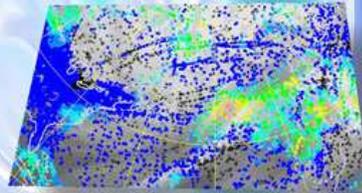


# AMA 2010

Ateliers de Modélisation de l'Atmosphère

26-28 janvier 2010



Centre  
International  
de  
Conférences



Météopole  
Toulouse

## Sources d'incertitudes dans la modélisation



[www.cnrm.meteo.fr/ama2010/](http://www.cnrm.meteo.fr/ama2010/)

**METEO FRANCE**  
Toujours un temps d'avance



**SOURCES D'INCERTITUDES DANS LA  
MODELISATION**

**AMA 2010**

**26-28 janvier 2010**



# Programme AMA 2010

**Mardi 26 janvier 2010**

**9 h 15 - 9 h 45 Accueil Inscriptions Café**

**9 h 45 - 10 h Ouverture par Marc Pontaud**

**10 h -12 h Prise en compte des incertitudes dans les conditions initiales par l'approche ensembliste : modérateur Jean-Francois Mahfouf**

10 h - 10 h 20 *Juvanon du Vachat Régis (Société Météorologique de France)*  
Evolution temporelle de l'erreur dans des modèles atmosphériques nonlinéaires

10 h 20 - 10 h 40 *G. Desroziers (CNRM/GMAP), L. Berre (CNRM/GMAP) et L. Raynaud (CNRM/GMAP)*  
Diagnostics a posteriori dans une assimilation d'ensemble variationnelle

10 h 40 - 11 h *L. Berre (CNRM/GMAP), G. Desroziers (CNRM/GMAP), et L. Raynaud (CNRM/GMAP)*  
L'assimilation d'ensemble opérationnelle à Météo-France

11 h - 11 h 20 *S. Rémy (CNRM), O. Pannekoucke (CNRM), T. Bergot (CNRM) and C. Baehr (CNRM)*  
Adaptation d'un filtre particulaire à un modèle 1D de prévision du brouillard

11 h 20 - 11 h 40 *B. Vié, O. Nuissier, V. Ducrocq (Météo-France-CNRS, CNRMGAME/GMME/MICADO)*  
Simulations d'ensemble à échelle convective des événements fortement précipitants méditerranéens avec le modèle AROME

**12 h - 13 h Prix Prud'homme**

**13 h - 14 h 30 Buffet**

**14 h 30 - 16 h 00 Prise en compte des incertitudes dans les conditions initiales par l'approche ensembliste (suite)**

14 h 30 - 14 h 50 *Olivier Pannekoucke (CNRM/GAME), Thomas Lauvaux (Department of Meteorology, Pennsylvania State Universit), Claire Sarrat (Cerfacs), Peter Rayner (LSCE), Frédéric Chevallier (LSCE) et J. Noilhan (CNRM)*  
Utilisation de prévisions d'ensemble pour la modélisation des erreurs liées au transport appliqué à l'inversion du CO<sub>2</sub> à méso-échelle

14 h 50 - 15 h 10 *Damien Garaud (1) et Vivien Mallet (2). 1: CEREAs -- 2: INRIA*  
Calibration d'ensemble pour l'estimation d'incertitudes en qualité de l'air

**15 h 10 - 15 h 45 Présentation Posters (5 minutes par poster) : modérateur Philippe Arbogast**

*Pierre DANIEL, Denis PARADIS, Valérie ULVOAS, (Météo-France, DPrévi/MAR), Stéphane LAW CHUNE (Mercator-Océan)*  
Sources d'incertitudes dans la modélisation des dérives en mer

*Jean-François Mahfouf (CNRM/GAME)*

Amélioration des statistiques des erreurs d'ébauche pour l'analyse de l'état hydrique des sols

*Olivier Pannekoucke (CNRM/GAME), Sébastien Massart (CERFACS), Laurent Vézard (INSA)*

