

Modélisation du climat : défis, méthodes et exemples de résultats récents

Marie-Alice Foujols : foujols@ipsl.jussieu.fr

6^{èmes} journées mésocentres, 19 septembre 2013

Merci à Sandrine Bony, Arnaud Caubel, Sébastien Denvil, Thomas Dubos, Jean-Louis Dufresne, Sylvie Joussaume, Olivier Marti, Yann Meurdesoif, Karim Ramage, Philippe Weill

Plan

- Présentation de l'IPSL et du pôle de modélisation
- Les sciences du climat
- Résultats récents
- Eléments de prospective
- Ecosystème : calcul, stockage, analyses, réseau



Les laboratoires et les tutelles de l'IPSL



THEMES SCIENTIFIQUES ET APPROCHES



ENVIRONNEMENT GLOBAL DE LA TERRE ET ENVIRONNEMENTS PLANETAIRES

(passé, présent et évolution future aux échelles locales, régionales et globales)

- climat
- composition chimique (phénomènes naturels et anthropiques)
- interactions
- ionosphère-magnétosphère
- planétologie

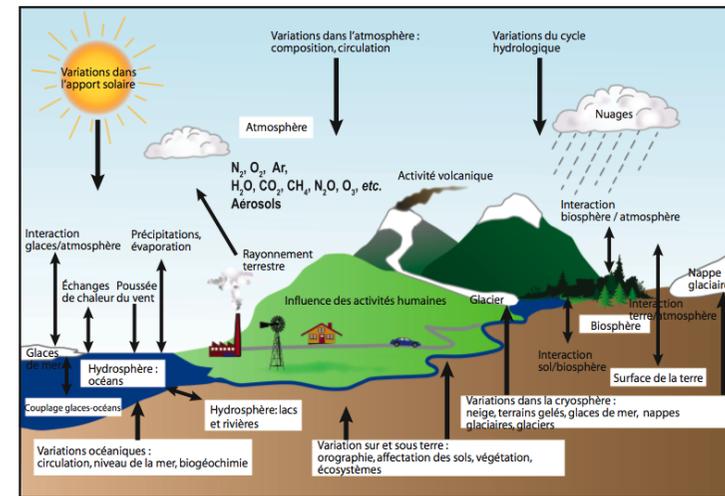
EXPERIENCE, THEORIE, MODELISATION

- expériences (sol, avions, ballons, bateaux, satellites)
- observatoires permanents
- modélisation (processus, simulation numérique)

Plan

- Présentation de l'IPSL et du pôle de modélisation
- **Les sciences du climat**
- Résultats récents
- Éléments de prospective
- Ecosystème : calcul, stockage, analyses, réseau

Le système climatique

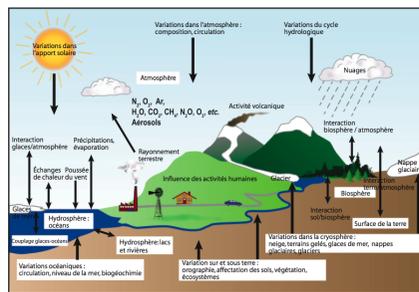


IPCC, 2007

Quels changements ont eu lieu? Dans quelle mesure comprenons-nous les climats passé et présent? Quels changements pourront se produire?

Observations directes/indirectes :

- Températures
- Précipitations
- Couverture de glace ou de neige
- Niveau des océans
- Circulation
- Extrêmes



Observations versus Simulations

Simulations :

- Variation naturelle
- Forçages
- Climat global
- Climat régional
- Événements à fort impact
- Stabilisation

Temps :

