

Mini-symposium CLIMATH

Mathématiques et prévision climatique

Mini-symposium porté par le programme inter-organismes LEFE-MANU et l'ANR COMODO

Résumé

Le changement climatique en cours est à l'origine de multiples bouleversements actuels et à venir. Afin de mieux comprendre et anticiper les modifications du climat et leurs conséquences, les modèles numériques jouent un rôle déterminant, au cœur du travail du GIEC. Ces modèles de climat sont des systèmes complexes, en continu développement, qui suscitent de nombreuses questions de recherche à caractère mathématique. L'objectif de ce mini-symposium est d'illustrer la diversité des mathématiques développées dans le contexte des sciences du climat, et de faire un état de l'art sur certaines questions actuelles.

Organisateur(s)

1. **Eric Blayo**, Laboratoire Jean Kuntzmann, Université de Grenoble.
2. **Laurent Debreu**, Laboratoire Jean Kuntzmann, INRIA Grenoble Rhône-Alpes.

Liste des orateurs

1. **Pascale Braconnot**, Institut Pierre Simon Laplace / Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, Gif-sur-Yvette
Titre : Les modèles de climat et leurs multiples applications.
2. **Daniel Le Roux**, Institut Camille Jordan, Université Lyon 1
Titre : Schémas numériques en modélisation de l'océan et de l'atmosphère.
3. **Florian Lemarié**, Laboratoire Jean Kuntzmann, INRIA Grenoble Rhône-Alpes
Titre : Mathematical and numerical delicacies in coupled ocean-atmosphere simulations.
4. **Pascal Yiou**, Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, Gif-sur-Yvette
Titre : Challenges in statistics and mathematics for the study of climate extreme and rare events.
5. **Marie-Alice Foujols**, Institut Pierre Simon Laplace, Paris
Titre : Calcul haute performance pour la simulation du climat.
6. **Guillaume Juvet**, Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology, ETHZ Zürich
Titre : Challenges in glacier and ice sheet modeling.

Eric Blayo, Laboratoire Jean Kuntzmann, 51 rue des mathématiques, BP 53, 38041 Grenoble cedex 9, Eric.Blayo@imag.fr

Laurent Debreu, Laboratoire Jean Kuntzmann, 51 rue des mathématiques, BP 53, 38041 Grenoble cedex 9, Laurent.Debreu@inria.fr

Pascale Braconnot, Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, CEA, 91191 Gif-sur-Yvette cedex, pascale.braconnot@lsce.ipsl.fr

Daniel Le Roux, Institut Camille Jordan, Université Claude Bernard Lyon 1, 69622 Villeurbanne cedex, dleroux@math.univ-lyon1.fr

Florian Lemarié, Laboratoire Jean Kuntzmann, 51 rue des mathématiques, BP 53, 38041 Grenoble cedex 9, florian.lemarie@inria.fr

Pascal Yiou, Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, CEA, 91191 Gif-sur-Yvette cedex, Pascal.Yiou@lsce.ipsl.fr