Modèle de covariance hétérogène basé sur l'opérateur de diffusion: vers une application pour l'atmosphère

*Olivier Pannekoucke (CNRM), Dominique Carrer (CNRM)*

Estimation de la température par patch pur sur un pixel à l'aide d'un filtre à particule

*E. Martin, G. Thirel, J. Noilhan (CNRM-GAME/GMME), L. Franchistéguy, F. Regimbeau, J.-M. Soubeyroux (Météo-France/DCLIM/HYDRO) P. Quintana Seguí (observatoire de l'Ebre) F. Habets (UMR SISYPHE, ENSMP)*

Test de différentes configurations d'une chaîne de prévision d'ensemble hydrologique et impact sur ses scores

*Martin Claverie (CESBIO) ; Valérie Demarez (CESBIO); Benoît Duchemin (CESBIO); Olivier Hagolle (CESBIO); Eric Ceschia (CESBIO); Pierre Béziat (CESBIO) ;Pascal Keravec (CESBIO) ; Gérard Dedieu (CESBIO)*

Estimation des besoins en eau des cultures agricoles à partir de données de télédétection à hautes résolutions spatiale et temporelle

*Laurent Descamps (Météo-France, CNRM/GMAP/RECYF)*

Méthodes d'initialisation des prévisions d'ensemble

#### **15 h 45 - 16 h 50 Visite Posters et Pause Café**

#### **16 h 50 - 17 h 30 Approche ensembliste en prévision hydrométéorologique**

16 h 50 - 17 h 10 *Joël Gailhard, Thibault Mathevet, Pierre Bernard, Remy Garçon - EDF/DTG*

Couplage entre prévisions météorologiques d'ensembles et modèles hydrologiques : analyse et modélisation des incertitudes pour une bonne calibration statistique

17 h 10 - 17 h 30 *B. Vincendon, V. Ducrocq O. Nuissier, B. Vié (GAME/CNRM), G-M. Saulnier (CNRS/EDYTEM, Université de Savoie )*

Prévision d'ensemble hydrométéorologique des crues rapides méditerranéennes

### **Mercredi 27 janvier 2010**

#### **9 h - 10 h 35 Techniques numériques et techniques de couplage : modérateur Frédéric Hourdin**

9 h - 9 h 20 *Benjamin Pohl (Centre de Recherches de Climatologie, CNRS UMR 5210 / université de Bourgogne) et Hervé Douville (CNRM/GMGEC/UDC)*

La mousson africaine dans un modèle de circulation générale quasi-parfait

9 h 20 - 9 h 40 *Lauriane Batté et Michel Déqué (Météo-France/CNRM/GMGEC/EAC)*

Prévisions saisonnières de précipitation en Afrique de l'Ouest : évaluation des simulations ENSEMBLES stream 2

9 h 40 - 10 h *A. K. Traore, F. Hourdin, F. Favot, F. Guichard, I. Musat, F., L. Kergoat, B. Cappelaere, S. Galle (LMD, CNRM, CESBIO, SHM, LTHE)*

Bilan énergétique de surface et précipitation en Afrique de l'ouest : intercomparaison GCMs-observations

**10 h - 10 h 40 *Présentation Posters (5 minutes par poster) : modérateur Olivier Nuissier***

*Marie-Alice Foujols, Frédéric Hourdin et l'ensemble du pôle de modélisation du climat de l'IPSL*

Choix de la résolution horizontale atmosphérique du modèle climat IPSL

*Hiba Omrani, Philippe Drobinski et Thomas Dubos, Institut Pierre Simon Laplace/Laboratoire de Météorologie Dynamique, École Polytechnique*

Effet du guidage sur la représentation des processus de petite échelle dans la régionalisation du climat

*Somot S. (1), C. Dubois, E. Sanchez, M. Herrmann, A. Alias, S. Calmanti, F. Sevault, (1) Météo-France/CNRS, CNRM-GAME*