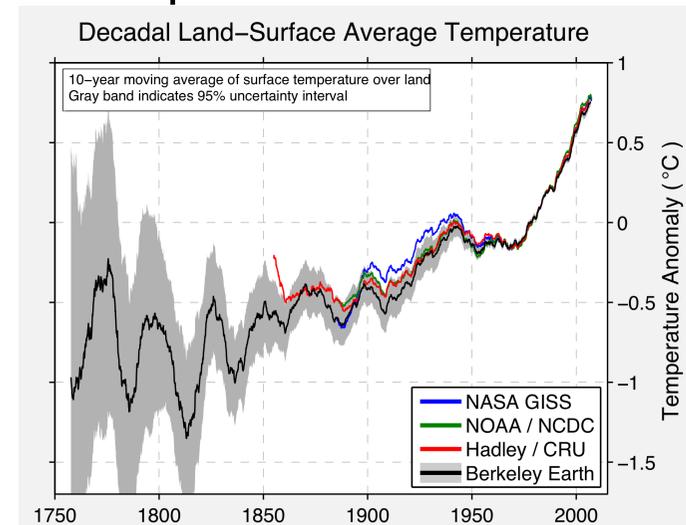
Périodes paléo et instrumentées

Le Présent

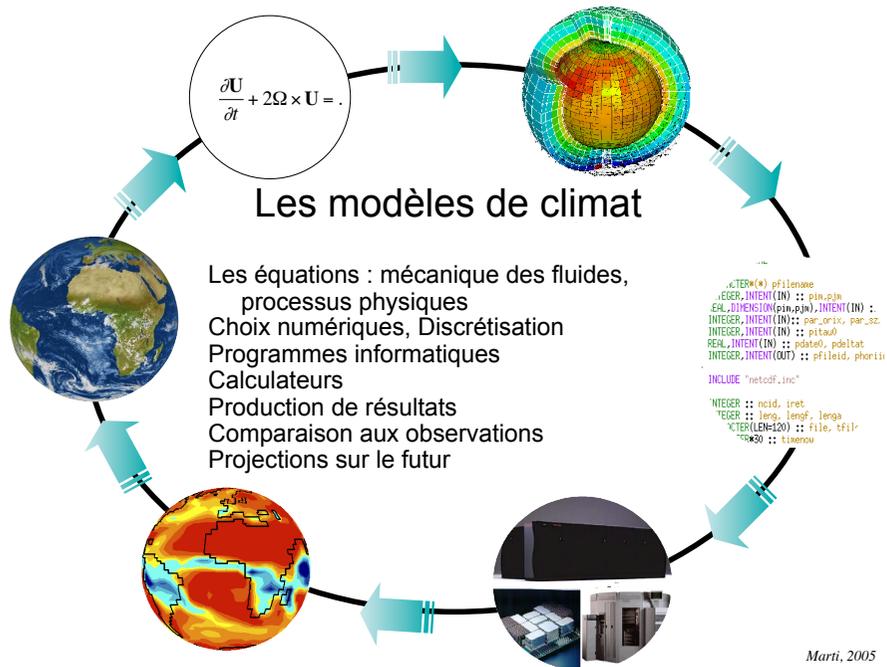
Le Futur

IPCC, 2001

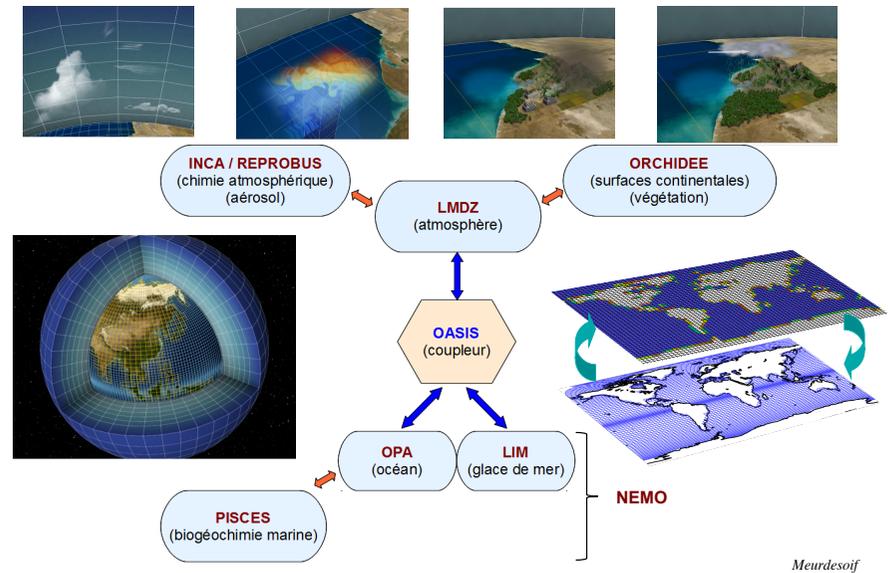
Températures continentales



Berkeley Earth Surface Temperature, 2012



Le modèle couplé "Système Terre" de l'IPSL



Plan

- Présentation de l'IPSL et du pôle de modélisation
- Les sciences du climat
- **Résultats récents**
- Eléments de prospective
- Ecosystème : calcul, stockage, analyses, réseau

