LIM-PISCES-INCA-REPROBUS-OASIS



Earth  
System  
Model

**IPSL-CM5A-LR**

*Basse résolution*

atm:  $3.75^\circ \times 2^\circ$  L39

oce:  $2^\circ$  L31

**IPSL-CM5A-MR**

*Moyenne résolution*

atm:  $2.5^\circ \times 1.25^\circ$  L39

oce:  $2^\circ$  L31

Idem + Nouvelles Paramétrisations atmosphériques



**IPSL-CM5B-LR**

*Basse résolution*

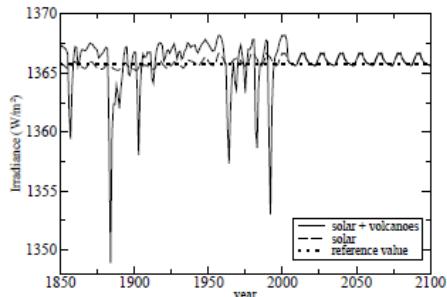
atm:  $3.75^\circ \times 2^\circ$  L39

oce:  $2^\circ$  L31

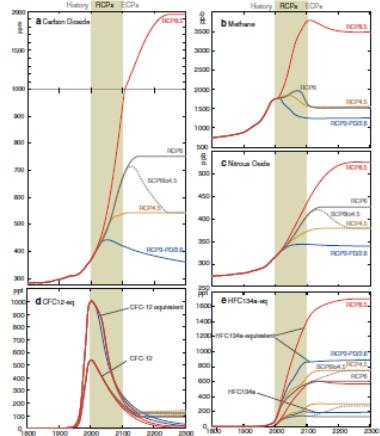
# Le modèle couplé "Système Terre" de l'IPSL

Forçages naturels et anthropiques

Soleil et volcans

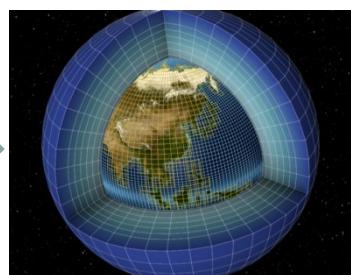


Gaz à effet de serre ou chimiquement actifs

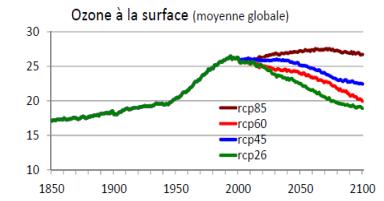


Concentration de CO<sub>2</sub>

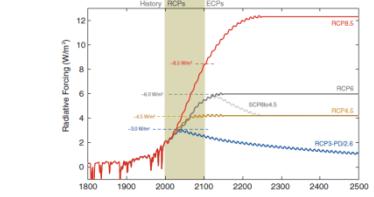
IPSL-CM5A-LR



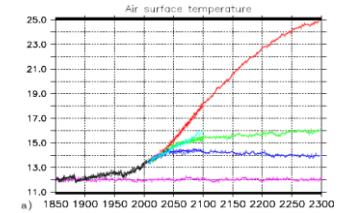
Composition de l'atmosphère



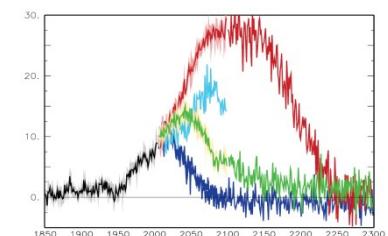
Forçage radiatif



Changement climatique



Émission autorisée de CO<sub>2</sub>

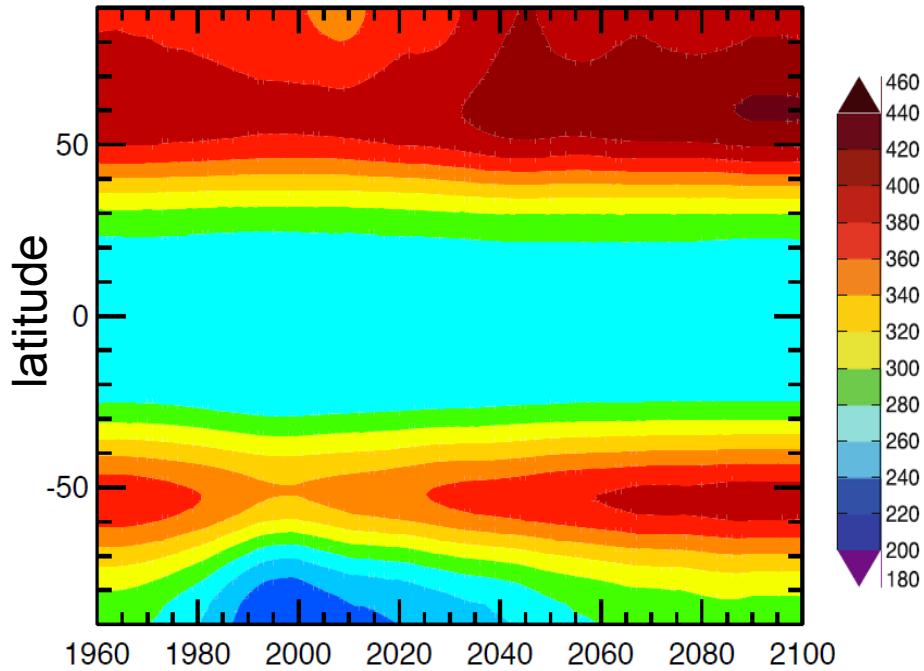


# Calcul des champs d'ozone et d'aérosols

- Calcul des concentrations en fonction des émissions des composés réactifs et des changements climatiques

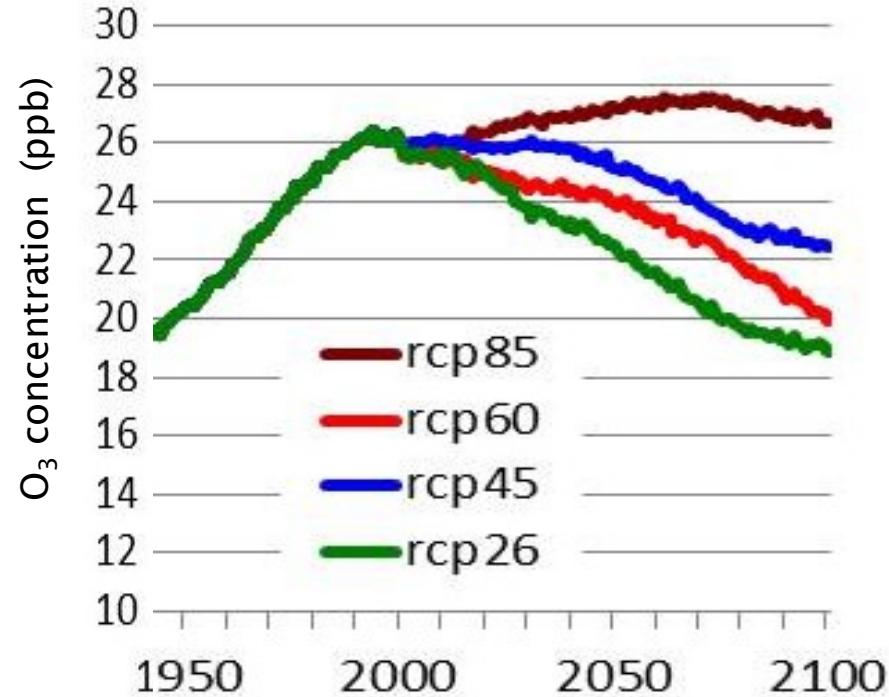
## Moyenne zonale de l'ozone

Ozone total (DU) from CMIP5 for run RCP6.0



[Bekki et al. 2013, Dufresne et al. 2013]

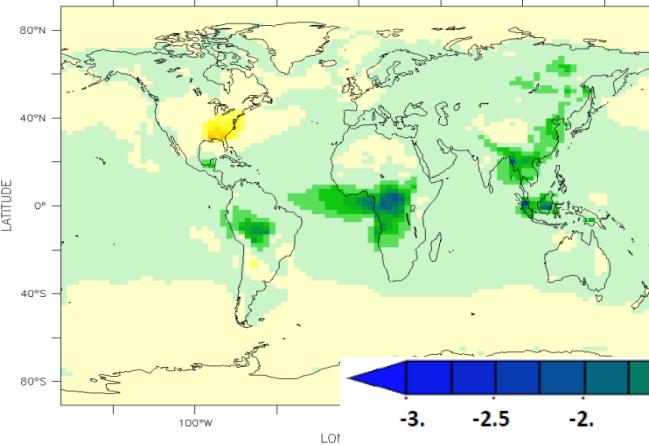
## Ozone moyen en surface



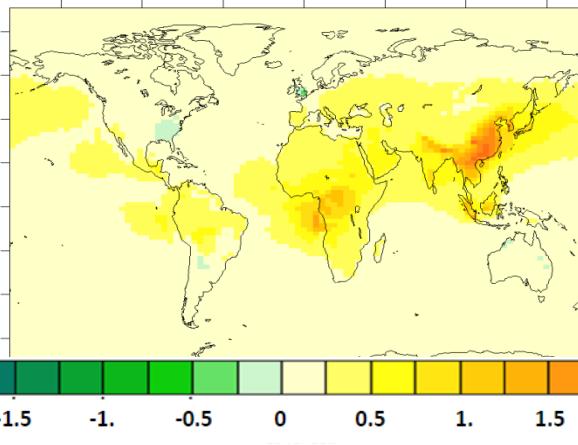
[Szopa et al., 2013]