Estimation des flux de chaleur air-mer en Méditerranée: incertitudes dans les observations et les modèles climatiques régionaux

*Solen Queguiner, Eric Martin, Sébastien Lafont, Jean-Christophe Calvet, Stéphanie Faroux (CNRM-GAME/GMME)*

Incertitudes liées aux processus de surface dans le cadre d'une étude d'impact du changement climatique : cas de la zone méditerranéenne française (projet MEDUP)

*Cindy Lebeauvin Brossier (LMD/IPSL), Karine Béranger (ENSTA-ParisTech) et Philippe Drobinski (LMD/IPSL)*

Développement d'un couplage régional océan-atmosphère : Quelles sont les résolutions spatiale et temporelle requises pour la modélisation à haute-résolution de la Méditerranée ?

*Marine Herrmann, Samuel Somot, Michel Déqué, Antoinette Alias, Clotilde Dubois*

Evaluation des incertitudes liées à la configuration du modèle régional de climat dans la représentation du vent en Méditerranée

*Florian Pantillon (LA), Jean-Pierre Chaboureau (LA), Christine Lac (CNRM) et Patrick Mascart (LA)*

Prévisibilité des dépressions méditerranéennes : modélisation à très haute résolution et moyenne échéance avec Méso-NH

*A. Schaeffer (LSEET, IFREMER), P. Fraunie (LSEET), P. Garreau (IFREMER),*

*A. Molcard (LSEET), Y. Seity (CNRM), J. Poitevin (CNRM)*

Étude de l'impact du forçage météorologique à haute résolution AROME sur la circulation côtière dans le Golfe du Lion

**10 h 40 - 11 h 30 *Visite Posters et Pause Café***

**11 h 30 - 12 h 50 *Techniques numériques et techniques de couplage : modérateur Christophe Cassou***

*11 h 30 - 11 h 50 Alberto CASADO-LOPEZ(LMD/IPSL), Laurent LI(LMD/IPSL), Samuel SOMOT(Météo France/CNRM), Emilia SANCHEZ-GOMEZ(Cerfacs)*

Incertitudes des flux de chaleur à partir d'un modèle couplé régional de la Méditerranée

11 h 50 - 12 h 10 *E. Sanchez-Gomez (CERFACS, SUC-URA 1875), S. Somot (CNRM/GAME) et A Mariotti (ENEA)*

Incertitudes du changement climatique sur le bilan d'eau en Mer Méditerranée avec un ensemble de modèles régionaux

12 h 10 - 12 h 30 *Jeanne Colin (CNRM/GMGEC/EAC), Michel Déqué (CNRM/GMGEC/EAC), Samuel Somot (CNRM/GMGEC/EAC), Olivier Nuissier (CNRM/GMME/MICADO), Bruno Joly (CNRM/GMAP/RECYF)*

Représentation des événements de pluies diluviennes dans le Sud-Est de la France par le modèle ALADIN-Climat : comparaison à une méthode de downscaling statistique

12 h 30 - 12 h 50 *Voitus Fabrice et Ludovic Auger, CNRM-GAME/GMAP*

Incertitudes liés au couplage latéral dans les modèles régionaux

### **12 h 50 - 14 h Pause déjeuner**

### **14 h - 15 h 00 Techniques numériques et techniques de couplage : modératrice Christine Lac**

14 h - 14 h 20 *Vincent Vionnet (CNRM/GMME/MOSAYC) Eric Martin (CNRM/GMME/MOSAYC) Eric Brun (CNRM/GMGEC) Christine Lac (CNRM/GMME/MesoNH) Valéry Masson (CNRM/GMME/TURBAU) Yves Durand (CNRM/CEN)*

Introduction d'un schéma de transport de neige par le vent dans un modèle atmosphérique