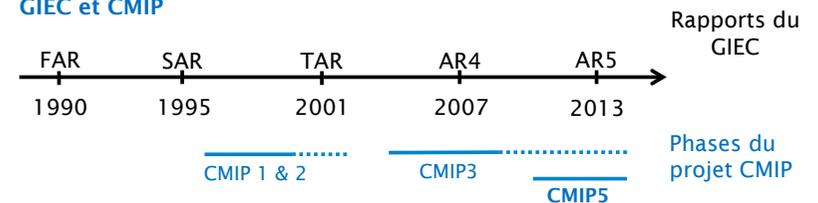
CMIP

Coupled Model Intercomparison Project

Un projet de comparaison de résultats de modèles climatiques

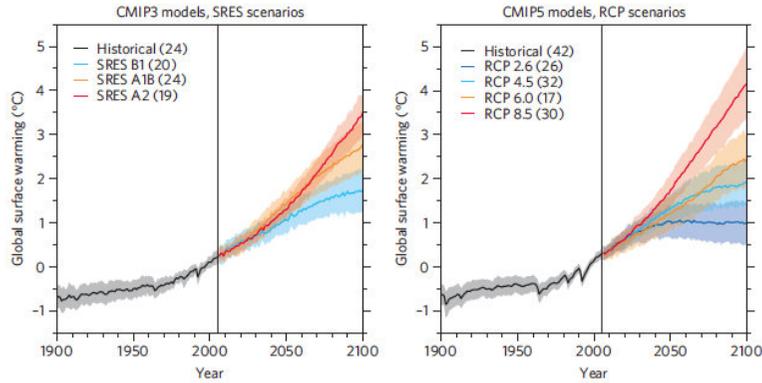
- Modèle couplé Atmosphère - Continent - Océan - Glace
- Simulations numériques en respectant un protocole défini
- Mise à disposition des résultats selon un protocole défini
- Publications scientifiques décrivant le modèle et ses résultats
- Piloté par le Programme Mondial de Recherche sur le Climat

GIEC et CMIP



Global temperature change and uncertainty

Global temperature change (mean and one standard deviation as shading) relative to 1986–2005 for the **SRES** scenarios run by **CMIP3** and the **RCP** scenarios run by **CMIP5**.
The number of models is given in brackets.



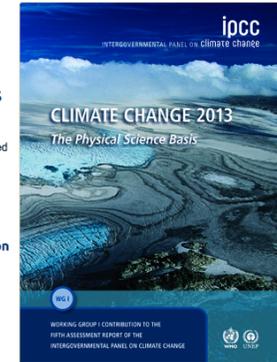
Knutti, 2012

IPCC WGI AR5

Climate Change 2013: The Physical Science Basis

The Twelfth Session of Working Group I (WGI-12) will take place from 23 to 26 September 2013 in Stockholm, Sweden. This Session of WGI is being convened to approve the Summary for Policymakers (SPM) of the Working Group I contribution to the IPCC Fifth Assessment Report (WGI AR5) and accept the underlying scientific and technical assessment.

The WGI AR5 Summary for Policymakers will be available here on 27 September 2013.