# Aérosols en 2100      Forçage Radiatif ( $W.m^{-2}$ )

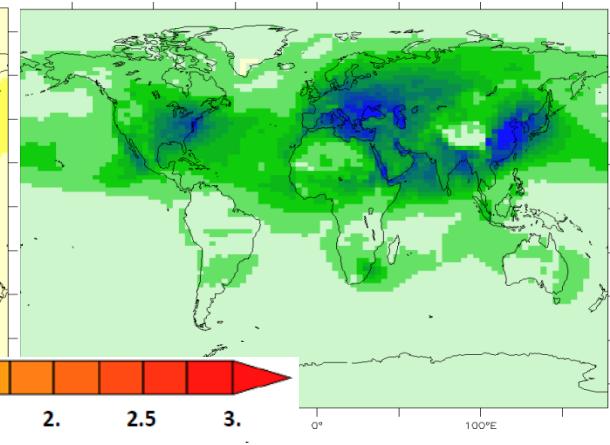
Matière organique



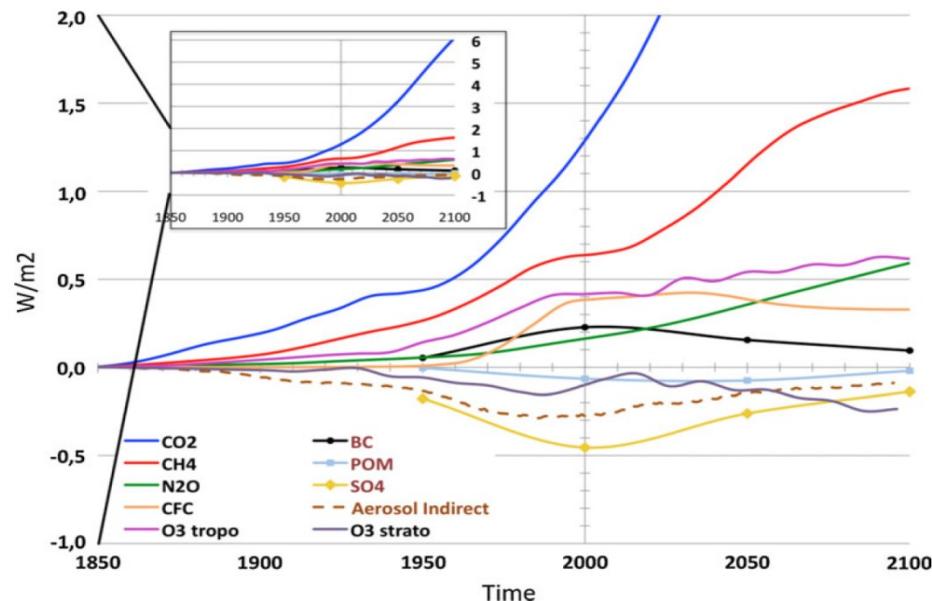
Carbone suie



Sulfates

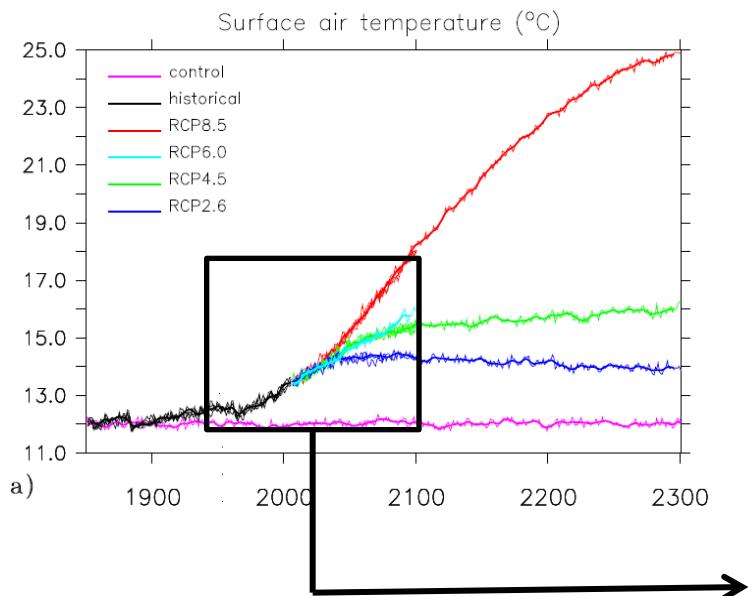


Forçages radiatifs sur la période 1850-2100  
(scénario RCP8.5, modèle IPSL-CM5A-LR)



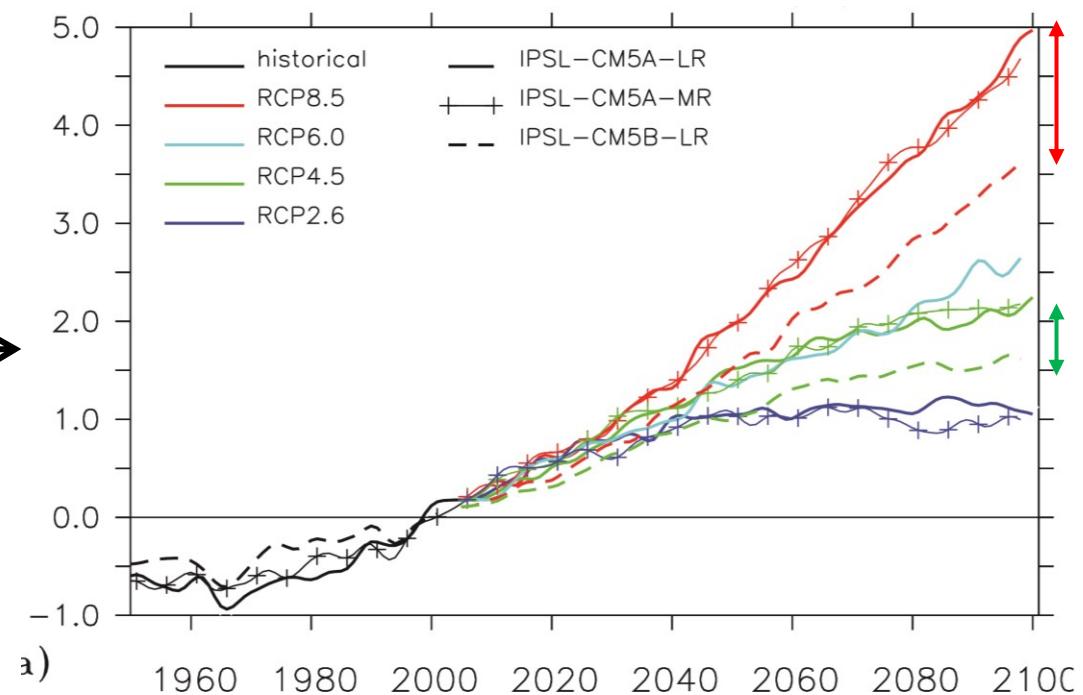
# Moyenne globale de la température de surface

De 1850 à 2300  
modèle IPSL-CM5A-LR

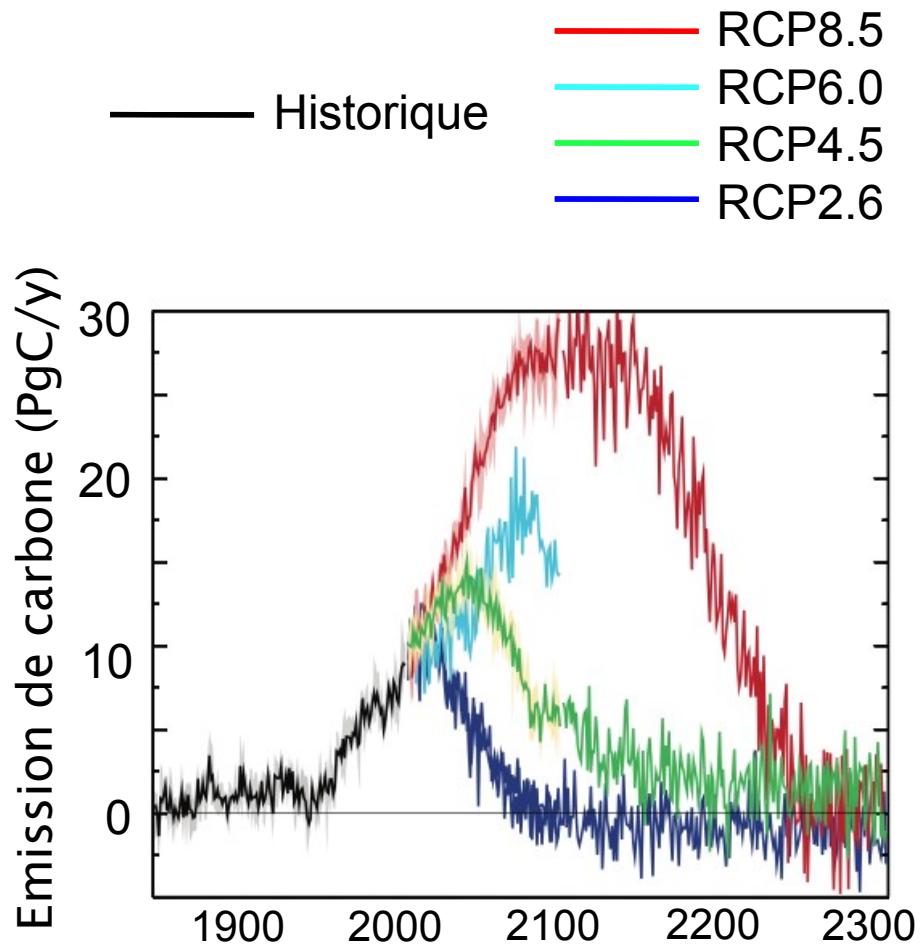
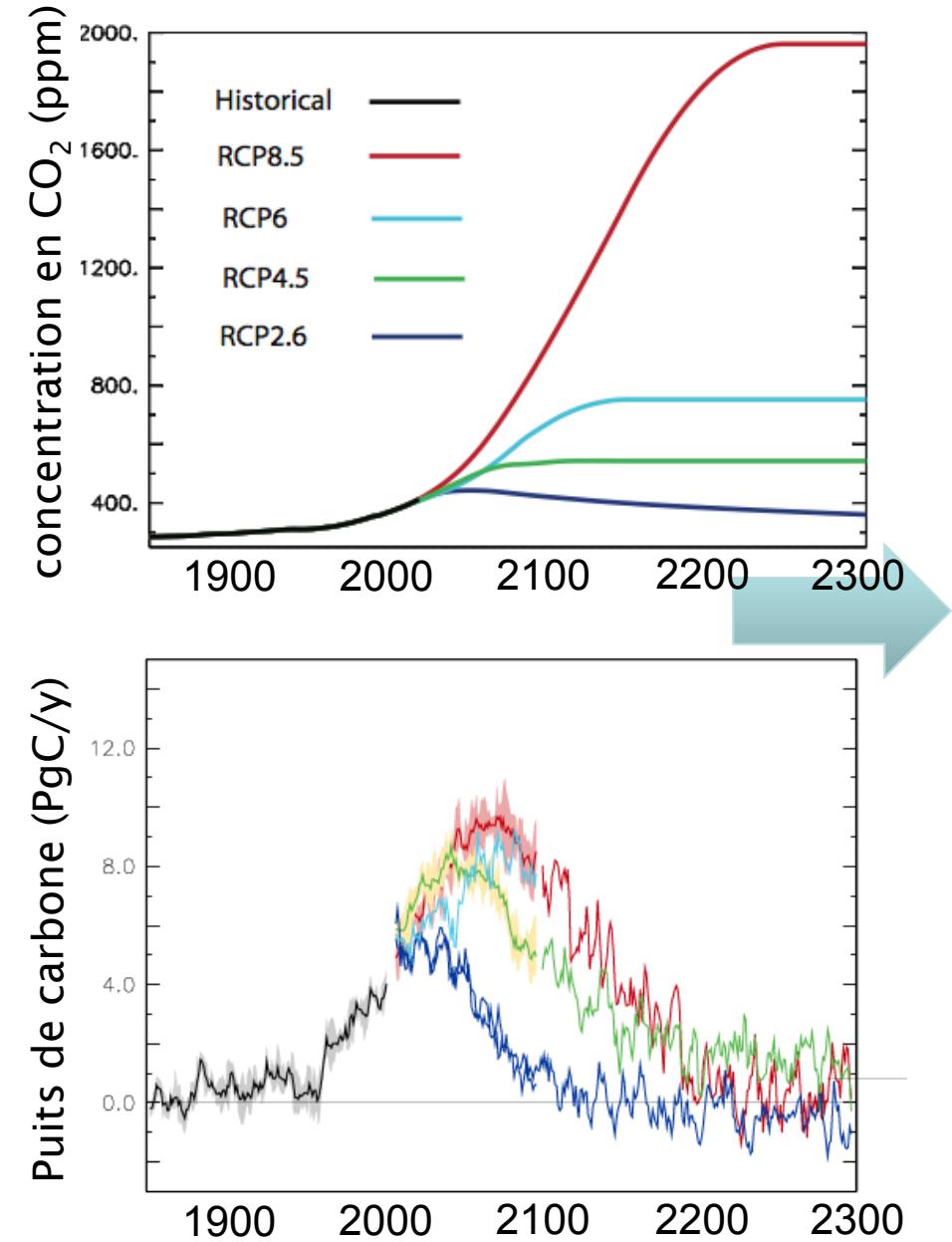