14 h 20 - 14 h 40 *Eric BAZILE (CNRM/GAME), Yann SEITY (CNRM/GAME), Sylvie MALARDEL (ECMWF)*

Source d'incertitudes des prévisions des quantités de précipitations à 2.5Km

14 h 40 - 15 h *Irène Korsakissok (CEREA) et Vivien Mallet (INRIA)*

Techniques statistiques de réduction d'échelle pour la modélisation de la qualité de l'air

### **15 h - 16 h 05 Paramétrisations Physiques**

#### **15 h - 16 h 05 Présentation Posters (5 minutes par poster) : modératrice Isabelle Beau**

*Jean-François Guérémy CNRM/GMGEC*

Nouveau schéma de convection dans ARPEGE-Climat; validation 1D, 3D climat et prévision saisonnière

*D. POLLACK (ENM), I.BEAU et J.F GUEREMY (CNRM/GMGEC/EAC)*

Méthode d'évaluation des schémas de paramétrisation sur l'Afrique de l'Ouest

*F. Guichard, A. Gounou et F. Couvreur (CNRM, CNRS et Météo-France)*

Le cycle diurne des basses couches atmosphériques en Afrique de l'ouest: évaluation des analyses et ré-analyses ECMWF et ARPEGE-Tropiques

*Isabelle TOBIN, Jean-Yves GRANDPEIX, Sandrine BONY (LMD)*

Caractérisation des poches froides simulées par un modèle de circulation générale (MCG) et impact sur la représentation de la pluie

*Nicolas Rochetin (LMD/IPSL, Univ Paris 6), Jean-Yves Grandpeix (LMD/IPSL, Paris 6), Paolina Cerlini (UNIPG, Perouse, Italie)*

Etude de la sensibilité de la convection aux conditions de surface: comparaison de simulations CRM et SCM

*Christelle Castet, Sandrine Bony, Jean-Louis Dufresne*

Est-il possible de contraindre la sensibilité climatique future à partir de l'étude des rétroactions dans des expériences de changement climatique passé et futur?

*F. Chéruy, J.C. Dupont, F. Hourdin, M. Haeffelin, A. Campoy Laboratoire de Météorologie Dynamique du CNRS*

Evaluation du modèle de climat du LMD à partir de longues séries de mesures issues d'observatoires atmosphériques (SIRTA)

*Jingmei YU, Jean-Yves GRANDPEIX (Laboratoire de Météorologie Dynamique)*

Une nouvelle paramétrisation dans les GCMs : L'effet thermique de l'orographie sous-maille sur le déclenchement de la convection profonde

*J. Lémond, L. Picon, R. Roca (LMD)*

L'air sec de la troposphère libre intertropicale dans le modèle de l'IPSL (IPSL-CM4) : analyse et comparaison à l'aide de réanalyses et d'observations satellites

*MP Lefebvre (LMD/CNRM), I Beau (CNRM), JL Dufresne (LMD), JY Grandpeix (LMD), JF Guérémy (CNRM), F Hourdin (LMD), P Marquet (CNRM), C Rio (LMD)*

Evolution des physiques des modèles CNRM-Arpege-Climat et IPSL-LMDZ: résultats sur les cas RICO et TOGA-COARE

*Hugo Bellenger (Laboratoire de Météorologie Dynamique, LMD), Jean-Philippe Duvel (LMD) et Prince Xavier (UKMO)*

Rôle de l'interaction océan atmosphère dans l'organisation de la convection à l'échelle intrasaisonnière dans les tropiques

*Sylvain Mailler, François Lott (LMD/ENS)*

Impact synoptique des forces de portance exercées par les chaînes de montagnes d'échelle continentale

*A. Campoy, A. Ducharne, F. Cheruy, J.-C. Dupont, M. Haeffelin, F. Hourdin (Sisyphé/UPMC, LMD/IPSL, IPSL)*