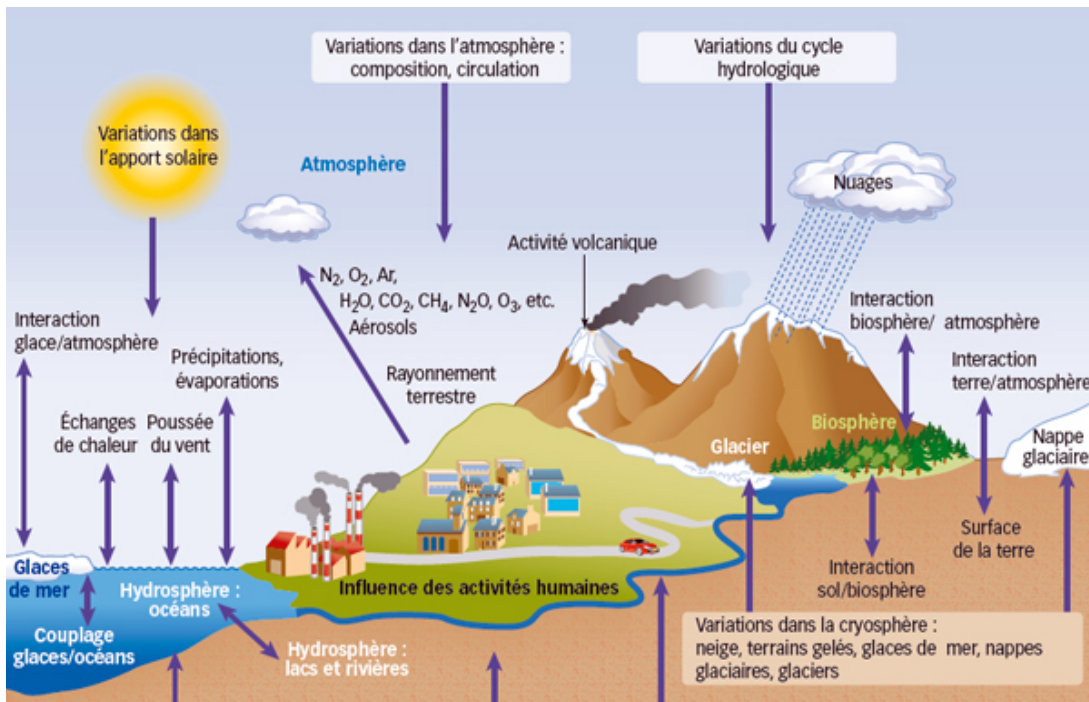
Marie-Alice Foujols, LOCEAN, Boîte 100 - 4 place Jussieu, 75252 PARIS cedex 05, Marie-Alice.Foujols@ipsl.jussieu.fr

Guillaume Juvet, ETH Zürich - VAW, Wolfgang-Pauli-Str. 27, 8093 Zürich, Switzerland, juvet@vaw.baug.ethz.ch

Introduction

Evaluer l'ampleur et les conséquences du changement climatique en cours, déterminer l'impact de futurs choix politiques et économiques, sont des enjeux actuels majeurs. Ceci nécessite la description et la compréhension du "fonctionnement" du climat, notamment grâce à l'étude des climats passés et par la mise au point de modèles permettant d'effectuer des prévisions. Pour répondre à ces objectifs, la complexité du système climatique et la diversité des questions le concernant nécessitent de faire appel à de nombreuses branches des mathématiques. Dans ce contexte, ce mini-symposium vise à illustrer la diversité des mathématiques développées dans le contexte des sciences du climat, et à faire un état de l'art sur certaines questions actuelles.

Après un exposé introductif (P. Braconnot) faisant le point sur les connaissances et les incertitudes actuelles concernant le changement climatique, décrivant ce qu'est un modèle de climat, comment fonctionne le GIEC, et pointant un certain nombre d'enjeux actuels (dont des aspects mathématiques et numériques), on se focalisera sur quelques questions liées aux mathématiques et au calcul scientifique : schémas numériques (D. Le Roux), méthodologie de couplage (F. Lemarié), modélisation des glaciers et des calottes glaciaires (G. Jouvet), méthodes statistiques pour la régionalisation et pour les événements extrêmes (P. Yiou), et calcul haute performance (M.-A. Foujols).



Le système climatique

Session 1

1 Les modèles de climat et leurs multiples applications - P. Braconnot

Les modèles numériques couplant l'atmosphère, l'océan, les surfaces continentales et les surfaces glacées, sont devenus des outils incontournables pour comprendre les différentes échelles d'espace et de temps mises en jeu dans le climat. Ces modèles sont issus des modèles de prévision du temps et se sont enrichis des couplages avec les réservoirs lents et de la représentation des interactions entre le climat et les cycles biogéochimiques. Ils permettent d'aborder de nombreuses questions concernant la variabilité propre du climat, induite par les interactions entre les différents éléments du système climatique, ou la réponse du climat à des facteurs externes modifiant l'équilibre énergétique de la planète, comme le rayonnement solaire, les éruptions volcaniques ou l'activité humaine. La présentation brossera les fondements des modèles de climat et illustrera leur utilisation pour différents types de question. Elle permettra d'introduire les différentes interventions de la session et discutera les aspects méthodologiques et limitants propres à chaque type de question.