De 1950 à 2100  
Anomalie de température par rapport à la période 1985-2015

— IPSL-CM5A  
- - - IPSL-CM5B

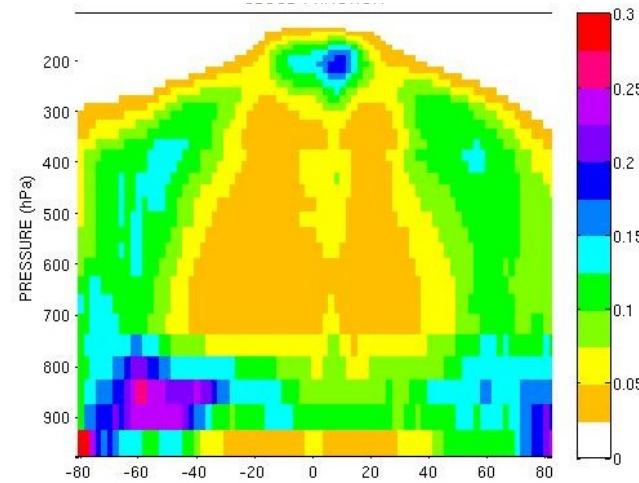


# Les émissions autorisées de CO<sub>2</sub> avec IPSL-CM5

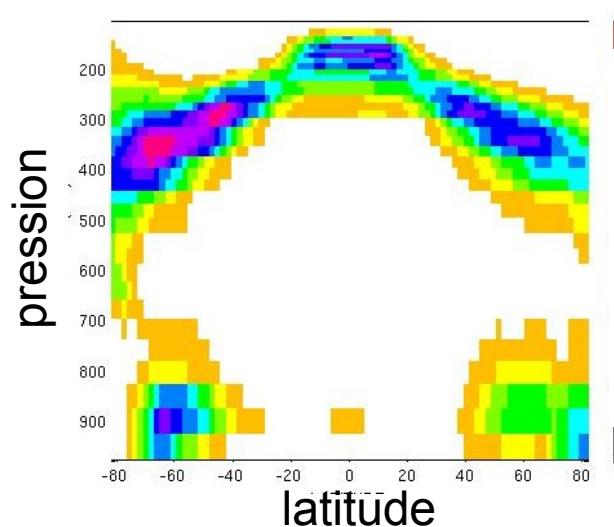


# Évaluation de la structure verticale des nuages CALIPSO – simulateur COSP – projet CFMIP

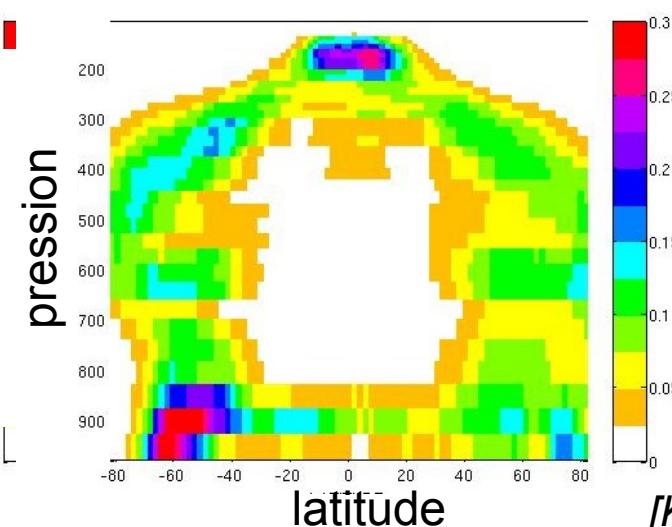
Fraction nuageuse observée (Calipso/GOCCP)



IPSL-CM5A + COSP



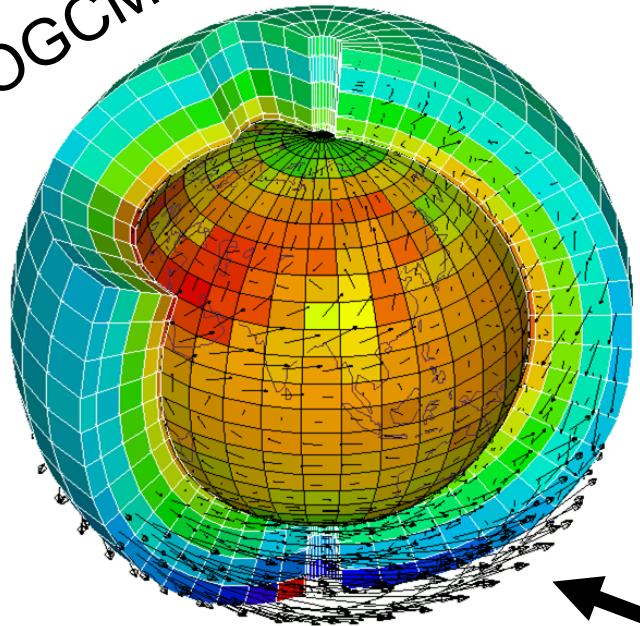
IPSL-CM5B + COSP



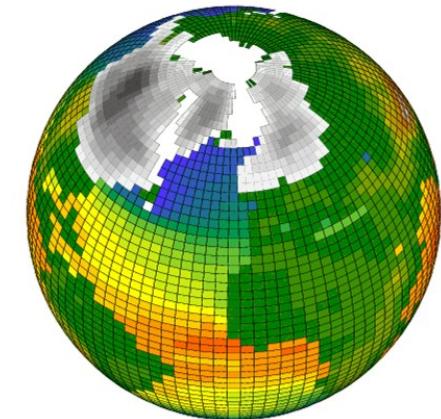
[Konsta et al., smij]

# Simulation du climat du Dernier Maximum Glaciaire

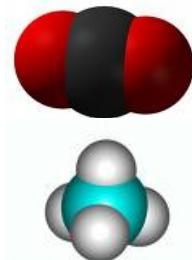
AOGCM



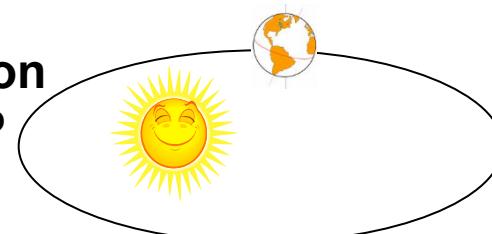
Calottes  
glaciaires



Composition  
atmosphérique  
CO<sub>2</sub>: 185 ppm  
CH<sub>4</sub>: 350 ppb...



Insolation  
21ky BP

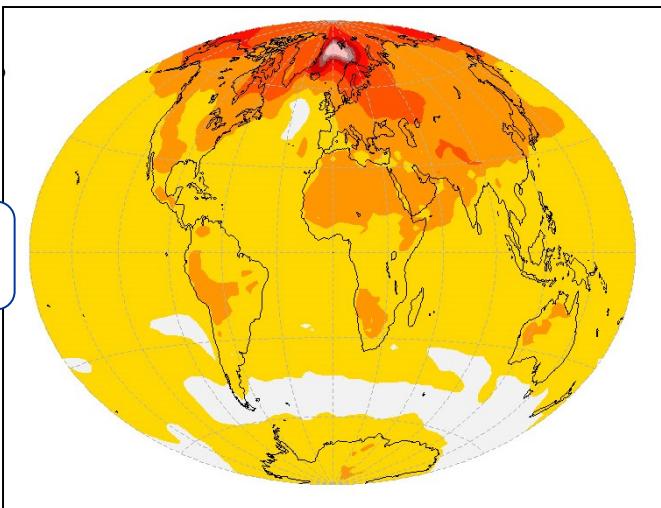


Forçage en gaz à effet de serre ~ climat futur  
Autre forçage majeur: calottes glaciaire

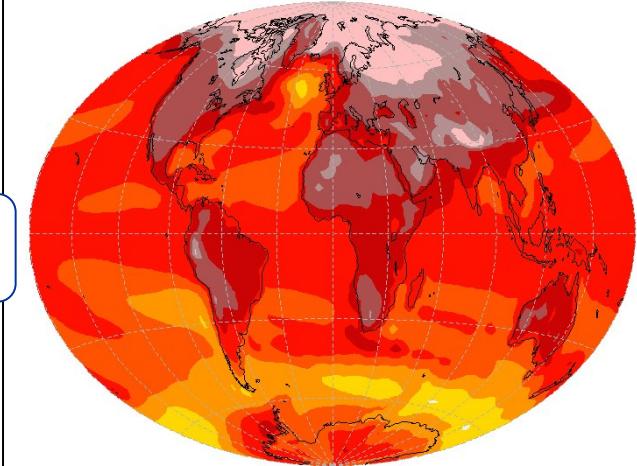
# Changement de température de surface

Différence entre 2100 et 1990

RCP2.6



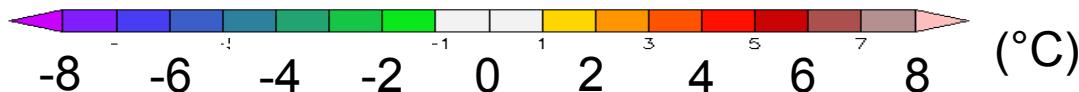
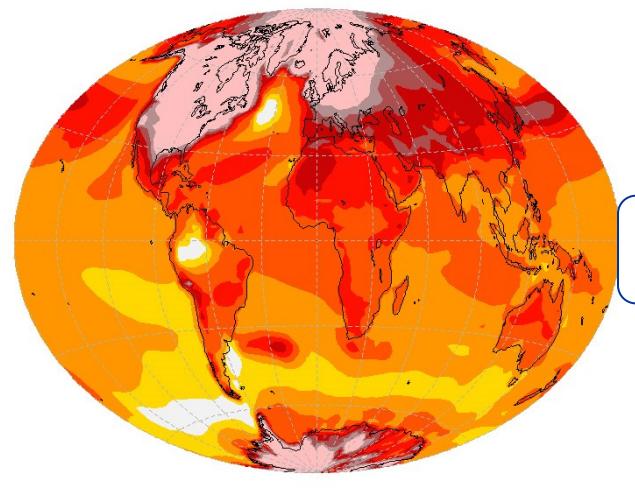
RCP8.5



