

Plan

- Présentation de l'IPSL et du pôle de modélisation
- Les sciences du climat
- Le calcul intensif

HPC et sciences du climat
 Marie-Alice Foujols : foujols@ipsl.jussieu.fr
 Lyon, Ecole découverte du calcul, 4 septembre 2013

Merci à Sandrine Bony, Patrick Brockmann, Arnaud Caubel, Sébastien Denvil, Thomas Dubos, Jean-Louis Dufresne, Frédéric Hourdin, Olivier Marti, Yann Meurdesoif

<http://www.ipsl.fr>

Institut Pierre Simon Laplace

The screenshot shows the website interface with a navigation bar containing: ORGANISATION, ACTUALITÉS, NOS RECHERCHES, FORMATION, DOCUMENTATION, POUR TOUS. Below the navigation bar, there are several sections:

- A PROPOS DE L'IPSL**
- VOUS ÊTES**
 - Scientifique
 - Enseignant
 - Etudiant
 - Journaliste
 - Curieux
 - Personnel de l'IPSL
- ACCÈS DIRECT**
 - Modélisation du climat
 - Services d'observation
 - Bases de données
 - Projets scientifiques
 - Campagnes de mesure
- NOS FORMATIONS**
 - Formation en sciences de l'environnement
- ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES**
 - 24-07-2013**
Nouvelle approche pour estimer le rôle des régions dans l'augmentation du CO₂. L'évolution des émissions de CO₂ diffère selon les régions, en fonction du développement industriel mais aussi de la capacité des puits de carbone à absorber le CO₂. Une affectation des émissions de CO₂ à l'échelle régionale, corrigée de leur absorption par les puits terrestres et océaniques, vient de faire l'objet d'une première modélisation historique par une équipe internationale conduite par le Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE/IPSL, CEA/CNRS/UVSQ). L'étude a été publiée le 14 juillet sur le site internet de la revue Nature Climate Change.
> Lire la suite
 - 22-07-2013**
Quand le vent fait danser le sable ! Qui n'a pas observé ces banderoles de grains de sable osciller à la surface d'une plage par jour de grand vent ? Ce phénomène de sautiation vient d'être reproduit numériquement pour la première fois par des chercheurs du LIS/IPSIL et du Laboratoire Ecologie Fonctionnelle et Physique de l'Environnement (INRA). Leurs travaux, publiés dans le Journal of Geophysical Research le 12 juillet 2013, confirment de précédentes hypothèses sur l'origine de ces mouvements en lien avec la turbulence du vent près de la surface. Les chercheurs peuvent ainsi mieux reproduire l'érosion éolienne des surfaces, à l'origine de nombreuses problématiques environnementales.
> Lire la suite
- PORTRAITS**
 - Patrice COLL**
 - Anny-Chantal Levasseur-Regourd, officier de la Légion d'honneur**
 - Danièle Hauser, chevalier de la Légion d'honneur**
- ÉVÈNEMENTS**

- Fédération de **6 laboratoires**, liée à 3 Observatoires des Sciences de l'Univers :
 - Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales (**LATMOS**) ,
 - Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques (**LISA**) ,
 - Laboratoire de Météorologie Dynamique (**LMD**) ,
 - Laboratoire d'Océanographie et du Climat : Expérimentation et Approches Numériques (**LOCEAN**),
 - Laboratoire de Physique Moléculaire pour l'Atmosphère et l'Astrophysique (**LPMAA**),
 - Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (**LSCE**)
- **10 tutelles**
 - Centre National de la Recherche Scientifique (**CNRS** : INSU et INEE),
 - Université Pierre et Marie Curie - Paris 6
 - Université Versailles Saint-Quentin en Yvelines
 - Commissariat à l'Energie Atomique (**CEA**)
 - Institut de Recherche et Développement (**IRD**)
 - Ecole Normale Supérieure
 - Ecole Polytechnique
 - Centre National d'Etudes Spatiales (**CNES**).
 - Université Denis Diderot – Paris 7
 - Université Paris 12 Val de Marne



ENVIRONNEMENT GLOBAL DE LA TERRE ET ENVIRONNEMENTS PLANETAIRES
(passé, présent et évolution future aux échelles locales, régionales et globales)

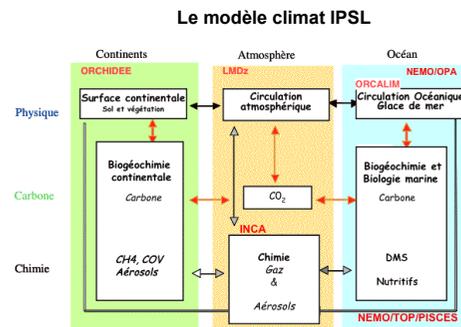
- climat
- composition chimique (phénomènes naturels et anthropiques)
- interactions
- ionosphère-magnétosphère
- planétologie

EXPERIENCE, THEORIE, MODELISATION

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

Le pôle de modélisation du climat

- 80 personnes, coordinateur Jean-Louis Dufresne
- Missions :
 - **Fédérer les études** multidisciplinaires (scientifiques ou techniques) faisant intervenir les composantes du modèle de l'IPSL
 - Identifier et coordonner les **simulations de référence**
 - Fédérer et rationaliser les moyens, les **développements techniques**
 - **Animation scientifique**
- Modèle climat :
 - Atmosphère
 - Océan et glace de mer
 - Surfaces continentales
 - Cycle du carbone
 - Chimie
- **IPSLCM5**
- Earth System Model



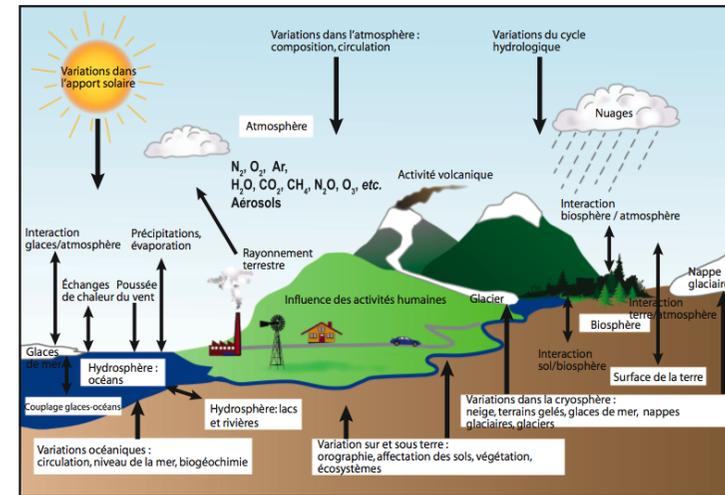
Plan

- Présentation de l'IPSL et du pôle de modélisation
- **Les sciences du climat**
- Le calcul intensif

Sciences du climat

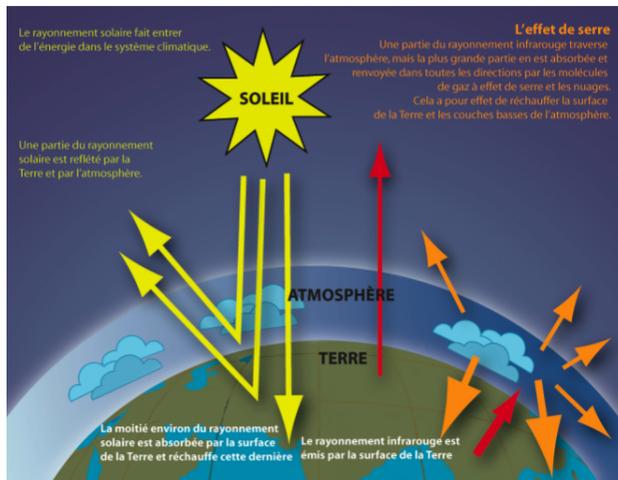
- Climat
- Longue histoire
- Complexité
- Modélisation
 - hiérarchie de modèles

Le système climatique



IPCC, 2007

L'effet de serre



L'effet de serre est bénéfique :
 15°C de moyenne mondiale au lieu de :
 -18°C

Représentation simplifiée de l'effet de serre naturel.