Impact du schéma de surface sur la simulation de la météorologie locale au SIRTA

## **16 h 05 - 16 h 45 Visite Posters et Pause Café**

### **16 h 45 - 18 h 05 Paramétrisations Physiques**

### **16 h 45 - 17 h 25 Les physiques du LMD et du CNRM : modératrice Marie-Pierre Lefebvre**

16 h 45 - 17 h 05 *F. Hourdin et al. (LMD/IPSL, CNRM)*

Apport de la « nouvelle physique » du modèle de climat LMDZ

17 h 05 - 17 h 25 *François BOUYSSSEL, Eric BAZILE, Isabelle BEAU, Yves BOUTELOUP, Michel DEQUE, Jean-François GUEREMY, Pascal MARQUET, Jean-Marcel PIRIOU (CNRM/GAME)*

Stratégie de validation d'une physique commune PNT et CLIMAT dans ARPEGE

**17 h 25 - 18 h 05 Validation des modèles à grande échelle/observations :  
modératrice Frédérique Chéruy**

17 h 25 - 17 h 45 *D.Konsta, H.Chepfer, J-L. Dufresne (LMD/UPMC-Ecole Polytechnique)*  
Evaluation des nuages dans les modèles climatiques à partir des observations de l'Atrain

17 h 45 - 18 h 05 *Fleur COUVREUX, Dominique BOUNIOL, Pierre-Honoré KAMSU-TAMO,  
Madeleine LEPLAY, Ewan O'CONNOR, Françoise GUICHARD, François  
BOUYSSSEL, Jean-Marcel PIRIOU, Frédéric HOURDIN*  
Evaluation de la représentation des nuages en Afrique de l'Ouest

**Jeudi 28 janvier 2010**

**9 h - 10 h 40 Paramétrisations Physiques**

**9 h - 10 h Etude de processus : modératrice Françoise Guichard**

9 h - 9 h 20 *Gounou A., Couvreur F., Guichard F., Boone A., Kohler M.*  
Simulations des Cycles Diurnes de la Mousson Ouest-Africaine

9 h 20 - 9 h 40 *Irina Sandul, Bjorn Stevens1 et Robert Pincus2 1 Max Planck Institute for  
Meteorology, Hamburg, Germany. 2 University of Colorado/NOAA Earth System  
Research Lab, Boulder, Colorado, USA*  
Sur le caractère universel des transitions stratocumulus - cumulus

9 h 40 - 10 h *Céline Planche(1,2), Wolfram Wobrock (1,2) et Andrea Flossmann(1,2) (1)  
Clermont Université, Université Blaise Pascal, LaMP, F-63000 CLERMONT-FD  
(2) CNRS, INSU, UMR 6016, LaMP, F-63177 AUBIERE*  
Analyse des processus microphysiques : interactions avec les particules d'aérosol et  
effets sur les précipitations dans un système convectif observé lors de COPS

**10 h - 10 h 40 Amélioration et impact des schémas : modérateur François Bouysse**

10 h - 10 h 20 *TURNER, Sandra, Jean-Louis BRENGUIER et Christine LAC (Météo-  
France/CNRM)*  
Paramétrisation sous-maille des précipitations pour un modèle de méso-échelle

10 h 20 - 10 h 40 *Jean-Yves Grandpeix, Jean-Philippe Lafore, Romain Roehrig, Frédérique  
Chéruy*  
La nouvelle paramétrisation des courants de densité du LMD et du CNRM

**10 h 40 - 11 h 30 Visite Posters et Pause café**

**11 h 30 - 12 h 30 Paramétrisations Physiques**

**Amélioration et impact des schémas : modérateur François Bouysse  
(suite)**

11 h 30 - 11 h 50 *Arnaud Jam (Laboratoire de Méteorologie Dynamique du CNRS, IPSL, Paris)*  
Vers un modèle de nuage pour la représentation des cumulus

11 h 50 - 12 h 10 *Julien CRETAT (1), Benjamin POHL (1), Philippe DROBINSKI (2), Yves RICHARD (1) (1) CRC, CNRS UMR 5210 / Université de Bourgogne, Dijon, France (2) IPSL, LMD / Ecole Polytechnique*  
Sensibilité d'un modèle à aire limitée à sa paramétrisation physique : Application à l'Afrique australe

12 h 10 - 12 h 30 A. *Catarino, F. Cheruy, F. Hourdin*  
Sensibilité d'un modèle uni-colonne aux forçages de grande échelle: Cas de petits cumulus océaniques.