IPSL-CM5A-LR

Entre préindustriel et  
glaciaire

Glaciaire



# Simulations réalisées avec IPSL-CM5

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	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>19850</b>	<b>130</b>	<b>3440</b>	<b>21</b>	<b>1700</b>	<b>16</b>

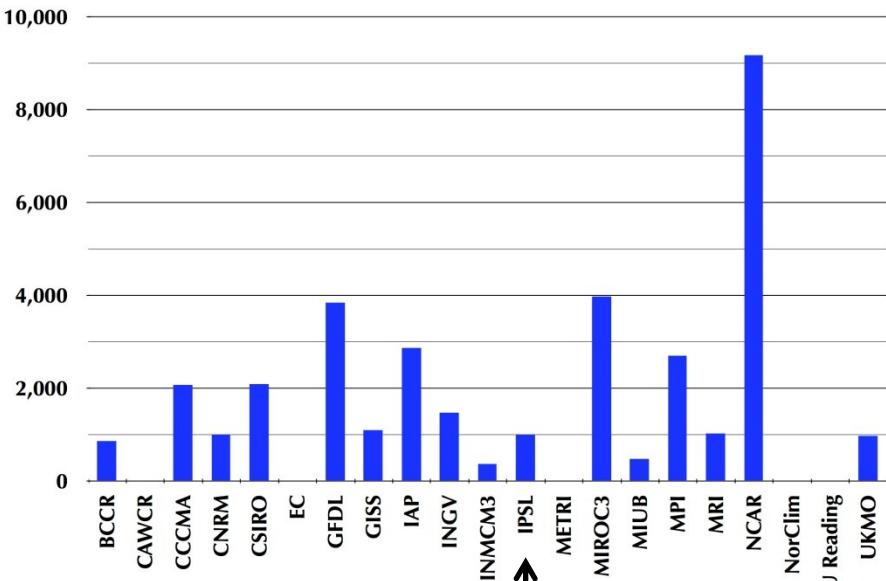
- **Très important travail** de préparation de l'environnement d'exécution
- Un nombre de simulations, de variables, de fichiers, et un volume de données **sans précédent pour nous.**

# Analyse et distribution des données

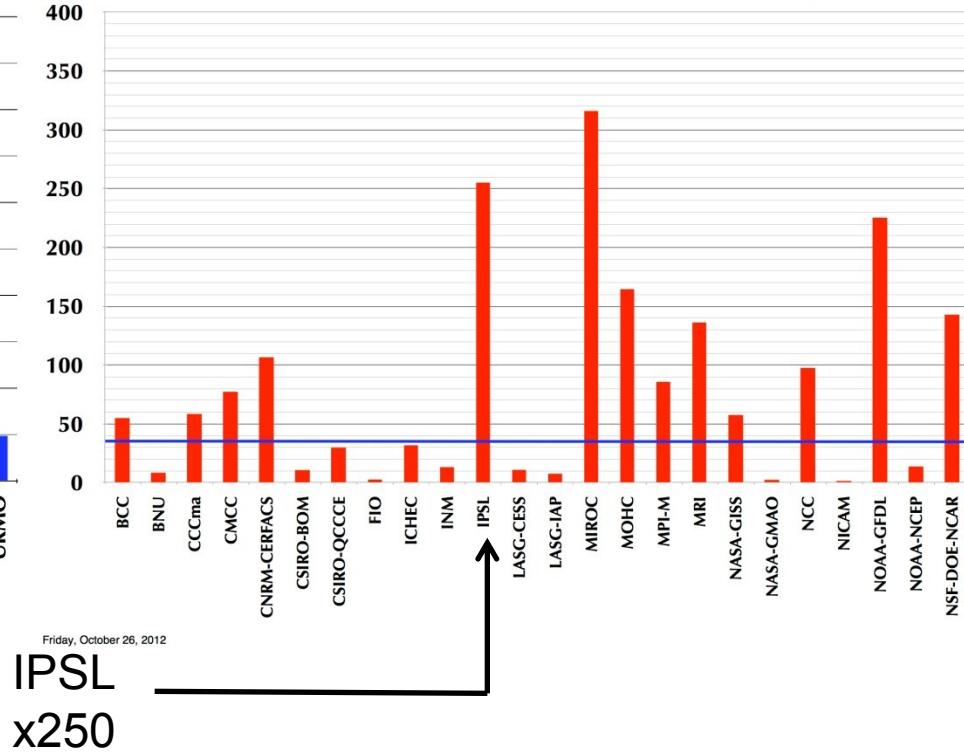
- Plus de variables, fréquence plus élevée
- Plus de type d'expériences
- Simulations d'ensemble
- IPSL- Trois versions de modèle

en moyenne: x30 de CMIP3 à CMIP5

**CMIP3 data volumes by group (GB)**

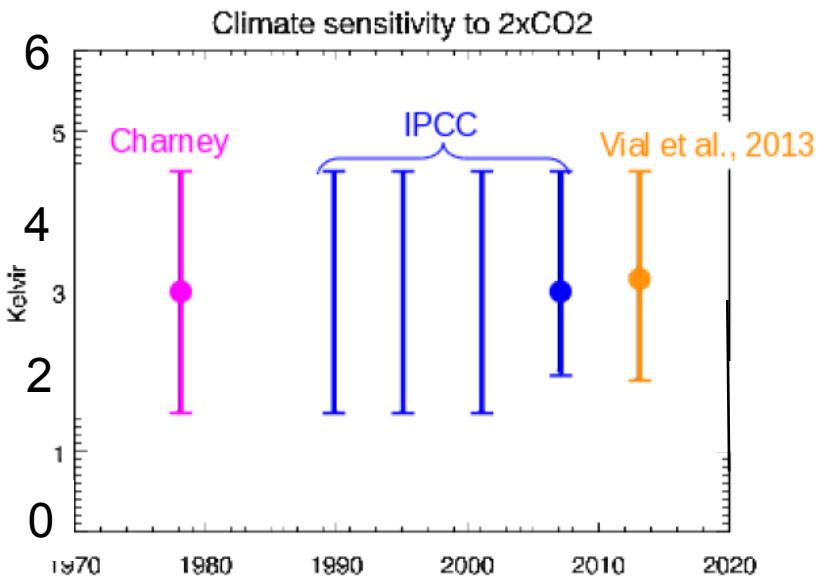


**CMIP5 data volumes by group (TB)**

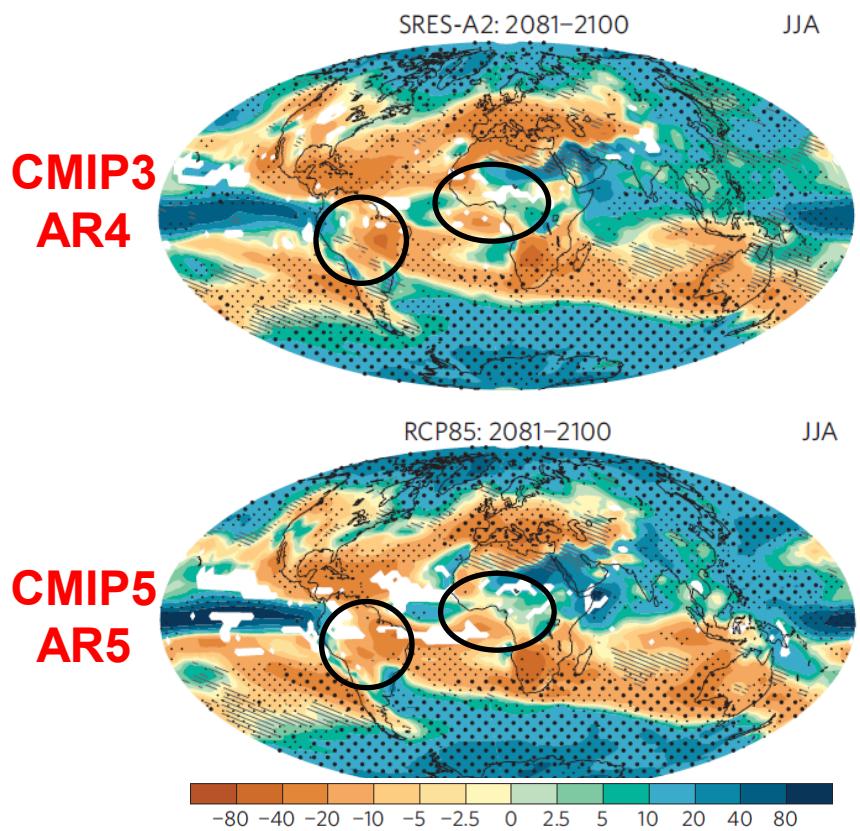


La climatologie des *modèles progresse, mais lentement*. Il reste **des biais importants et récalcitrants** ainsi que des **différences importantes** dans beaucoup de réponses climatiques, même « de base ».