IPCC, 2007

Prise de conscience du changement climatique



Quelques dates importantes dans la prise de conscience du changement climatique

1827	Première description de l'effet de serre par Jean-Baptiste Fourier (1786-1830) dans ses « Remarques générales sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires »
1861-1873	Début des observations météorologiques standardisées
1895	Dans sa « théorie de la serre chaude », le chimiste suédois Svante Arrhenius (1859-1927) estime qu'un doublement de la teneur de l'atmosphère en CO ₂ ferait augmenter la température de la Terre de 4 à 6 degrés.
1957-1958	L'année géophysique internationale marque le début des mesures régulières du CO ₂ , en particulier avec les mesures de Charles Keeling à l'observatoire de Mauna Loa, à Hawaï
1967	Premières prévisions d'un doublement de la concentration de CO ₂ d'ici le début du XXI ^{ème} siècle et d'une élévation de la température moyenne de 2,5 degrés
1972	Le sujet est abordé à la Conférence mondiale sur l'environnement de Stockholm
1979	Première conférence mondiale sur le climat à Genève
1985	Mise en évidence d'un « trou » dans la couche d'ozone stratosphérique, au dessus de l'antarctique : pour la première fois, on s'est rendu compte que l'action de l'homme n'était plus limitée à des pollutions locales mais pouvait affecter la planète toute entière
1987	Le carottage de Vostok (Antarctique) qui couvre 400.000 ans (soit quatre cycles climatiques) montre la corrélation entre les variations de la température de l'air et la teneur atmosphérique en gaz à effet de serre. Ce sondage montre aussi que la température moyenne de la terre n'a jamais varié de plus de 4°C entre les périodes de glaciation et les épisodes de réchauffement
1988	Création du GIEC : Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (IPCC en anglais), création conjointe de l'Organisation Météorologique Mondiale et du Programme des Nations Unies pour l'Environnement

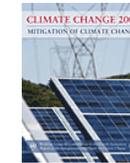
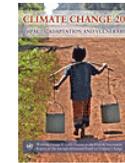
IPSL, 2005

Le GIEC (IPCC)

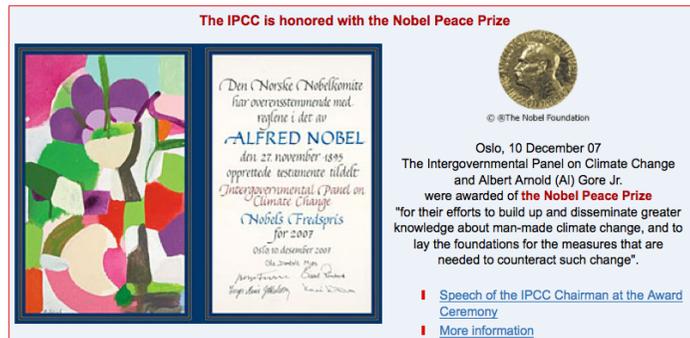
- Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
- Mis en place en 1988 par :
 - l'Organisation Météorologique Mondiale
 - le Programme pour l'Environnement des Nations Unies
- Le rôle du GIEC est d'évaluer de façon impartiale les informations internationales scientifiques, techniques et socio-économiques sur l'évolution du climat.
- Représentants des gouvernements et scientifiques
- Adoption de certains documents en session plénière (1 pays, 1 voix)
- Publication de **rapports d'évaluation** tous les 5-6 ans :
 - 1990, 1995, 2001, 2007, ... 2013

Le GIEC (IPCC)

- **1990** : 1^{er} rapport d'évaluation Sommet de Rio en 1992
- **1995** : 2nd rapport d'évaluation Protocole de **Kyoto** en 1997
- **2001** : 3^{ème} rapport d'évaluation
Conférence de Al Gore, 2006 : Documentaire de D Guggenheim
- **2007** : 4^{ème} rapport d'évaluation **Bali** - décembre 2007
 - Groupe 1 : **Les bases scientifiques et physiques** (janvier 2007, Paris)
 - Groupe 2 : **Impacts, adaptation** et vulnérabilité
 - Groupe 3 : **Atténuation** des changements climatiques
 - Résumé



www.ipcc.ch



Les activités humaines ont-elles déjà influencé le climat ?

GIEC 1990 : On ne sait pas

GIEC 1995 : Peut-être

GIEC 2001 : Probablement (+ 2/3)

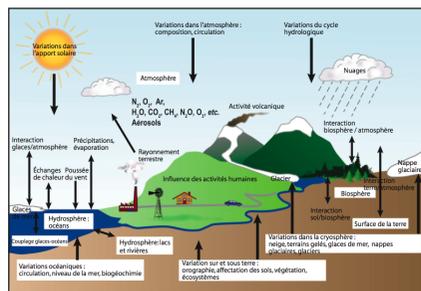
GIEC 2007 : Très probablement (+ 9/10)

L'essentiel de l'accroissement observé sur la température moyenne globale depuis le milieu du 20^e siècle est *très vraisemblablement* dû à l'augmentation observée des gaz à effet de serre anthropiques

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



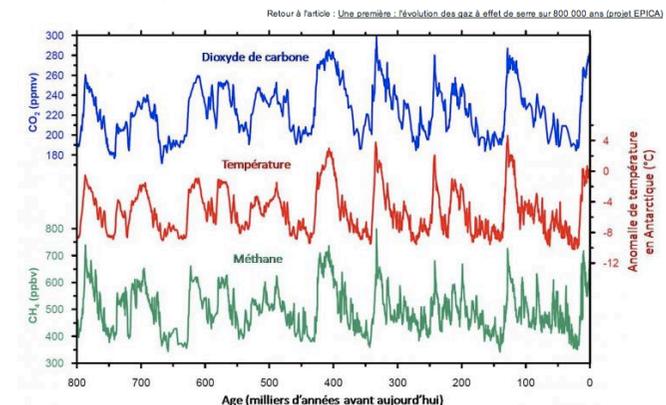
Simulations :

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



800 000 ans : Nature 14/5/2008

Evolution des deux gaz à effet de serre de l'atmosphère les plus importants après la vapeur d'eau : le dioxyde de carbone (courbe bleue) et le méthane (courbe verte), au cours des derniers 800 000 ans. © Université de Berne, LGGE. La reconstitution de la température en Antarctique (courbe rouge) est issue des mesures des isotopes de l'eau constituant la glace. Les données de dioxyde de carbone proviennent de plusieurs carottes de glace (Vostok, Taylor Dome, EPICA Dôme C). Celles du méthane sont entièrement issues du forage EPICA Dôme C.