12 h 30 - 12 h 50 Florent Brient, Sandrine Bony, Jean-Louis Dufresne (LMD/IPSL)  
Analyse des rétroactions nuageuses en changement climatique par une hiérarchie de modèles

**12 h 50 - 14 h Pause déjeuner**

**14 h - 17 h Discussion DEPHY**

**17 h 00 Fin des AMA 2010**



## SOMMAIRE

<b>PRISE EN COMPTE DES INCERTITUDES DANS LES CONDITIONS INITIALES PAR L'APPROCHE ENSEMBLISTE .....</b>	<b>17</b>
Evolution temporelle de l'erreur dans des modèles atmosphériques non linéaires .....	19
Diagnostics a posteriori dans une assimilation d'ensemble variationnelle .....	20
L'assimilation d'ensemble opérationnelle à Météo-France .....	21
Adaptation d'un filtre particulaire à un modèle 1D de prévision du brouillard.....	21
Simulations d'ensemble à échelle convective des événements fortement précipitants méditerranéens avec le modèle AROME.....	22
Utilisation de prévisions d'ensemble pour la modélisation des erreurs liées au transport appliqué à l'inversion du CO2 à méso-échelle .....	23
Calibration d'ensemble pour l'estimation d'incertitudes en qualité de l'air.....	24
<b>APPROCHE ENSEMBLISTE : SESSION POSTER .....</b>	<b>25</b>
Sources d'incertitudes dans la modélisation des dérives en mer .....	27
Amélioration des statistiques des erreurs d'ébauche pour l'analyse de l'état hydrique des sols .....	27
Modèle de covariance hétérogène basé sur l'opérateur de diffusion: vers une application pour l'atmosphère.....	28
Estimation de la température par patch pur sur un pixel à l'aide d'un filtre particulaire .....	28
Test de différentes configurations d'une chaîne de prévision d'ensemble hydrologique et impact sur ses scores.....	29
Estimation des besoins en eau des cultures agricoles à partir de données de télédétection à hautes résolutions spatiale et temporelle .....	30
Méthodes d'initialisation des prévisions d'ensemble .....	31
<b>APPROCHE ENSEMBLISTE EN PREVISION HYDROMETEOROLOGIQUE .....</b>	<b>33</b>
Couplage entre prévisions météorologiques d'ensembles et modèles hydrologiques : analyse et modélisation des incertitudes pour une bonne calibration statistique.....	35
Prévision d'ensemble hydrométéorologique des crues rapides méditerranéennes .....	36
<b>TECHNIQUES NUMERIQUES ET TECHNIQUES DE COUPLAGE .....</b>	<b>37</b>
La mousson africaine dans un modèle de circulation générale quasi-parfait .....	39
Prévisions saisonnières de précipitation en Afrique de l'Ouest : évaluation des simulations ENSEMBLES stream 2 .....	39
Bilan énergétique de surface et précipitation en Afrique de l'ouest : intercomparaison GCMs-observations.....	40
Choix de la résolution horizontale atmosphérique du modèle climat IPSL .....	41
Effet du guidage sur la représentation des processus de petite échelle dans la régionalisation du climat.....	42