L'incertitude de l'amplitude du réchauffement ne se réduit pas malgré l'importance de cette grandeur



La dispersion sur les changements de précipitations simulés, notamment sur continent, ne se réduit pas



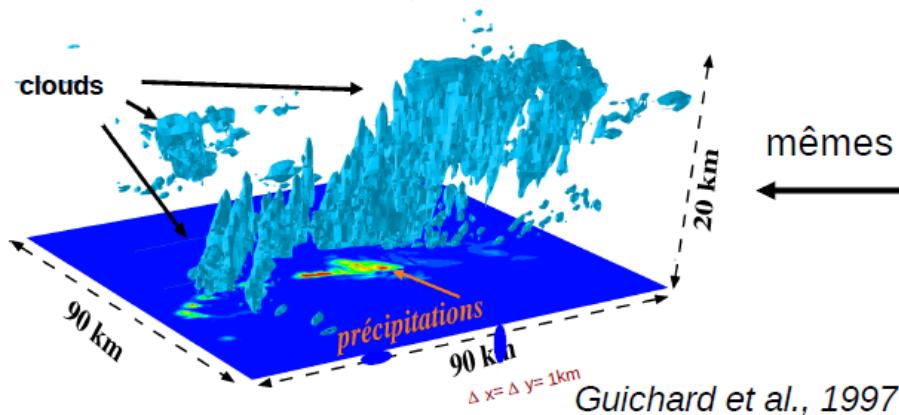
## Éléments de prospective

- Mieux représenter les processus
- Améliorer la climatologie du modèle (réduire les biais)
- Mieux comprendre le climat et ses variations
- Affiner les échelles spatiales
- Consolider la plateforme de modélisation

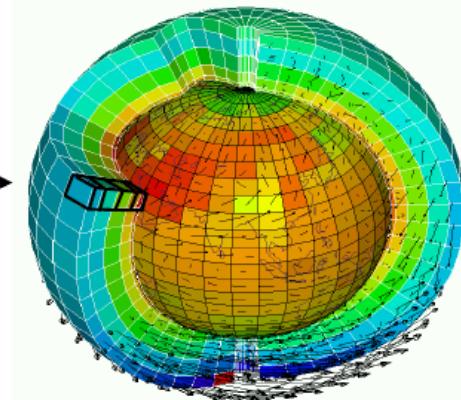
# Mieux représenter les processus

Développement de paramétrisations en se basant sur l'analyse fine des processus physiques

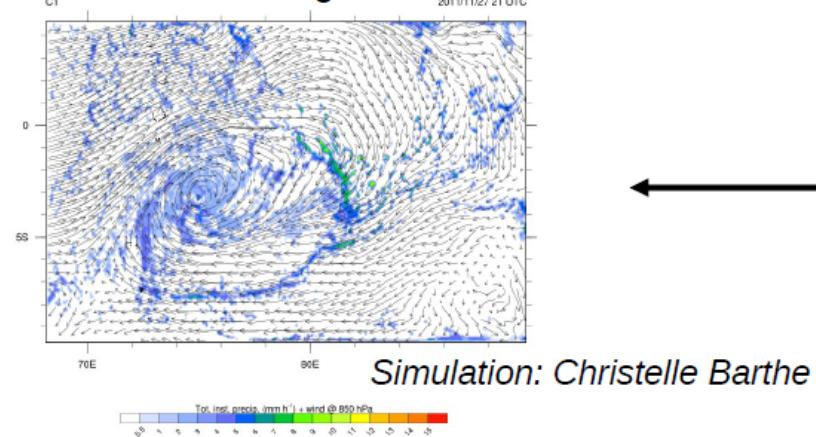
Simulations LES/CRM



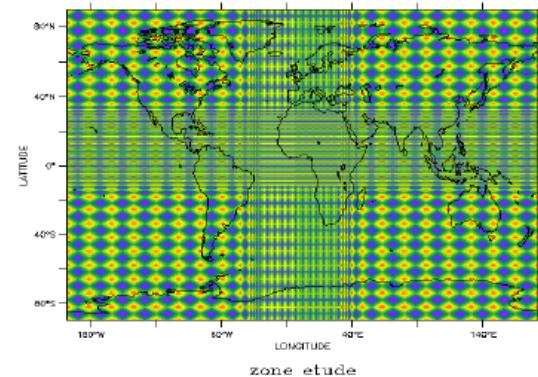
LMDZ en mode unicolonne



Simulations CRM grands domaines



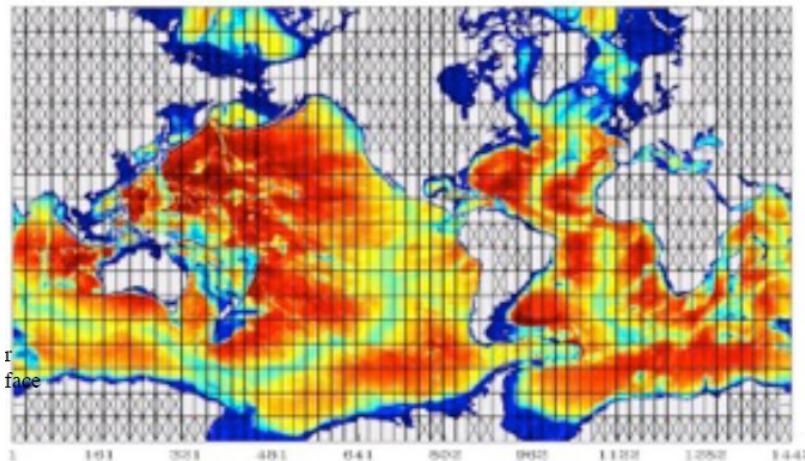
LMDZ en mode zoomé/guidé et/ou initialisé



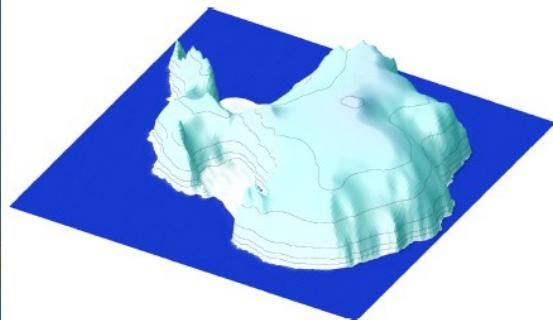
- Cycle diurne, couplage avec la surface
- Intermittence des pluies (déclenchement stochastique de la convection)
- Organisation de la convection
- Micro et macro-physique des nuages
- ....

# Mieux représenter les processus

- Accroissement résolution horizontal  $0.25^\circ$  (et  $1^\circ$ )
- Cycle diurne (75 niveaux verticaux)
- Paramétrisation physique
- Raffinement du maillage dans des régions clés
- Nouveau modèle de glace de mer

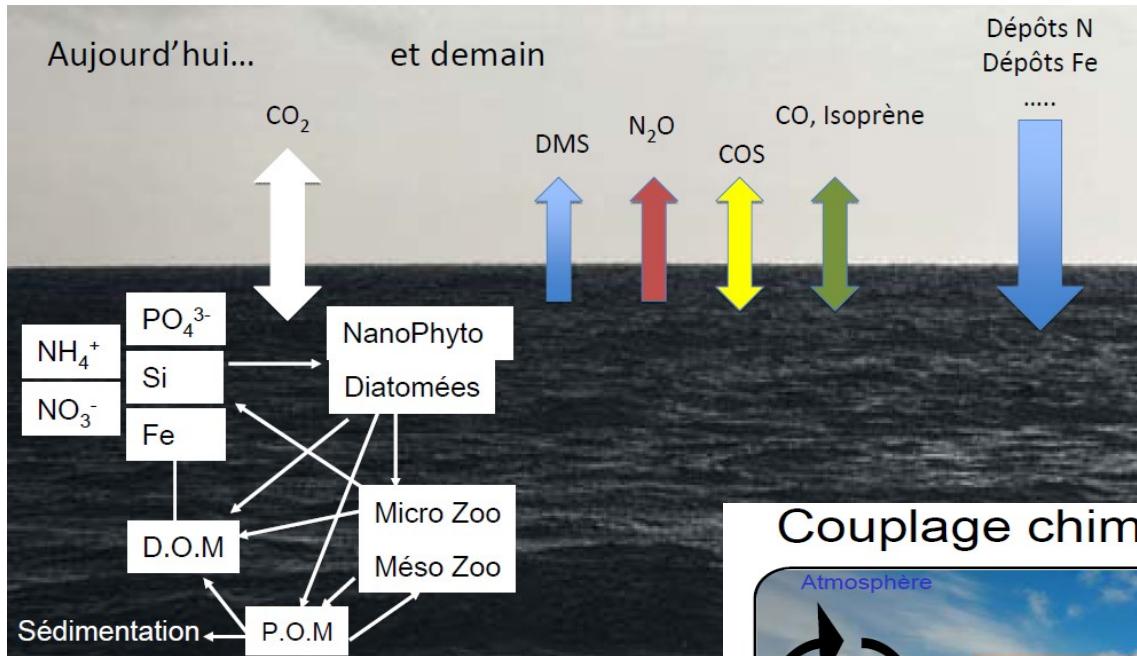


**Groenland Ice-Sheet Model**      **GRISLI**  
**LGGE**      **Antarctic Ice-Sheet Model**



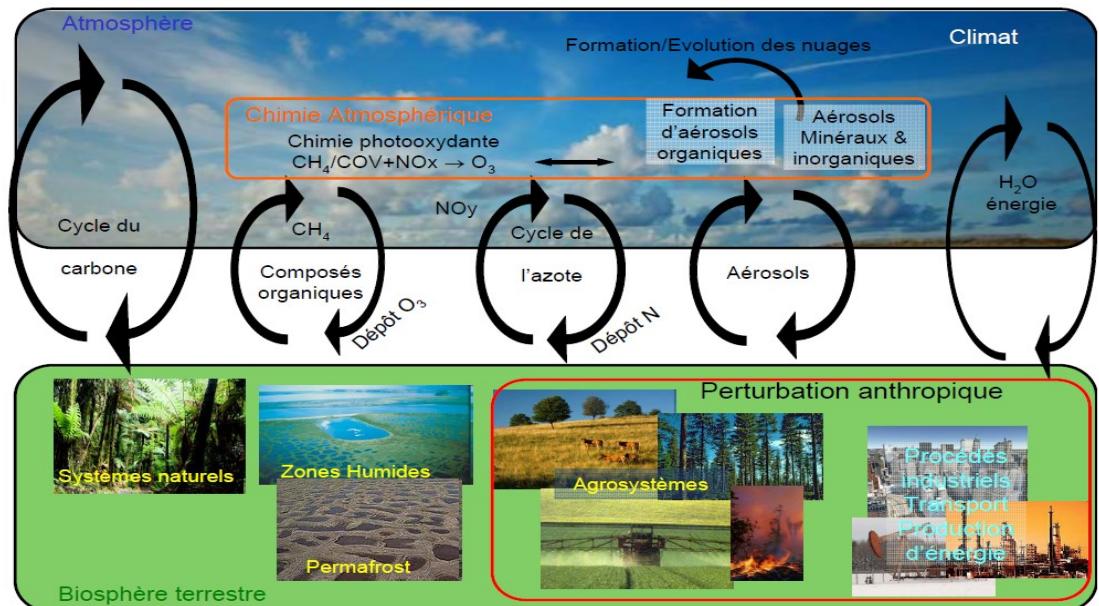
- Prise en compte de la fonte des calottes
- Apparition et transport des icebergs
- Cavités sous les calottes

# Mieux représenter les processus



- Représentation plus complète des phénomènes
- Liens avec les ressources marines
- Liens plus directes avec les aérosols et la chimie