Cycle de Milankovitch

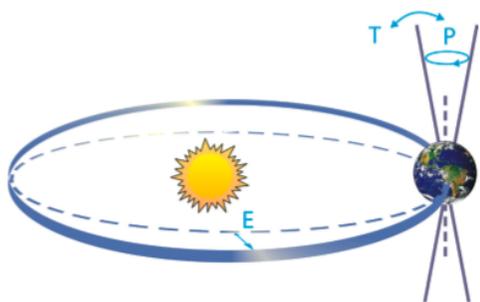
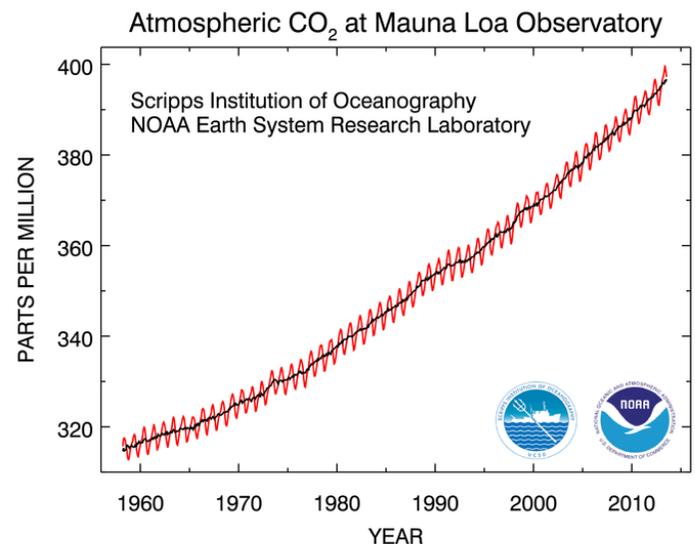
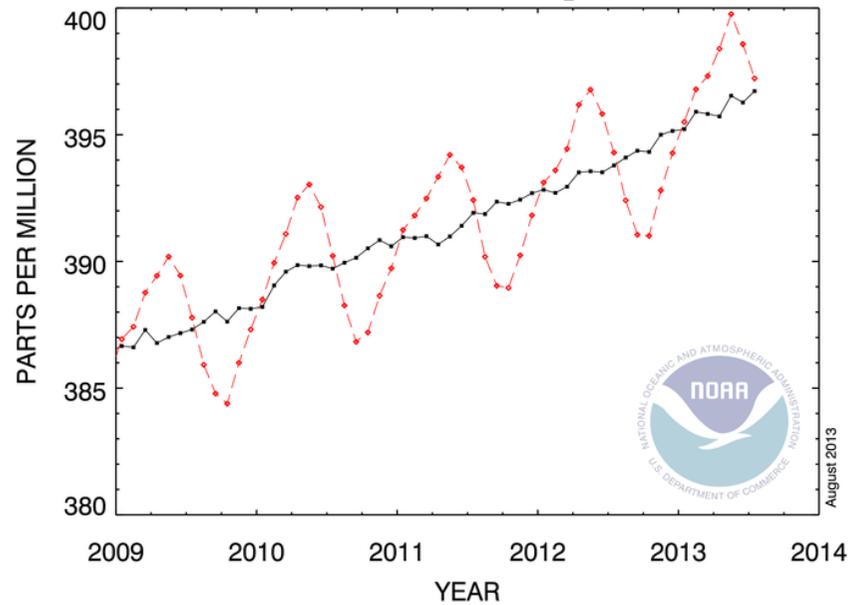


Schéma des variations de l'orbite terrestre (cycles de Milankovitch), engendrant les cycles glaciaires. 'T' - modification de l'orientation (de l'inclinaison) de l'axe de la Terre ; 'E' - modifications de l'excentricité de l'orbite (dus aux variations du petit axe de l'ellipse) ; et 'P' - précession, c.à.d. modifications au niveau de l'orientation de l'inclinaison de l'axe par rapport à un point donné de l'orbite.

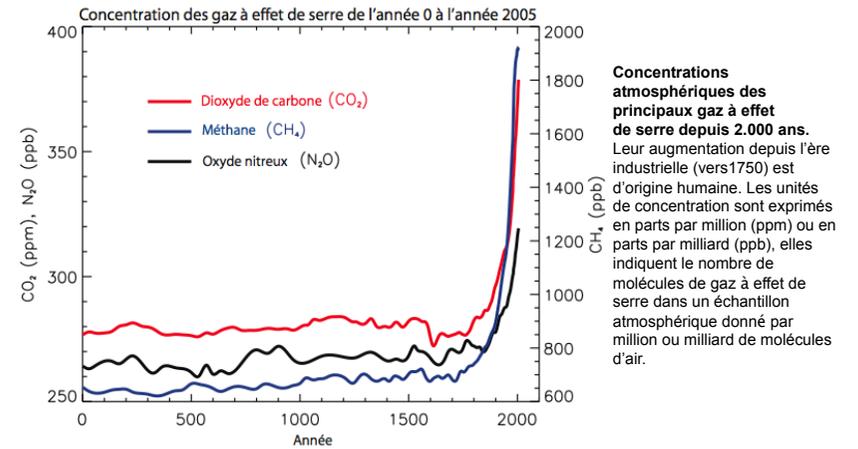
<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>