- Worldwide Scientific Collaboration -



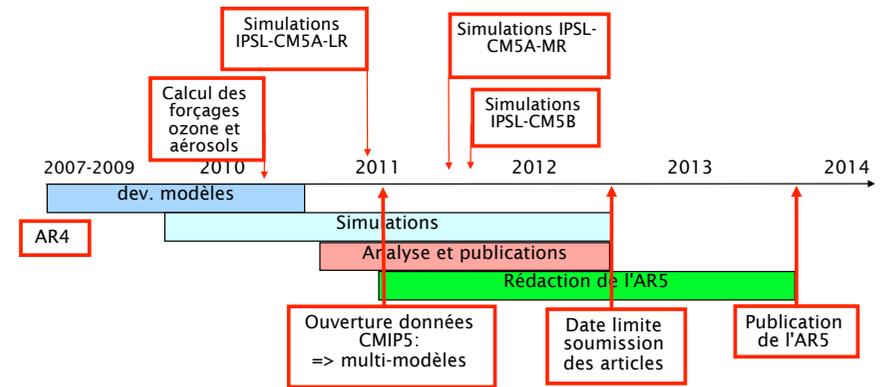
IPCC, 2013

Plaquette Miss Terre :

Christophe Cassou, Didier Swingedouw, Aurore Voldoire et al.
CERFACS, IPSL, Météo-France

LA MODÉLISATION CLIMATIQUE	
• Comment rendre l'atmosphère dans les petits cubes ?	p. 2
• Comment rendre l'océan dans les petits cubes ?	p. 4
• Comment représenter les surfaces continentales dans les modèles de climat ?	p. 6
• Quel est le rôle des nuages dans l'équilibre climatique et la modélisation ?	p. 8
• Quel rôle joue le forçage climatique ?	p. 10
• Pourquoi le climat varie-t-il ?	p. 12
• Comment rendre en œuvre les nombreux calculs réalisés par les modèles de climat ?	p. 14
LES MODÈLES, OUTILS DE COMPRÉHENSION DU CLIMAT OBSERVÉ	
• Quelles sont les méthodes d'évaluation et de validation des modèles climatiques ?	p. 16
• Qu'apprenons-nous des paléoclimats ?	p. 18
• Si le climat du dernier millénaire en était conté ?	p. 20
• Pourquoi observer et simuler les changements climatiques observés au cours du dernier siècle ?	p. 22
• Comment peut-on avoir confiance dans les résultats de modèles imparfaits ?	p. 24
• Comment affiner les données climatiques globales sur l'Europe, la Méditerranée ou la France ?	p. 26
LES MODÈLES, OUTILS DE PRÉVISION	
• Quels sont les forçements de la prévisibilité climatique ?	p. 28
• Que nous disent les modèles quant au climat des décennies à venir ?	p. 30
• Comment évaluer les événements extrêmes et leur évolution ?	p. 32
• Le rôle du carbone peut-il être fluide ?	p. 34
ZOOM SUR 4 MÉTIERS	
• Physique du climat	p. 36
• Rapport de recherche et calcul numérique	p. 37
• Haute performance pour le climat	p. 38
• Rapport de recherche et développement et déploiement d'applications	p. 39
• Flux de connaissances	p. 39

Calendrier CMIP5-AR5



Et la suite ?
2019
2016-2018
2013-2015
2014

rapport AR6
simulations CMIP6
développement modèles
choix des résolutions retenues

Plan

- Présentation de l'IPSL et du pôle de modélisation
- Les sciences du climat
- Résultats récents
- **Eléments de prospective**
- Ecosystème : calcul, stockage, analyses, réseau

Logiciels

ANR MN2013 CONVERGENCE

T0 : management	
<p>T1 : platform</p> <p>ensemble of tools different configurations different resolution set of simulations set of diagnostics assessment</p>  <p>IPSL implementation</p>  <p>GAME-CERFACS implementation</p> 	<p>T2 : towards a high-resolution coupled model</p> <ul style="list-style-type: none"> •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 
	<p>T3 : runtime environments</p> <ul style="list-style-type: none"> •Process assignment •Optimization, Load balancing •Climate Simulations Supervision 
	<p>T4 : Big Data management and analytics of Climate Simulations</p> <ul style="list-style-type: none"> •XIOS implemented within project models •XIOS a bridge towards standardisation •Data and metadata services •Big Data Analytics 
	<p>T5 : CliMAF: a framework for climate models evaluation and analysis</p> <ul style="list-style-type: none"> •General driver and upstream user interface •Services layer •Visualization tools •Evaluation and monitoring diagnostics 