## Couplage chimie – biosphère continentale

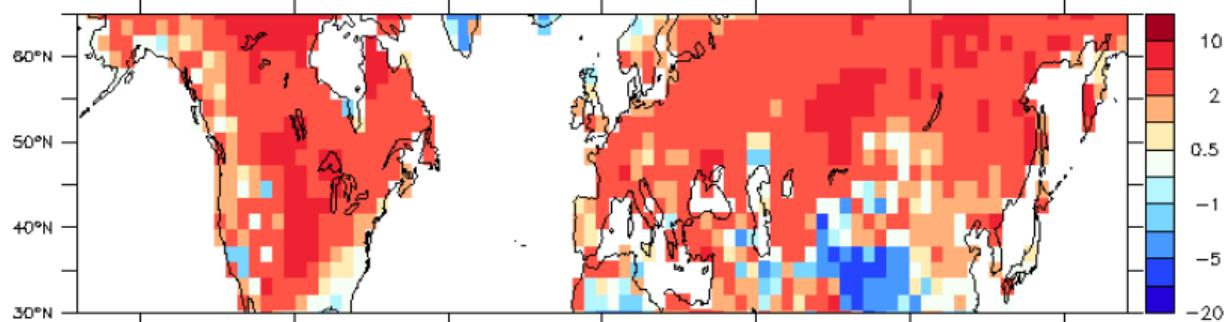


- Nouvelle hydrologie
- Cycle de l'azote
- Feux
- Hautes latitudes (neige, pergélisol...)
- Bilan d'énergie
- Gestions des forêts et des agrosystèmes

# Améliorer la climatologie du modèle

- Plusieurs biais importants n'ont pas été réduits entre CMIP3 et CMIP5.
- Biais dus aux **composantes** et à leurs **couplages**

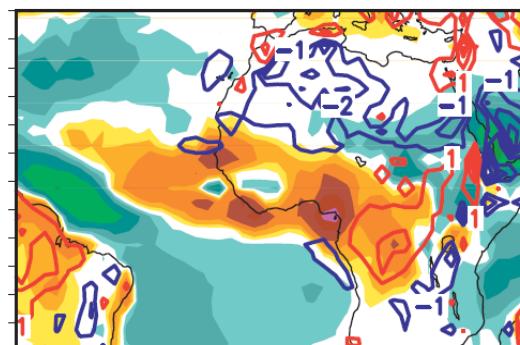
Biais chaud, en été, au dessus des continents



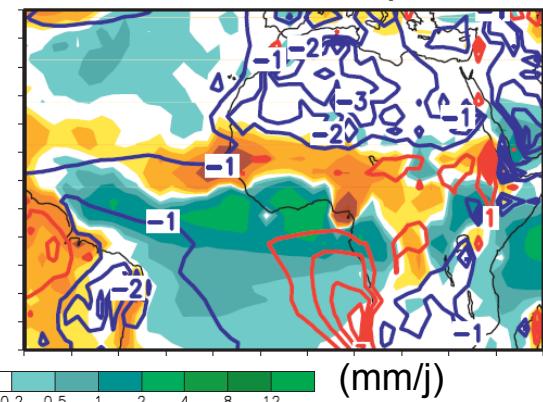
Précipitations en Afrique de l'Ouest (juillet-septembre)

biais (moyenne multi-modèles)

SST imposée



atm-océan couplés

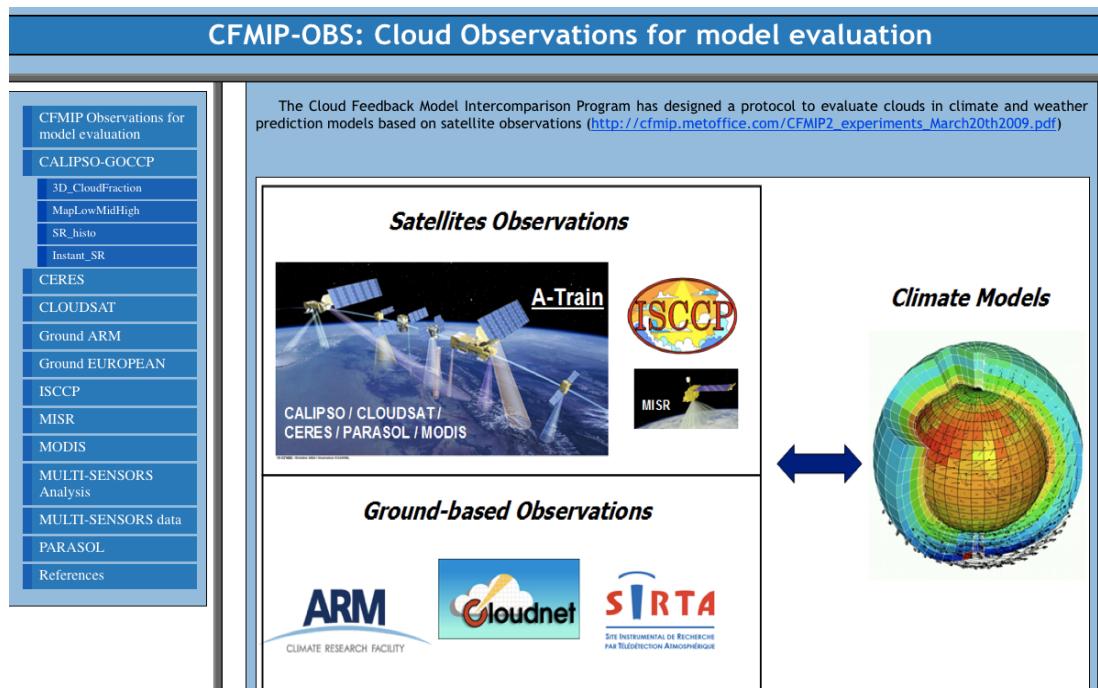


- Importance des écarts en changement climatique
- Peu d'amélioration entre CMIP3 et CMIP5

# Améliorer la climatologie du modèle

## Importance de l'ajustement des modèles

- Méthodologie: par composante, en mode « guidée », couplé
- Prévision « court terme », croissance rapide des biais
- Outils d'évaluation
- Cohérence avec les observations

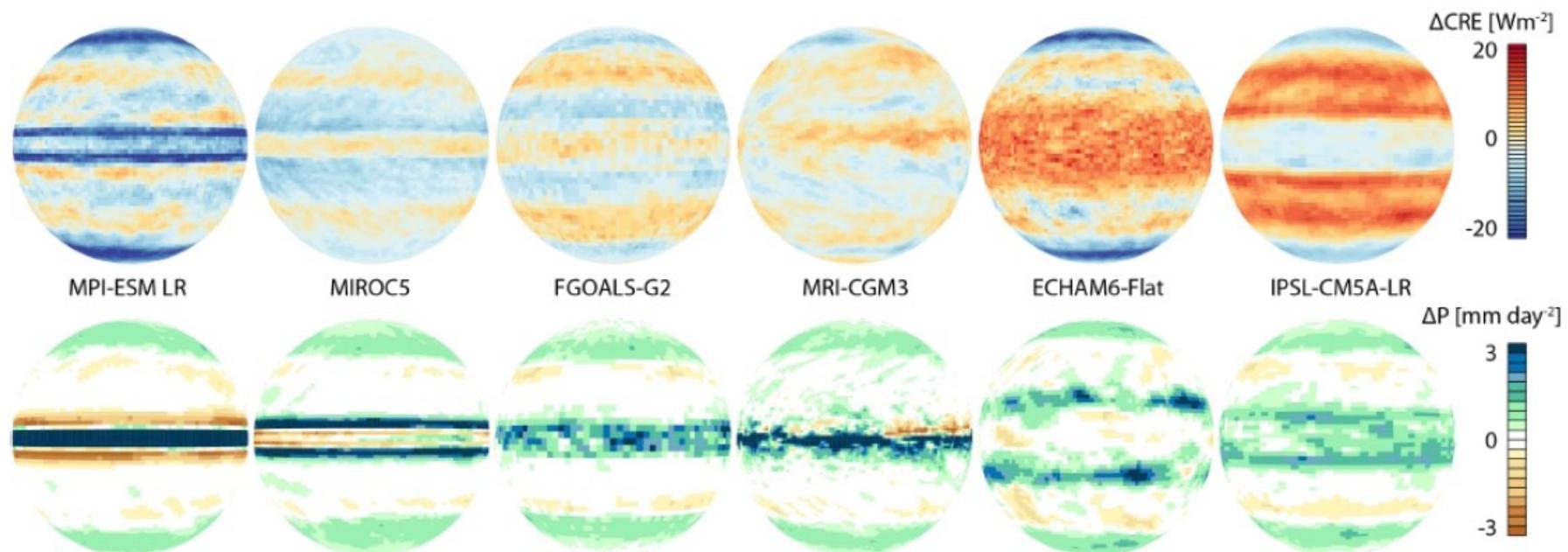


On the ESGF and also on <http://climserv.ipsl.polytechnique.fr/cfmip-obs/>

# Mieux comprendre le climat et ses variations

- Analyse des différences et ressemblances entre les réponses des modèles, notamment pour des expériences idéalisées

Réponse des nuages et des précipitations à un accroissement uniforme de température de 4K pour des aqua-planètes