RECENT MONTHLY MEAN CO₂ AT MAUNA LOA



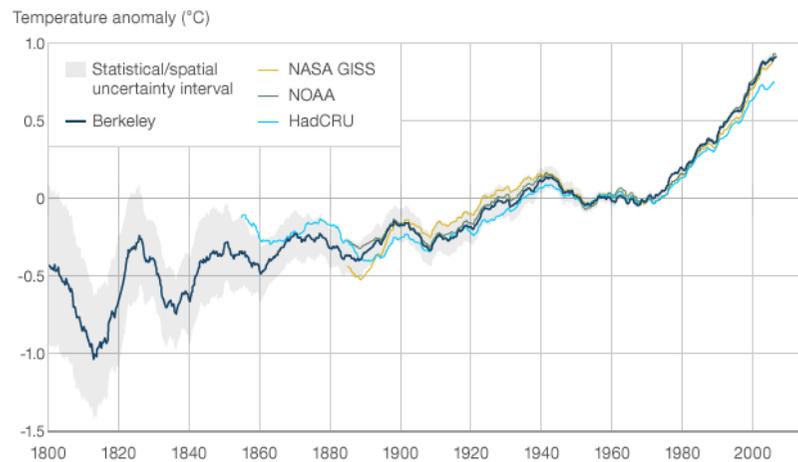
Les gaz à effet de serre



IPCC, 2007

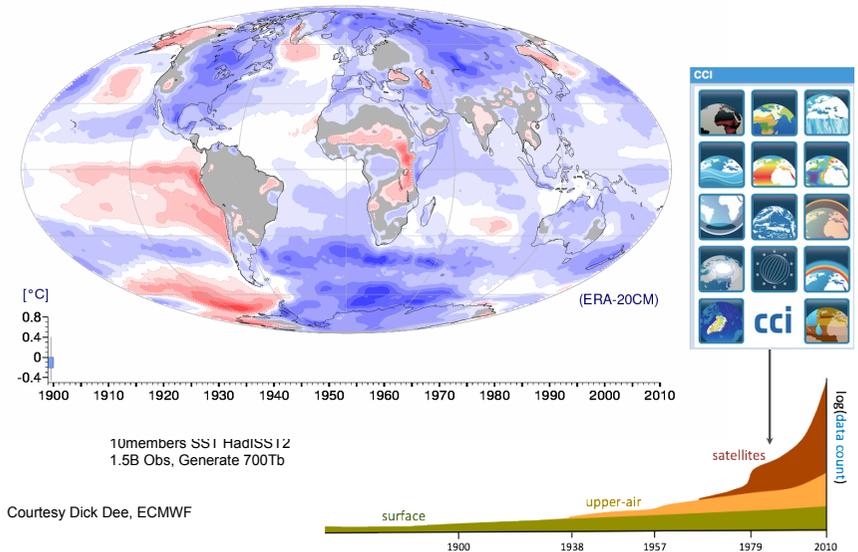
Températures continentales

Decadal land-surface average temperature

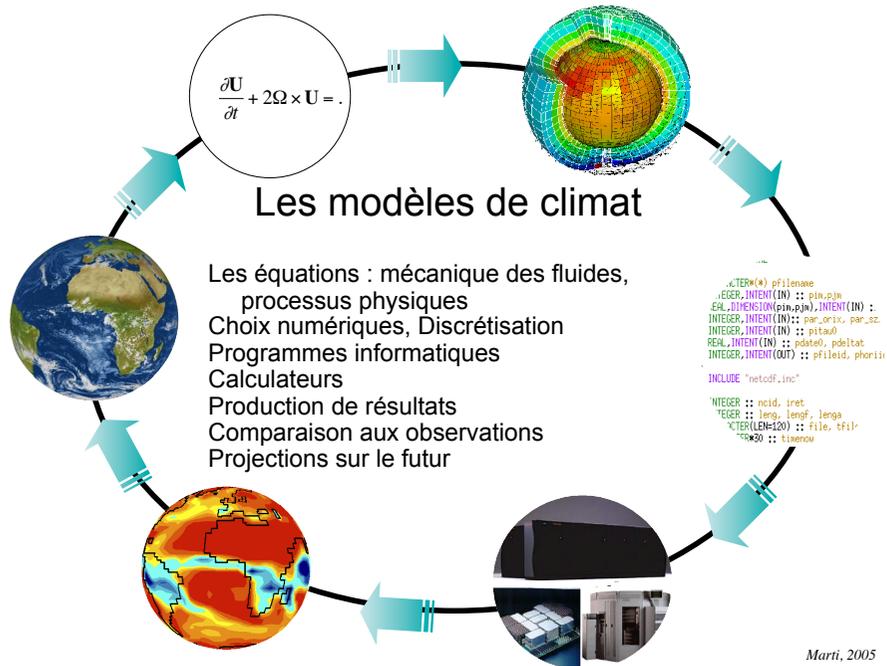


Source: Berkeley Earth Project

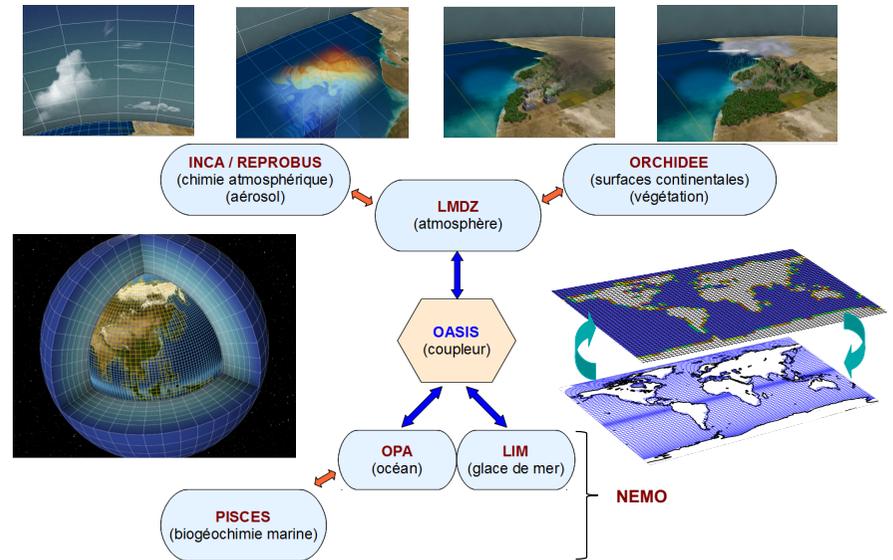
Global warming relative to 20th-century average



Courtesy Dick Dee, ECMWF



Le modèle couplé "Système Terre" de l'IPSL



lmdz.lmd.jussieu.fr

Se connecter

Recherche Rechercher

Seulement dans le dossier courant

Accueil Actualités Le projet LMDZ Développeurs Utilisateurs Communication Membres

Vous êtes ici : Accueil

Le projet LMDZ

- Présentation
- Résultats
- Applications
- Produits
- Organisation
- Réunion utilisateurs
- Formation
- Qui utilise LMDZ ?

Utilisateurs

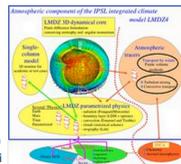
- Guides
- Manuel de référence
- Distribution du modèle
- Outils
- SOS-LMDZ
- FAQ

Développeurs

- Notes techniques
- CR de réunions
- Groupes de travail
- Outils

LMDZ : le Modèle de Circulation Générale du LMD

LMDZ est un modèle de circulation générale atmosphérique développé depuis les années 70 au Laboratoire de Météorologie Dynamique, avec des variations donnant des versions terrestres et planétaires (Mars, Titan, Vénus, exoplanètes). (LMD est le sigle du laboratoire, le "Z" de LMDZ est pour "zoom".)



Dans sa version terrestre, LMDZ est la composante atmosphérique du "Modèle Intégré de climat" de l'IPSL, dont le développement est coordonné par le "pôle modélisation" et qui est impliqué dans l'énorme effort de recherche international sur l'évolution future du climat.

Du côté des planètes, les versions de LMDZ ont été développées en grande partie en lien avec l'exploration spatiale du système solaire, et plus récemment avec la recherche de planètes extra-solaires.

LMDZ est avant tout un outil de recherche. Un souci récurrent dans le développement de LMDZ est le fait de privilégier la légèreté et la souplesse.

Un travail constant est effectué sur l'évaluation des performances climatiques du modèle. LMDZ permet aussi la simulation d'observations par satellites (RTTOV, ISCCP, CALIPSO ...) et il peut être utilisé en mode semi-opérationnel : versions zoomées guidées temps réel ou non, transport de polluant et rétro-transport, etc.

Accès rapide

- SOS-LMDZ
- Téléchargements
- Distribution du modèle
- Publication de référence

Enquête sur les utilisateurs de LMDZ : résultats

Formation LMDZ : 26, 27, 28 novembre 2012

extrait du cours LMDZ

1. Introduction

Les couches de LMDZ :

Les apparences :

→ Météorologie, climat, composition atmosphérique

Les théories :

- Mécanique des fluides
- Interactions rayonnement/matière
- Changements de phase
- Chimie

Mathématiques

- Navier-Stokes (Equations primitives)
- Lois thermodynamiques
- Transfert radiatif

Numérique

- Discrétisation en points de grille
- Différences finies et volumes finis
- Importance de la garantie d'un certain nombre de lois de conservation.