Les modèles

- Poursuivre la compréhension et l'amélioration des modèles en utilisant une hiérarchie de modèles : 1D, 3D, idéalisés
- Bénéficier de toujours plus de parallélisme : le nouveau cœur dynamique de LMDZ : DYNAMICO

Nouveau cœur dynamique icosaédrique DYNAMICO

Grilles décalées
Conservation de l'énergie /
entropie (Sadourny, 1975)

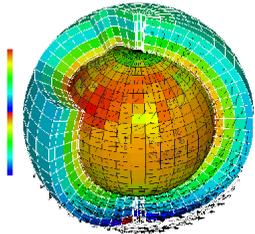
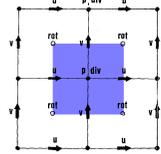
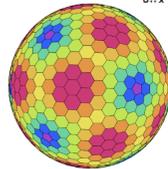
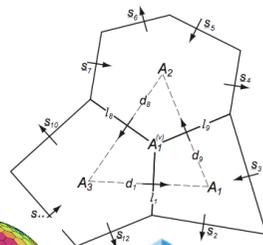


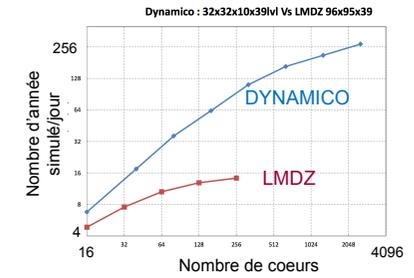
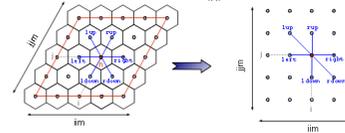
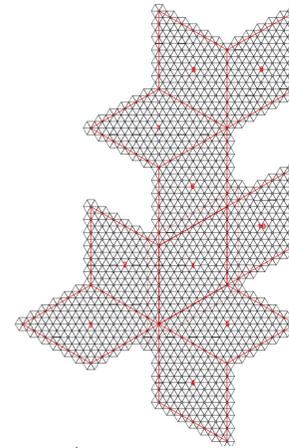
Schéma de type « Sadourny »
généralisé aux maillages non-
structurés
(Thuburn et al., 2010)



LMD

[T. Dubos; Y. Meurdesoif, et al.]

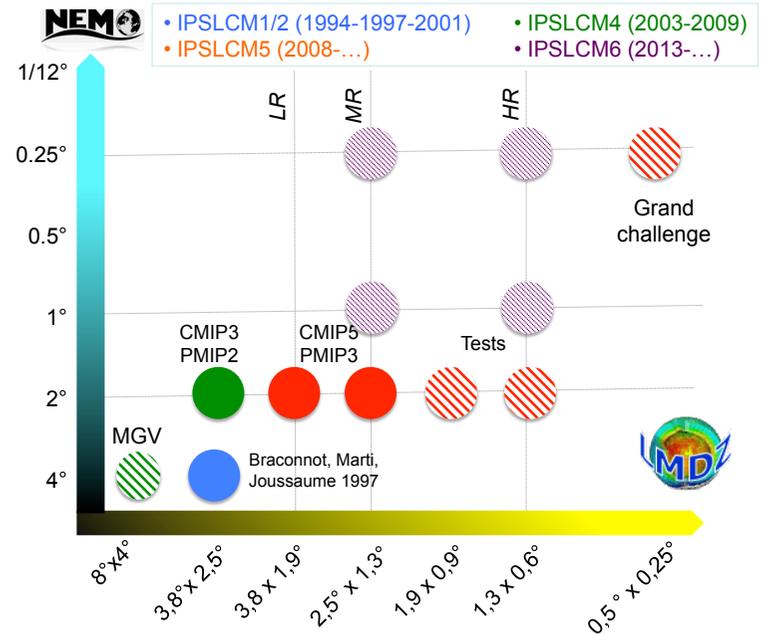
Nouveau cœur dynamique icosaédrique DYNAMICO