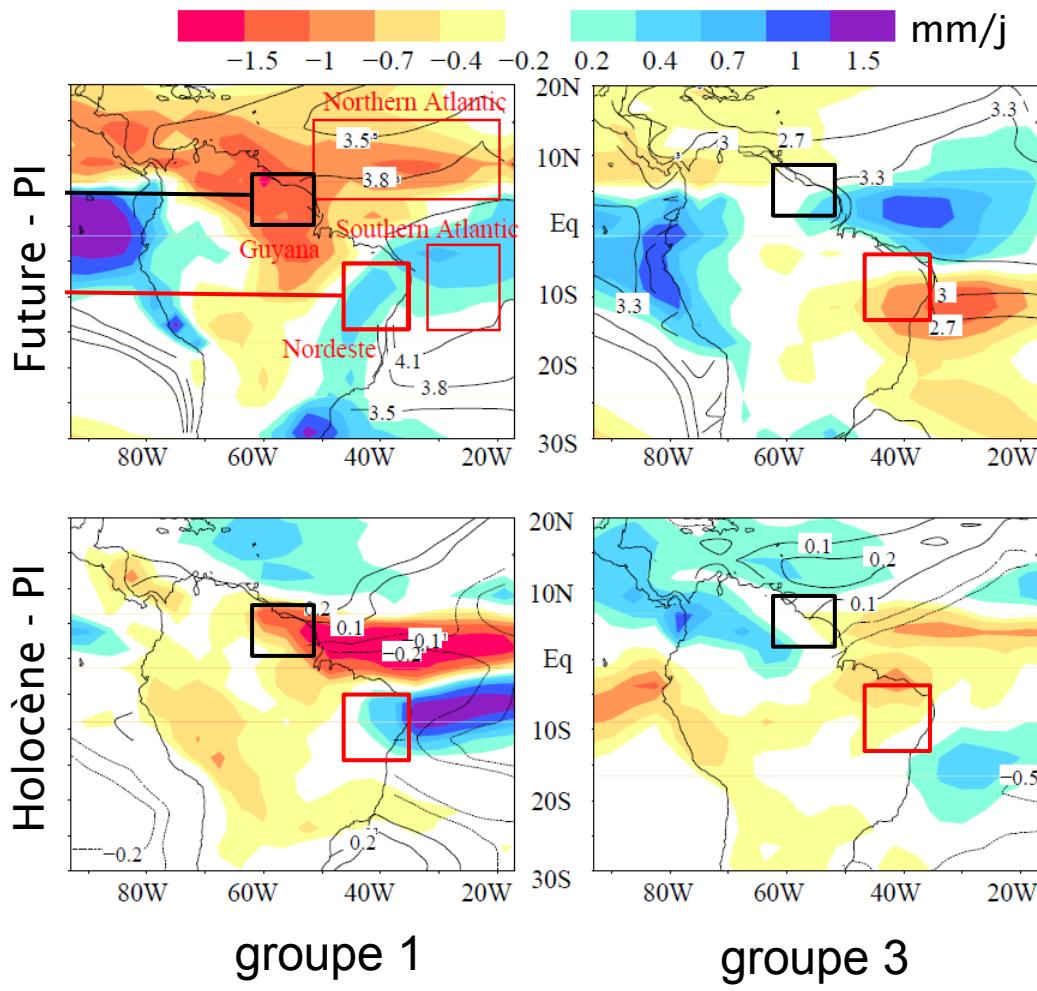
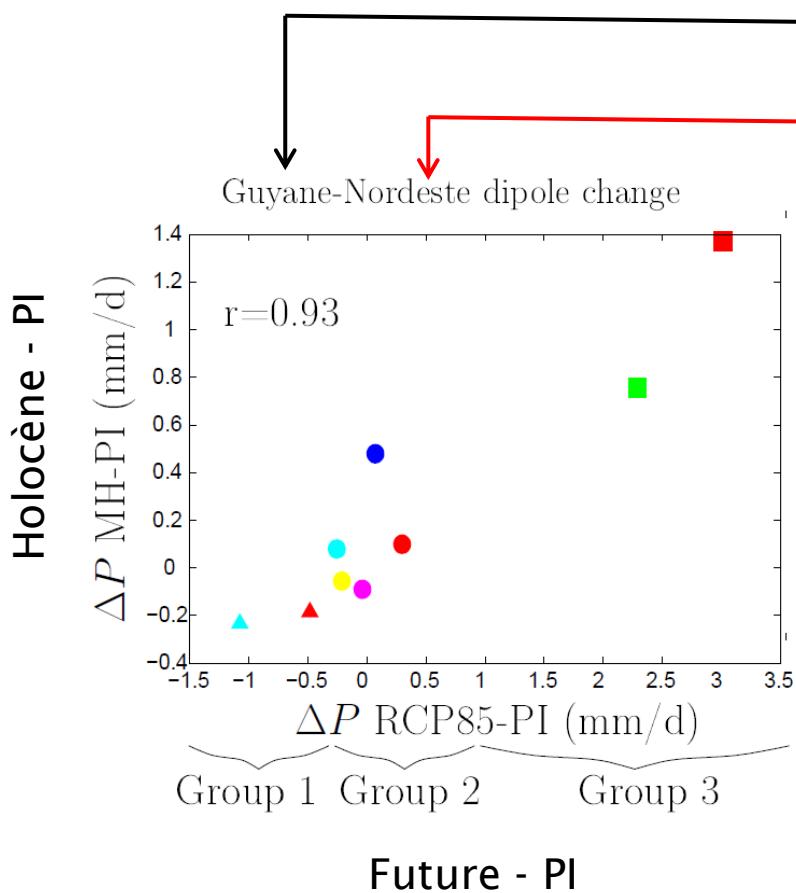


[Stevens & Bony, 2013]

Une partie importante de la dispersion des résultats provient de phénomènes physiques « de bases » (interaction circulations – vapeur d'eau – température)  
=> « Grand challenge » du WCRP: nuages, circulation et sensibilité climatique

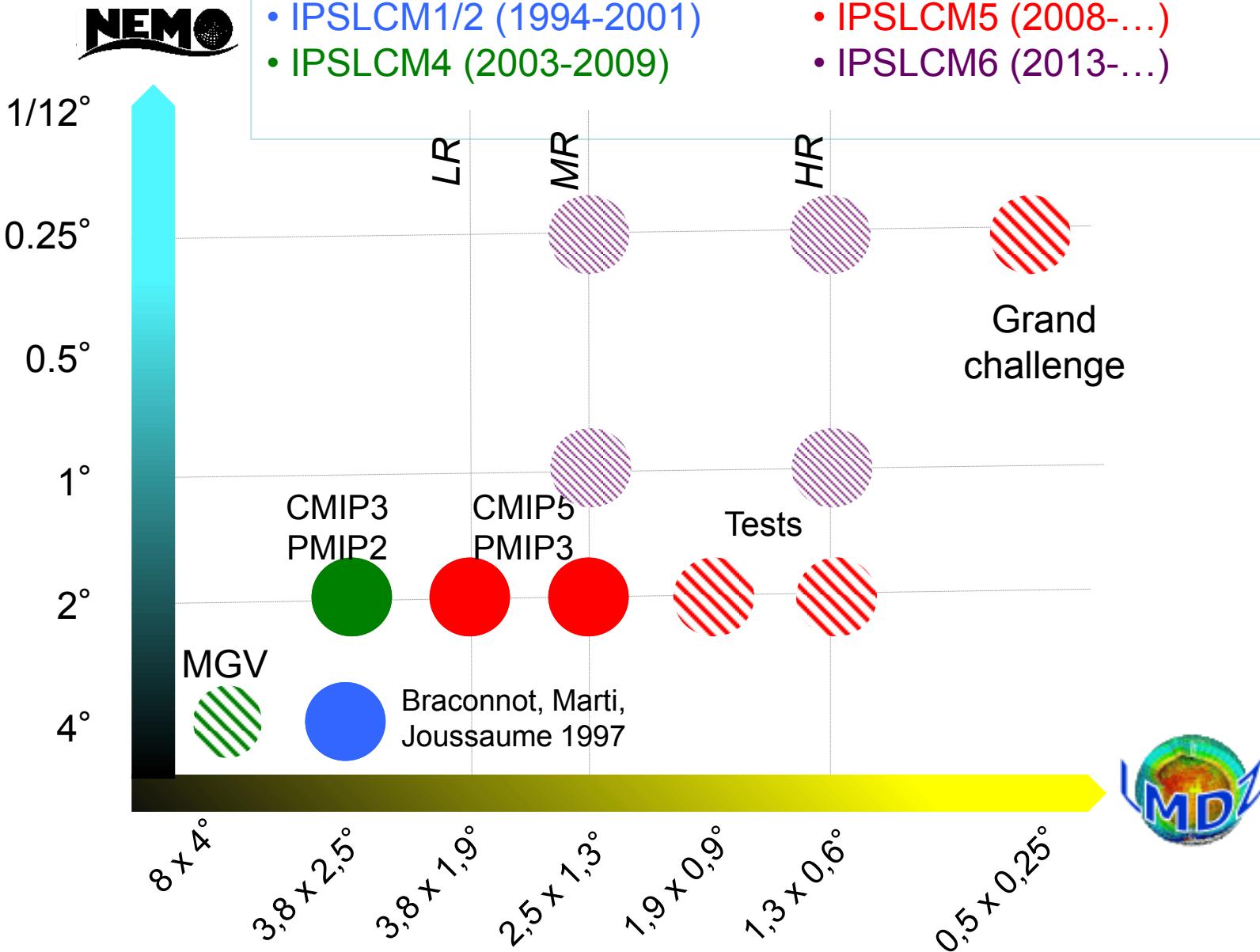
# Mieux comprendre le climat et ses variations

## Changement de précipitations Holocène moyen - préindustriel - future (RCP8.5)



[Schmidt et al, 2013]

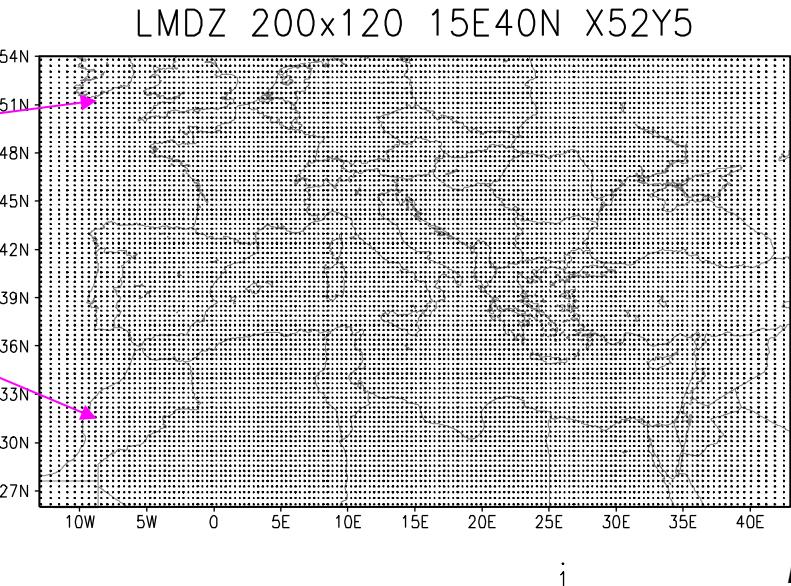
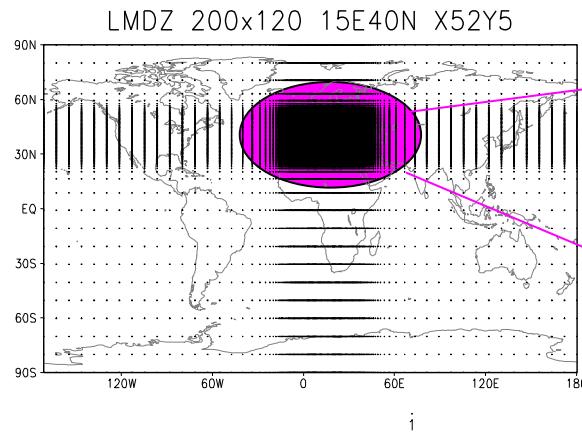
# Affiner les échelles spatiales



# Affiner les échelles spatiales

Océan: emboîtement de domaine

Atmosphère: zoom



[L. Li]