Informatique

- Fortran / Linux
- Calcul haute performance
- Modularité
- Souplesse / Multi-configuration

NEMO <http://www.nemo-ocean.eu/>

What is NEMO?

NEMO (Nucleus for European Modelling of the Ocean) is a state-of-the-art modeling framework for oceanographic research, operational oceanography seasonal forecast and climate studies.

NEMO includes:

- 5 major components
 - the blue ocean (ocean dynamics, NEMO-OPA)
 - the white ocean (sea-ice, NEMO-LIM)
 - the green ocean (biogeochemistry, NEMO-TOP);
 - the adaptive mesh refinement software (AGRIF);
 - the assimilation component NEMO_TAM
- some reference configurations allowing to set-up and validate the applications;
- a set of scripts and tools (including pre- and post-processing) to use the system.

NEMO is used by a large community: 240 projects in 27 countries (14 in Europe, 13 elsewhere), 350 registered users (numbers for year 2008). See "NEMO Projects"

NEMO is available under the CeCILL license (public license).
To gain access to the system, you need to register (click here or on "Register" in top right panel).

The evolution and reliability of NEMO are organised and controlled by a European Consortium created in 2008 between

- CNRS (France),
- Mercator-Ocean (France),
- NERC (UK),
- UKMO (UK), and since 2011
- CMCC (Italy),
- INGV(Italy)

*Purpose of the Consortium
 The purpose of this Agreement is to set up appropriate arrangements for the successful and sustainable development of the NEMO System as a well-organised, state-of-the-art ocean model code system suitable for both research and operational work.
 Text of the Consortium Agreement is here:

News

2012 NEMO Users meeting
 2012 NEMO Users meeting 22-23 May 2012

NEMO release nemo_v_3_4
 Announcement of nemo_v3_4 13 February 2012

NEMO Consortium
 INGV and CMCC new members

2011 NEMO Users meeting
 2011 NEMO Users meeting 29-30 June 2011

November

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30		

Gallery
 North pole meshmask

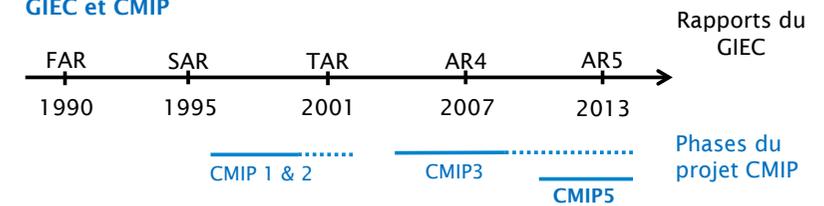
CMIP

Coupled Model Intercomparison Project

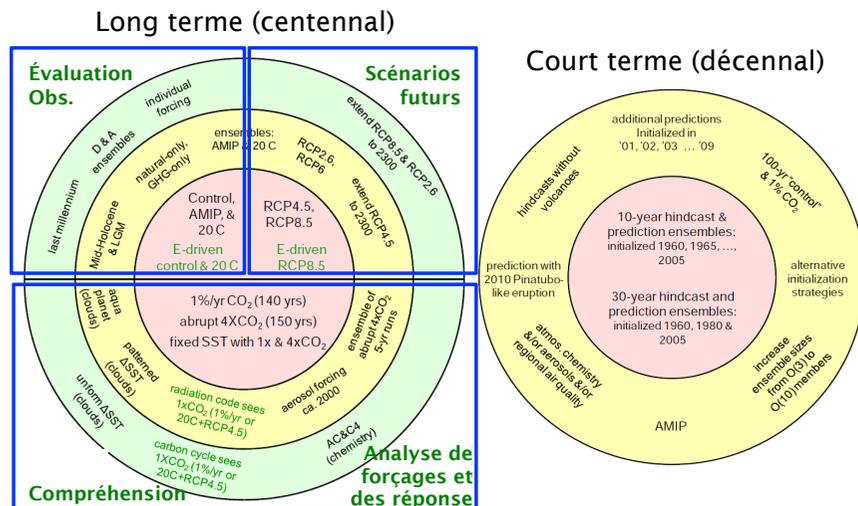
Un projet de comparaison de résultats de modèles climatiques

- 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



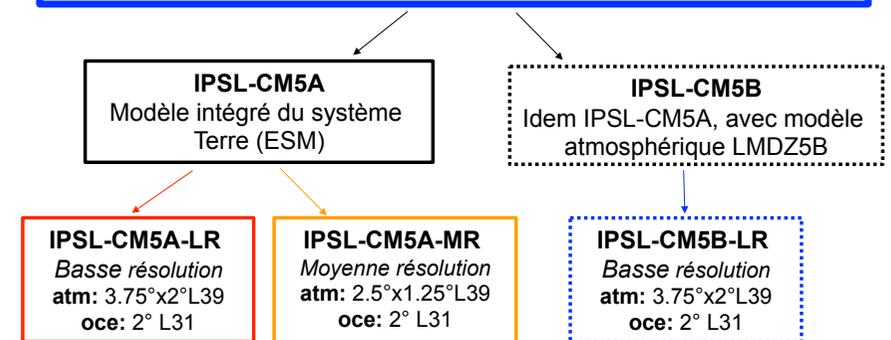
Simulations proposées par CMIP-5



[Taylor et al., 2012]

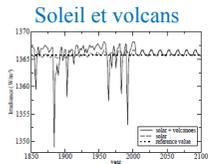
Modèles de l'IPSL pour CMIP5

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

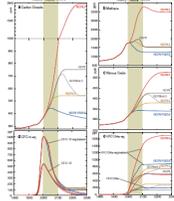


Le modèle couplé "Système Terre" de l'IPSL

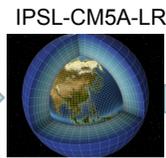
Forçages naturels et anthropiques



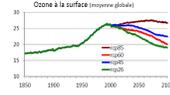
Gaz à effet de serre ou chimiquement actifs



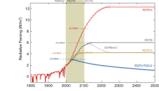
Concentration de CO₂



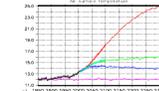
Composition de l'atmosphère



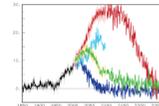
Forçage radiatif



Changement climatique



Émission autorisée de CO₂



Projection pour le 21e siècle

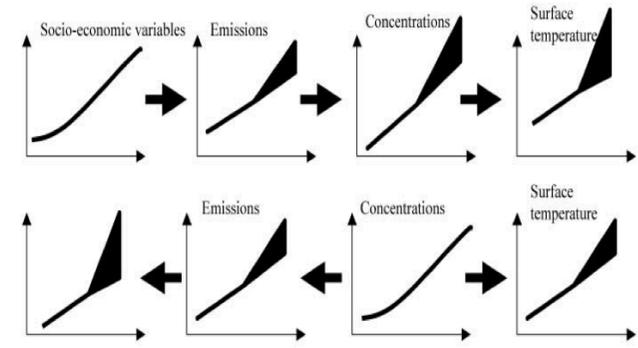
La construction de scénarios d'évolution des forçages

IPCC 2001 and 2007.