Estimation des flux de chaleur air-mer en Méditerranée: incertitudes dans les observations et les modèles climatiques régionaux .....	43
Incertitudes liées aux processus de surface dans le cadre d'une étude d'impact du changement climatique : cas de la zone méditerranéenne française (projet MEDUP). .....	44
Développement d'un couplage régional océan-atmosphère : Quelles sont les résolutions spatiale et temporelle requises pour la modélisation à haute-résolution de la Méditerranée ? .....	45
Evaluation des incertitudes liées à la configuration du modèle régional de climat dans la représentation du vent en Méditerranée.....	46
Prévisibilité des dépressions méditerranéennes : modélisation à très haute résolution et moyenne échéance avec Méso-NH .....	46
Étude de l'impact du forçage météorologique à haute résolution AROME sur la circulation côtière dans le Golfe du Lion .....	47
Incertitudes des flux de chaleur à partir d'un modèle couplé régional de la Méditerranée ..	48
Incertitudes du changement climatique sur le bilan d'eau en Mer Méditerranée avec un ensemble de modèles régionaux.....	49
Représentation des évènements de pluies diluviennes dans le Sud-Est de la France par le modèle ALADIN-Climat : comparaison à une méthode de downscaling statistique.....	50
Incertitudes liés au couplage latéral dans les modèles régionaux .....	50
Introduction d'un schéma de transport de neige par le vent dans un modèle atmosphérique .....	51
Source d'incertitudes des prévisions des quantités de précipitations à 2.5Km.....	51
Techniques statistiques de réduction d'échelle pour la modélisation de la qualité de l'air ...	52
<b>PARAMETRISATIONS PHYSIQUES : POSTERS .....</b>	<b>53</b>
Nouveau schéma de convection dans ARPEGE-Climat; validation 1D, 3D climat et prévision saisonnière. ....	55
Méthode d'évaluation des schémas de paramétrisation sur l'Afrique de l'Ouest.....	56
Le cycle diurne des basses couches atmosphériques en Afrique de l'ouest : évaluation des analyses et ré-analyses ECMWF et ARPEGE-Tropiques .....	57
Caractérisation des poches froides simulées par un modèle de circulation générale (MCG) et impact sur la représentation de la pluie.....	58
Etude de la sensibilité de la convection aux conditions de surface: comparaison de simulations CRM et SCM.....	59
Est-il possible de contraindre la sensibilité climatique future à partir de l'étude des rétroactions dans des expériences de changement climatique passé et futur? .....	59
Evaluation du modèle de climat du LMD à partir de longues séries de mesures issues d'observatoires atmosphériques (SIRTA).....	60
Une nouvelle paramétrisation dans les GCM : L'effet thermique de l'orographie sous-maille sur la déclenchement de la convection profonde.....	61
L'air sec de la troposphère libre intertropicale dans le modèle de l'IPSL (IPSL-CM4) : analyse et comparaison à l'aide de réanalyses et d'observations satellites.....	62
Evolution des physiques des modèles CNRM-Arpege-Climat et IPSL-LMDZ: résultats sur les cas RICO et TOGA-COARE .....	63
Rôle de l'interaction océan atmosphère dans l'organisation de la convection à l'échelle intrasaisonnière dans les tropiques .....	64
Impact synoptique des forces de portance exercées par les chaînes de montagnes d'échelle continentale .....	65
Impact du schéma de surface sur la simulation de la météorologie locale au SIRTA .....	66