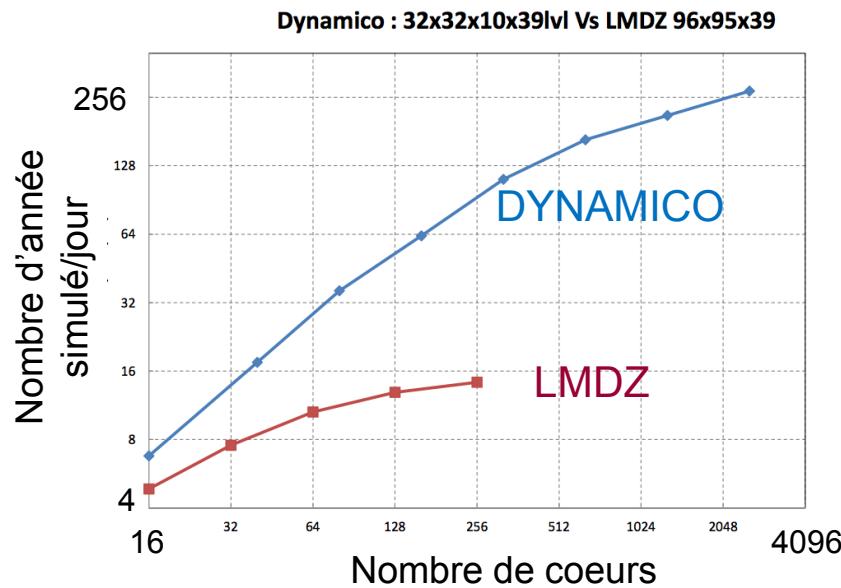
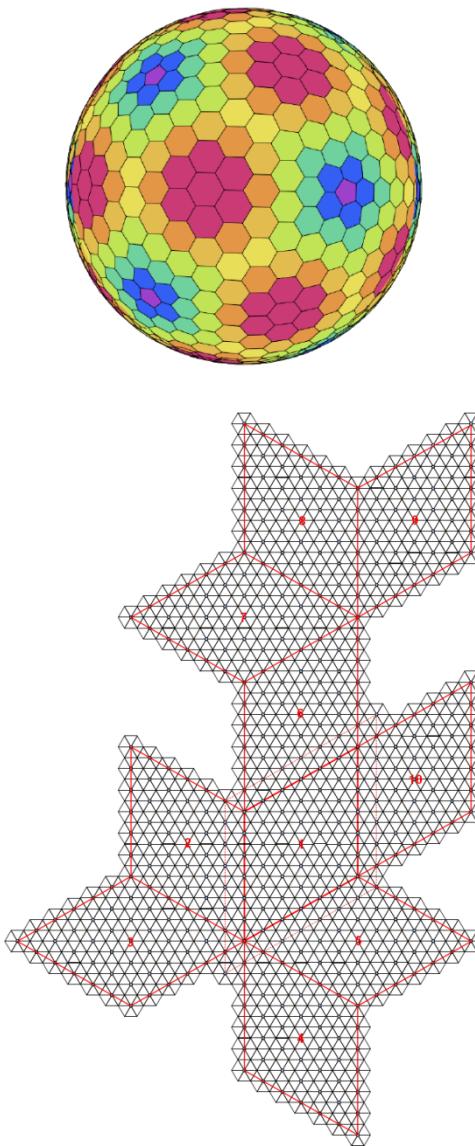
Exemple de domaines:

- Méditerranée
- Europe
- Afrique de l'ouest
- Inde
- Chine – Asie sud est
- Amérique du Sud
- Antarctique
- Groenland

Extension:

- Automatisation des outils
- ESM (chimie – aérosols...)
- Couplage avec l'océan (Afrique de l'ouest- golf de Guinée, Arctique?)

# Nouveau cœur dynamique icosaédrique DYNAMICO



degrés	nb cœurs	année/j
3	320	<b>100</b>
1	1 280	<b>20</b>
$\frac{1}{2}$	11 520	<b>17</b>
$\frac{1}{4}$	81 920	<b>14</b>

- Grille étirée
- -2 ans: non hydrostatique
- rendre le tout opérationnel pour le modèle couplé de l'IPSL

# Consolider la plateforme de modélisation

- Suivre l'évolution des composantes
- S'adapter aux nouveau calculateurs (parallélisme...)
- Fiabiliser la réalisation de simulations (superviseur de simulations, simulations d'ensemble,...)
- Faciliter le traitement et l'analyse des données, l'évaluation des modèles
- Faire face à l'explosion du nombre et du volume des données

## Projet ANR méthodes numériques CONVERGENCE(2013-2017)

T0 : management	
<b>T1 : platform</b> ensemble of tools different configurations different resolution set of simulations set of diagnostics assessment	<b>T2 : towards a high-resolution coupled model</b> • Improving coupled model parallelism in terms of computing and memory • Managing efficiently input and restart files • Integrating parallel interpolation mechanisms in XIOS • Parallel component coupling 
 IPSL implementation	 Infrastructure for the European IS-ENES Project
 GAME-CERFACS implementation	<b>T3 : runtime environments</b> • Process assignment • Optimization, Load balancing • Climate Simulations Supervision  Infrastructure for the European IS-ENES Project
	<b>T4 : Big Data management and analytics of Climate Simulations</b> • XIOS implemented within project models • XIOS a bridge towards standardisation • Data and metadata services • Big Data Analytics  es-doc Earth System Documentation ESGF Earth System Grid Federation Infrastructure for the European IS-ENES Project
 Infrastructure for the European IS-ENES Project	<b>T5 : CliMAF: a framework for climate models evaluation and analysis</b> • General driver and upstream user interface • Services layer • Visualization tools • Evaluation and monitoring diagnostics  EMBRACE Infrastructure for the European IS-ENES Project

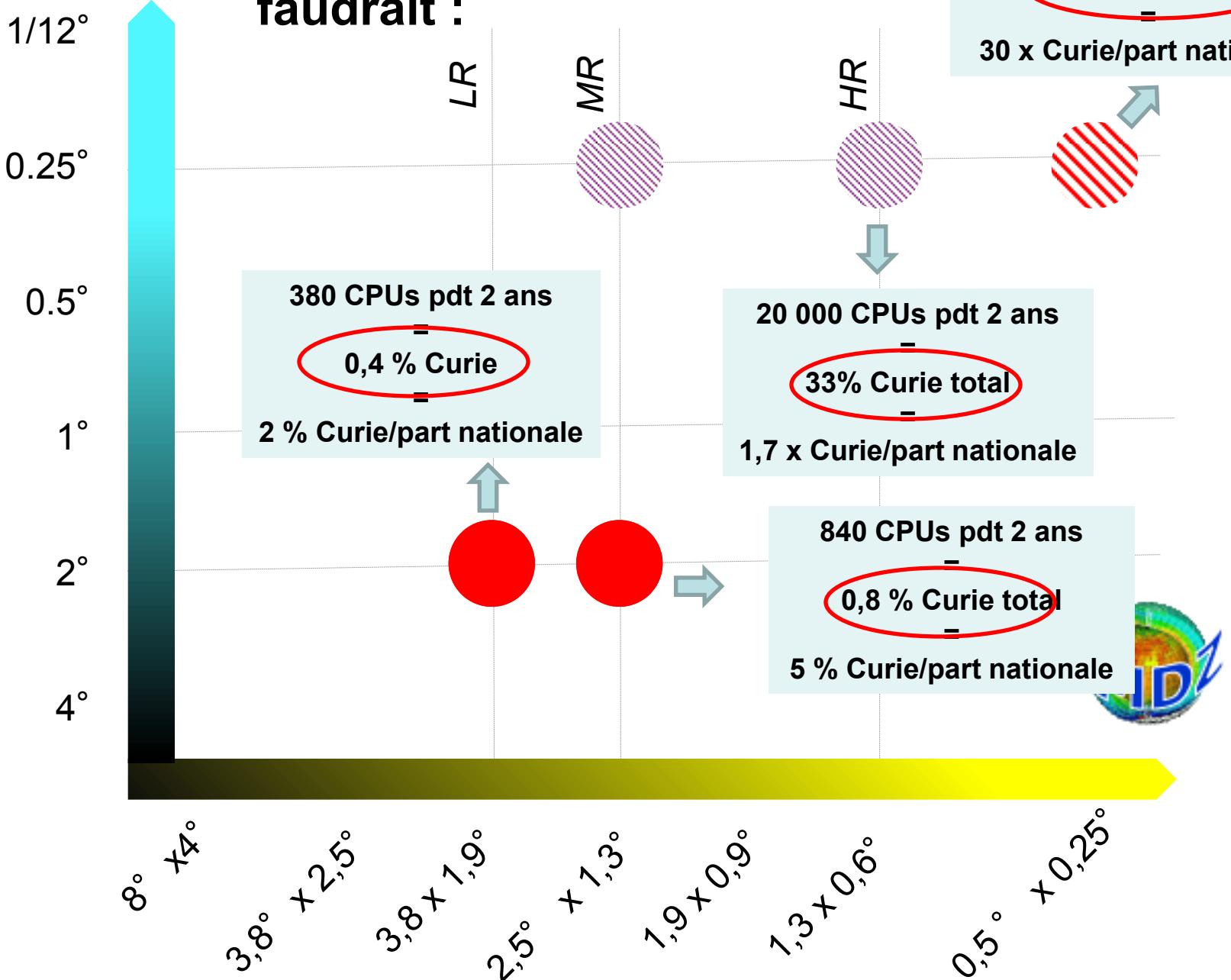


# Pour faire CMIP5 (calcul), il faudrait :

500 000 CPUs pdt 2 ans

=  
6 x Curie total

=  
30 x Curie/part nationale



## En guise de conclusion

*Importance des résultats obtenus grâce*

- *à des expertises variées et partagées,*
- *une bonne articulation entre objectifs scientifiques et développement des modèles et outils,*
- *un très fort engagement des personnes impliquées*
- *aux soutiens reçus.*

On dispose d'un outil de modélisation solide et complet, permettant d'agréger *des sujets de recherche variés*

***Forte priorité pour l'amélioration de la climatologie du modèle***  
*(réduction des biais)*

## En guise de conclusion

***Une représentation plus « physique » des phénomènes*** dans les modèles et des méthodologies adaptées (guidage, simulateurs d'observable) ***permettent de renforcer les liens avec les observations***

***De nouvelles questions scientifiques*** et de nouveaux besoins de développements ***émergent des nouvelles préoccupations*** ou d'exigences plus forte : moyenne, propriétés stat(dont extrêmes), séquence temporelle (persistance, succession...), distribution géographique, effet locaux

***Très fort besoin d'améliorer la représentation des processus et d'approfondir notre compréhension des phénomènes climatiques***



A suivre...