SRES scenario (A2, A1B, B1)

IPCC 2013

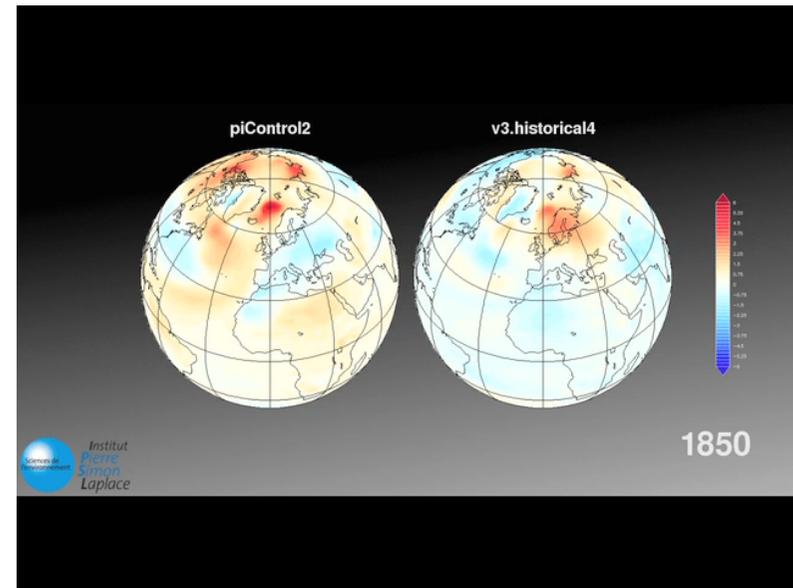
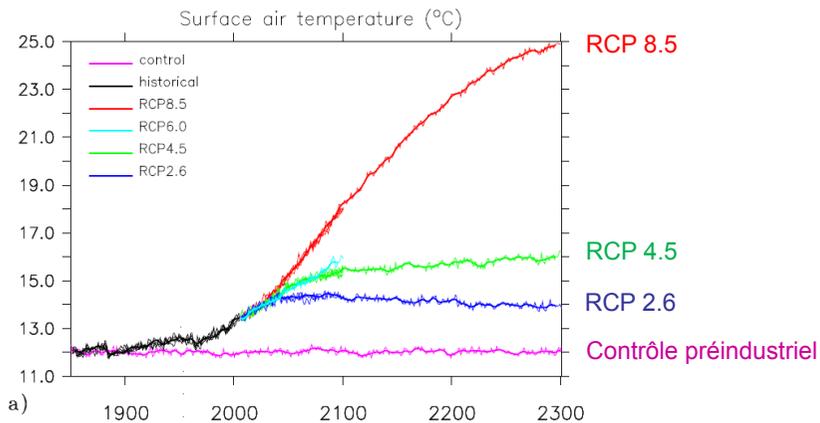
Representative Concentration Pathways (RCPs) (8.5, 6, 4.5, 2.x, rad. forcing in W.m⁻²)



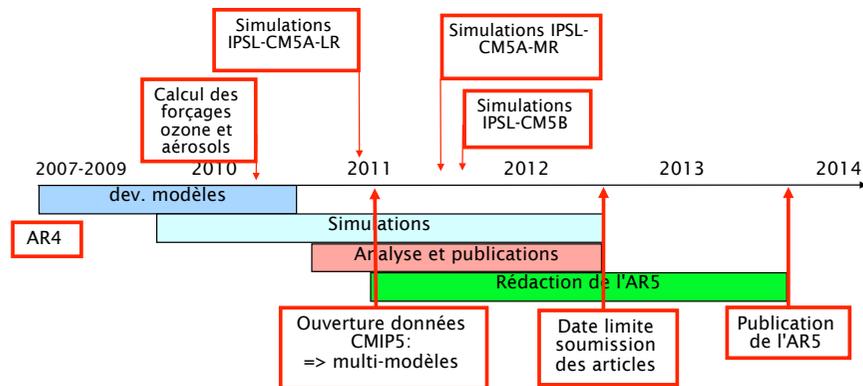
[Hibbard et al. EOS, 2007]

Moyenne globale de la température de surface

De 1850 à 2300
modèle IPSL-CM5A-LR



Calendrier CMIP5-AR5



- Papiers doivent être soumis avant le 31 juillet 2012 afin de pouvoir être inclus dans le « second order draft » de l'AR5 qui paraîtra en août 2012
- Papiers doivent être acceptés avant le 15 mars 2013 afin de pouvoir être inclus dans le « Final Draft » de l'AR5 qui paraîtra en mai 2013

Plan

- Présentation de l'IPSL et du pôle de modélisation
- Les sciences du climat
- **Le calcul intensif**

IPCC MEDIA ADVISORY

19 August 2013

Fifth Assessment Report – general media arrangements

GENEVA, 19 August - The Fifth Assessment Report (AR5) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) is being released in four parts between September 2013 and November 2014.

These comprise the Working Group I contribution (the physical science basis), the Working Group II contribution (impacts, adaptation and vulnerability), the Working Group III contribution (mitigation of climate change) and the Synthesis Report.

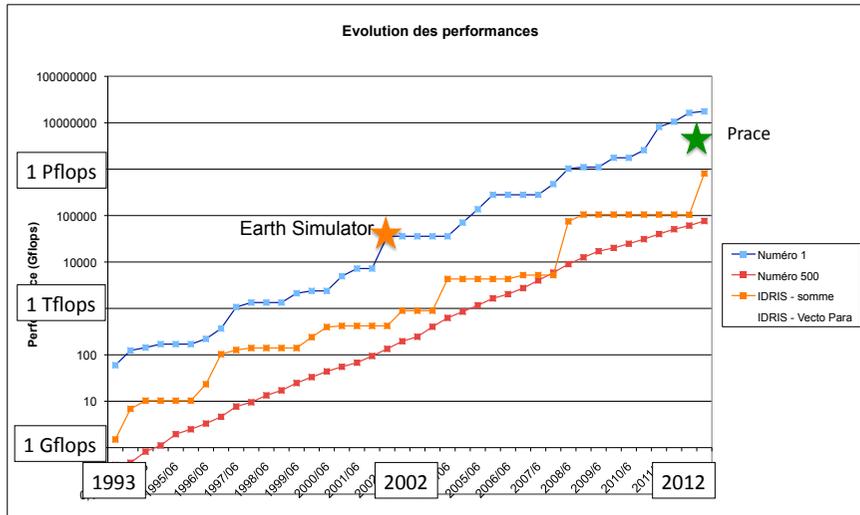
The report will be considered by the Panel according to the following timetable:

23-26 September, 2013	Working Group I (Stockholm, Sweden)
25-29 March 2014	Working Group II (Yokohama, Japan)
7-11 April 2014	Working Group III (Berlin, Germany)
27-31 October 2014	Synthesis Report (Copenhagen, Denmark)

The Summary for Policymakers for each part of the report will be presented at a press conference following these meetings. For Working Group I, the press conference will be on **Friday 27 September 2013**. For Working Group II, it will be on **Monday 31 March 2014**. The dates of the

Le calcul intensif

- Toujours plus de **calculs**
- Toujours plus de **parallélisme**
- Toujours plus de **résultats**
- Toujours plus **d'analyses**
- Toujours plus de **coopération internationale**