2 Schémas numériques en modélisation de l'océan et de l'atmosphère - D. Le Roux

Cet exposé a pour but d'introduire les équations et les méthodes de discrétisation utilisées dans les modèles océaniques et atmosphériques. Les modèles utilisés présentent des différences souvent significatives : équations primitives versus équations d'Euler compressibles, approche hydrostatique versus non hydrostatique, etc. D'autre part différentes méthodes de discrétisation peuvent être utilisées : différences finies, volumes finis, méthode spectrale, Galerkin discontinue, méthode semi-lagrangienne, etc. Pourquoi une telle diversité ? Ces différents modèles donnent-ils des résultats similaires ? Nous détaillerons ces approches en donnant des exemples et des pistes de recherche. En particulier nous illustrerons quelques résultats obtenus avec la méthode de Galerkin discontinue pour la propagation de tourbillons.

3 Mathematical and numerical delicacies in coupled ocean-atmosphere simulations - F. Lemarié

Atmospheric and oceanic simulation models are widely used for weather, general circulation, and climate. In this context, the simulated flows are spectrally broad band across global to micro scales. A full representation in different scales is uncomputable and numerical models contain parameterizations to account for unresolved processes. The mathematical formulation of parameterization schemes is devised empirically, and often impairs the regularity of the solutions. This problem is even more acute when considering coupled ocean-atmosphere models. In this talk, it is showed that this complexity has to be taken into account to devise mathematically consistent and efficient coupling algorithms. This problem is here addressed from the point of view of Schwarz-like domain decomposition methods. Using a hierarchy of examples, from highly simplified to fully-realistic cases, the delicacies associated with ocean-atmosphere coupling are illustrated both theoretically and numerically.

Session 2

4 Challenges in statistics and mathematics for the study of climate extreme and rare events - P. Yiou

Climate extremes are rare and local by essence, while observations are sparse and climate model simulations do not yield a sufficient spatial resolution to capture them. The problem is even more acute when

one wants to investigate the potential response of extreme events to a secular climate change. Therefore a wide range of statistical tools have been adapted or devised to model climate extreme events. Such tools are generally meant to downscale climate variables from large scale to local scales. I will first review some of the downscaling methods, and focus on an example of detection and attribution of a climate extreme, i.e. how climate change has affected the probability of occurrence of extremes.

Recent results on the statistical properties of chaotic dynamical systems have percolated to climate science, and have opened an innovative alley to investigate rare events. I will also tackle this issue with illustrations on the atmospheric circulation, with an investigation of the recurrences of extreme events.

5 Calcul haute performance pour la simulation du climat - M.A. Foujols

Les projets de type CMIP (Coupled Model Intercomparison Project) mobilisent fortement et régulièrement la communauté des modélisateurs du climat. Ce projet implique une utilisation conséquente de ressources informatiques HPC : calcul, stockage, réseau,.... Après un rapide retour sur les ressources utilisées pour le projet CMIP5 à l'IPSL entre 2009 et 2012, je détaillerai comment l'IPSL a préparé la phase suivante du projet CMIP6 prévue entre 2015 et 2018. Le modèle (IPSLCM6) intègre les développements les plus récents : résolutions plus fines, mises à jour des composantes, parallélisation hybride des codes, automatisation des traitements des inévitables erreurs, suivi de la qualité. Malgré une prospective entamée en 2013, le suspens est actuellement à son comble car nous ne savons pas encore si les ressources HPC seront disponibles pour la participation IPSL au projet CMIP6 entre 2015 et 2018.

6 Challenges in glacier and ice sheet modeling - G. Juvet

Many of Earth's glaciers are currently shrinking and it is expected that this trend will continue as global warming progresses. To model the future evolution of glaciers and ice sheets, one needs to combine mechanical and climate models. In this talk I will mostly focus on mechanical models that can reproduce accurately the motion of ice by shearing (ice behaves as a non-Newtonian fluid) and by basal sliding. Solving such models poses several numerical challenges due to the non-linearity of the equations, the anisotropy of the solutions and the complexity of glacier geometries. In addition, 3D models remain too computationally demanding to simulate the ice flow of entire ice sheets over large time periods. For this reason, 2D simplified shallow ice models are preferred in large scale applications. Unfortunately those models usually fail to reproduce correctly the 3D dynamics of ice when sharp changes occur in the basal conditions, as for instance at the limit of grounded and floating areas. Here I will describe some strategies to deal with such difficulties and design efficient and accurate simulation tools. As an illustration I will show some recent simulations of the largest glacier of the European Alps from 1880 to 2100, and the entire Alpine ice cap during the last glacial maximum (about 22 000 years ago).