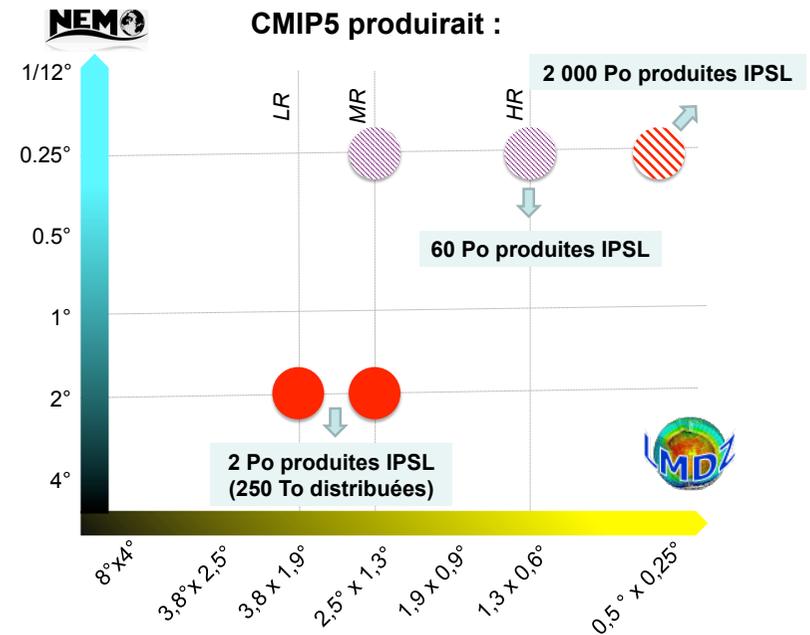
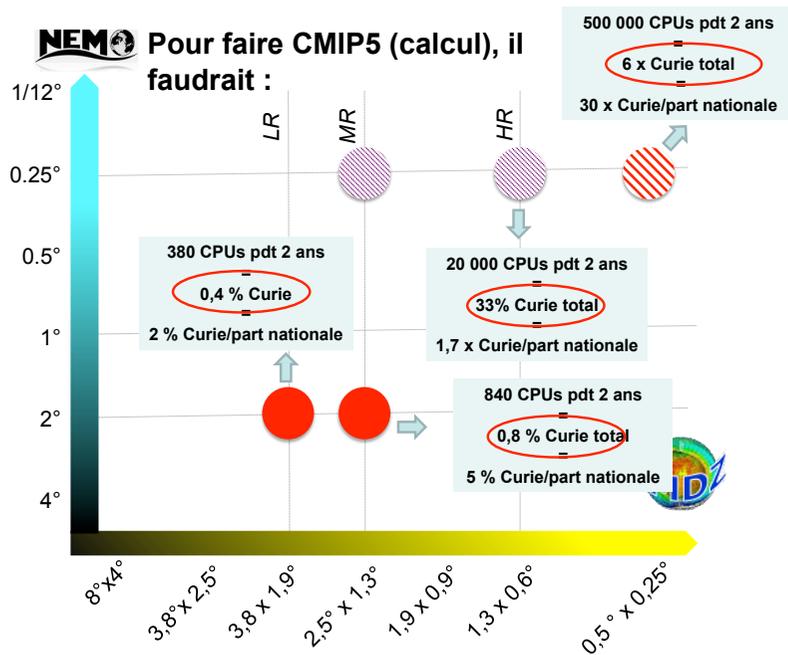


degrés	nb cœurs	année/j
3	320	100
1	1 280	20
1/2	11 520	17
1/4	81 920	14

[T. Dubos; Y. Meurdesoif, et al.]

Les ressources calcul et stockage





Plan

- Présentation de l'IPSL et du pôle de modélisation
- Les sciences du climat
- Résultats récents
- Eléments de prospective
- **Ecosystème : calcul, stockage, analyses, réseau**

Utilisation de l'ensemble de l'écosystème

- Tier 0 : simulations frontière
- Tier 1 :
 - production : y compris analyses systématiques
 - préparation prochaine génération de modèle
 - stockage résultats et distribution
- Tier 2 :
 - analyses résultats multi-modèles en lien observations
 - distribution
 - mésocentre multi-sites climat : prodiguer, ciclad, climserv