Développement des modèles de climat

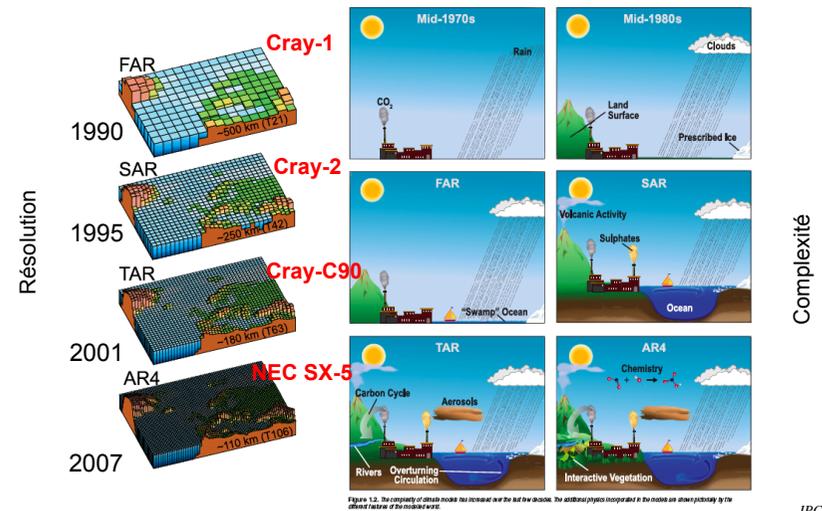
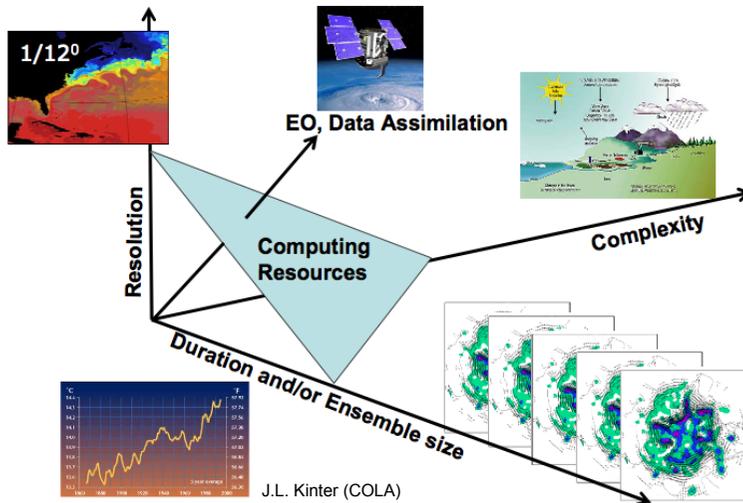


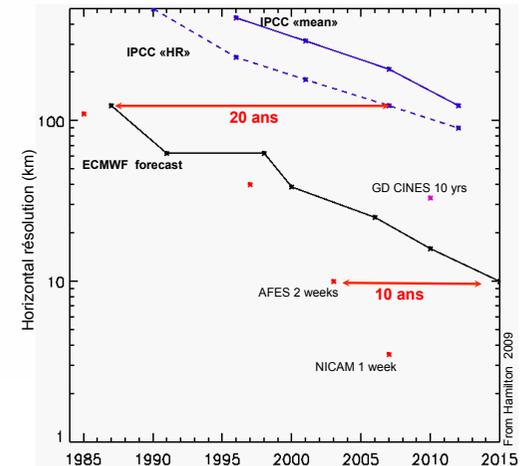
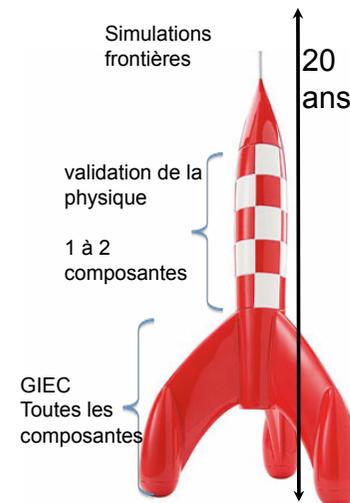
Figure 1.2. The complexity of climate models has increased over the last few decades. The additional physics incorporated in the models are shown pictorially by the different features of the model's work.

IPCC, 2007

HPC : ressources informatiques

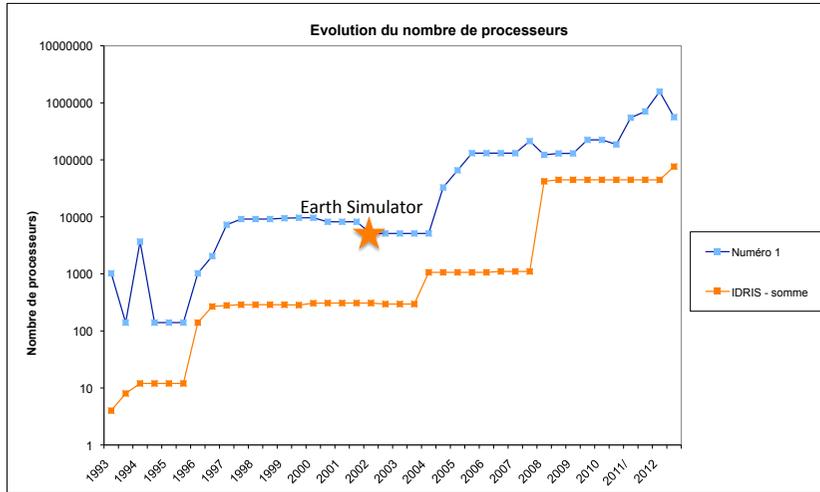


Une fusée à plusieurs étages...



From Hamilton, 2009

TOP 500 : nb de cores



Toujours plus de parallélisme

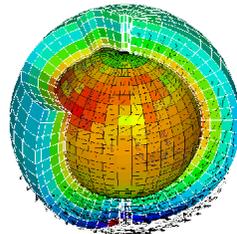
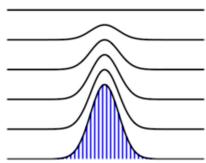
- Le nouveau coeur dynamique de LMDZ

Jeudi 23 mai 2013

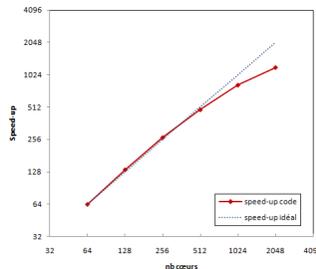
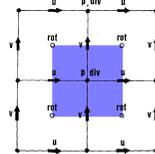
Rappels : LMDz et scalabilité



Coordonnée pression



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

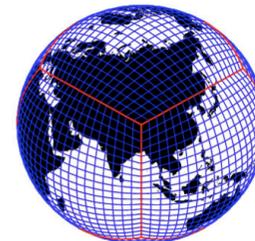


T. Dubos, LMD
DYNAMICO

Y. Meurdesoif (2010, 1/4 degree)

DYNAMICO

Maillages adaptés au massivement parallèle



Sphère « cubée »
Sadourny (1972), Ronchi (1996)
MITgcm (MIT), HOMME (NCAR)
GFDL-CM3 (GFDL), GEOS (NASA)



Maillage icosaédrique
Sadourny (1968), Heikes & Randall (1995)
NICAM (JAMSTEC, Japon)
ICON (DWD/MPI-M, Allemagne)
DYNAMICO (IPSL)
MPAS (NCAR), CSUgcm (Colorado U)

Équations primitives

$$\frac{\partial m}{\partial t} + \frac{\partial W}{\partial \eta} + \nabla_{\eta} \cdot (\bar{m}^h u) \quad m = -\frac{1}{g} \frac{\partial p}{\partial \eta}$$

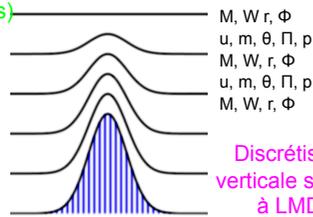
$$\frac{\partial m q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial \eta} (W \bar{q}^v) + \nabla_{\eta} \cdot (U \bar{q}^h) = S_q$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \eta} + g \frac{m}{\rho^v} = 0$$

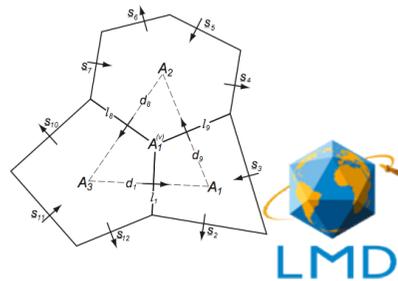
$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial \eta} \frac{W^v}{\bar{m}^h} + \overline{(f + \nabla_{\eta} \times u) \times u}^{TRISK} + \nabla_{\eta} \left(\frac{u^2}{2} + \Phi \right) + \bar{\theta}^h \nabla_{\eta} \pi = S_u$$

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

Transport défini positif (Dubey et al., soumis)

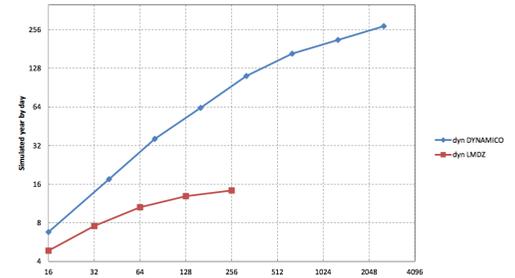


Discrétisation verticale similaire à LMD-Z



Performance parallèle

Dynamico : 32x32x10x39lv1 Vs LMDZ 96x95x39

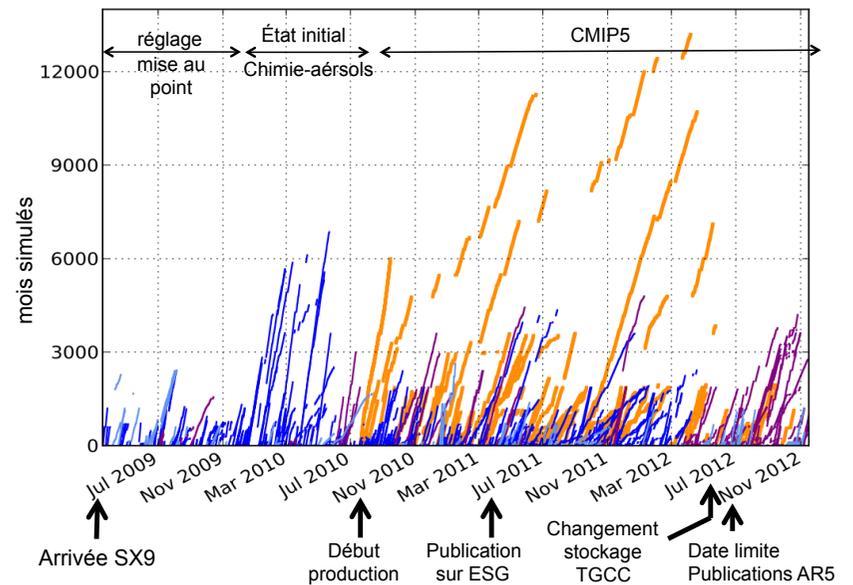


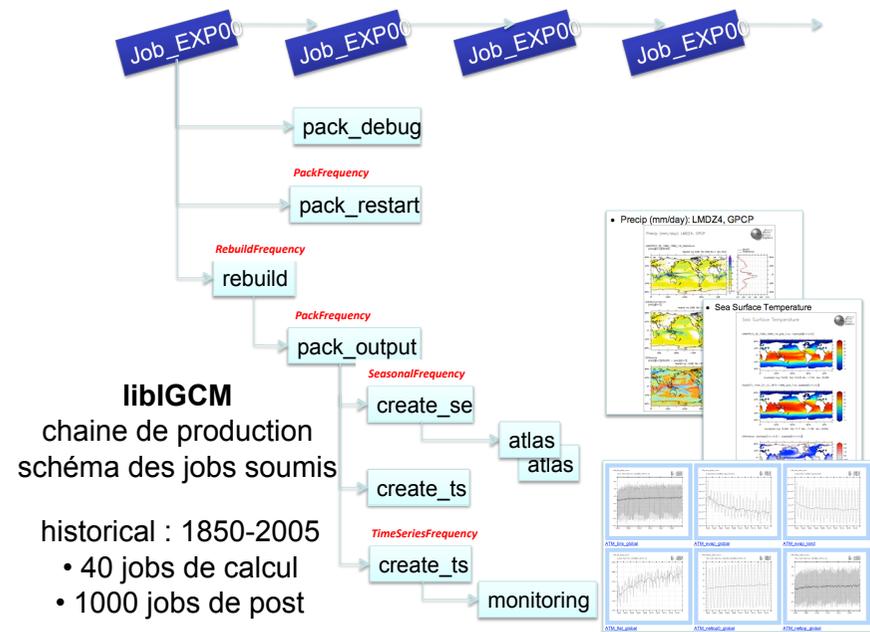
degrés	nb cœurs	année/j
3	320	100
1	1280	20
1	5120	55
1/2	5120	10
1/2	11520	17
1/2	20480	28
1/4	20480	5
1/4	46080	8
1/4	81920	14

Les résultats

- Production
- Distribution
 - locale
 - autres équipes
- Analyses

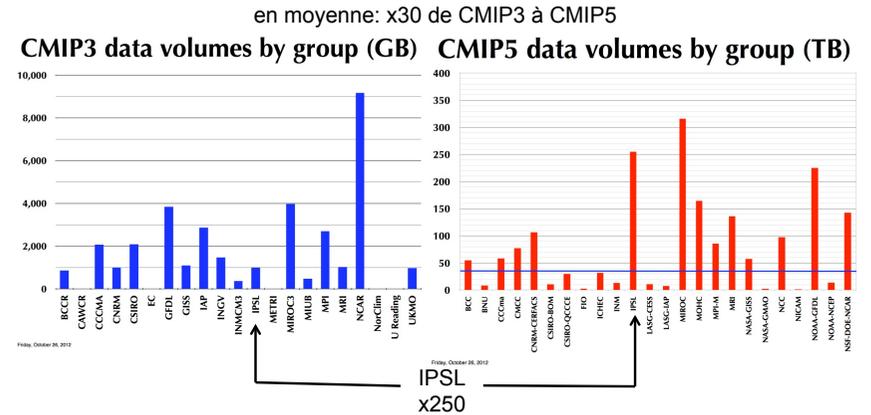
Déroulement des simulations CMIP5 (2009-2012)





Analyse et distribution des données

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



Analyse et distribution des données