LES PHYSIQUES DU LMD ET DU CNRM.....	67
Apport de la « nouvelle physique » du modèle de climat LMDZ.....	69
Stratégie de validation d'une physique commune PNT et CLIMAT dans ARPEGE .....	70
VALIDATION DES MODELES A GRANDE ECHELLE/OBSERVATIONS	71
Evaluation des nuages dans les modèles climatiques à partir des observations de l'A-train	73
Evaluation de la représentation des nuages en Afrique de l'Ouest.....	74
ETUDE DE PROCESSUS .....	75
Simulations des Cycles Diurnes de la Mousson Ouest-Africaine.....	77
Sur le caractère universel des transitions stratocumulus - cumulus .....	77
Analyse des processus microphysiques : interactions avec les particules d'aérosol et effets sur les précipitations dans un système convectif observé lors de COPS.....	78
AMELIORATION ET IMPACT DES SCHEMAS .....	79
Paramétrisation sous-maille des précipitations pour un modèle de méso-échelle .....	81
La nouvelle paramétrisation des courants de densité du LMD et du CNRM .....	82
Vers un modèle de nuage pour la représentation des cumulus .....	83
Sensibilité d'un modèle à aire limitée à sa paramétrisation physique: Application à l'Afrique australe .....	83
Sensibilité d'un modèle uni-colonne aux forçages de grande échelle: Cas de petits cumulus océaniques.....	84
Analyse des rétroactions nuageuses en changement climatique par une hiérarchie de modèles.....	85



**PRISE EN COMPTE DES INCERTITUDES DANS LES CONDITIONS  
INITIALES PAR L'APPROCHE ENSEMBLISTE**



## ***Evolution temporelle de l'erreur dans des modèles atmosphériques non linéaires***

Juvanon du Vachat Régis (Société Météorologique de France)

L'étude des erreurs d'un modèle numérique peut s'aborder de différentes façons mettant en évidence les différents types d'erreur considérés en Analyse Numérique (erreur de troncature et erreur d'approximation de la solution). Ceci est particulièrement instructif lorsque celle-ci est calculable, notamment pour des modèles linéaires simples. Des difficultés apparaissent naturellement lorsque l'on s'intéresse à un modèle non linéaire comme celui de Lorenz (1963) qui est fréquemment utilisé pour représenter un modèle météorologique non linéaire suffisamment réaliste. La possibilité de différents régimes et d'un comportement chaotique rend plus complexe cette étude qui sera présentée selon les travaux de J. Teixeira et al.(2007). On examinera aussi ce type de croissance d'erreur avec un modèle numérique opérationnel de prévision météorologique, qui permettra de conclure sur la validité et le réalisme des études précédentes. Enfin on résumera les enseignements que l'on peut tirer des études similaires de croissance d'erreur d'un modèle numérique à travers les articles classiques de C. Nicolis (2003, 2004).

Lorenz E.N., 1963 : Deterministic nonperiodic flow. J. Atmos. Sci., 20, 130-141.

Nicolis C., 2003 : Dynamics of model errors: some generic features. J. Atmos. Sci., 60, 2208-2218.

Nicolis C., 2004 : Dynamics of model errors: the role of unresolved scales revisited. J. Atmos. Sci., 61, 1740-1753.

Teixeira J., C.A. Reynolds, and K. Rudd, 2007 : Time step sensitivity of nonlinear atmospheric models : Numerical convergence, truncation error growth and ensemble design. J. Atmos. Sci., 64, 175-189. Modélisation à micro-échelle des hétérogénéités spatiales de l'écoulement sur le site du SIRTA, avec le code Mercure-Saturne

## *Diagnostics a posteriori dans une assimilation d'ensemble variationnelle*

G. Desroziers (CNRM/GMAP), L. Berre (CNRM/GMAP) et L. Raynaud (CNRM/GMAP)

La plupart des centres de prévision numérique du temps utilise aujourd'hui des schémas d'assimilation variationnelle.

Ces systèmes reposent toujours sur la théorie de l'estimation, dans laquelle deux sources d'information, une ébauche et des observations, sont combinées.

L'optimalité de tels problèmes de grande taille n'est pas garantie, puisqu'ils reposent sur différentes approximations. Il a été montré qu'une manière de mesurer l'optimalité des schémas variationnels est de comparer les valeurs observées des sous-parties de la fonction coût, au minimum, à leurs espérances statistiques théoriques, dont les expressions peuvent être dérivées formellement.

Une part de la sous-optimalité des schémas variationnels est liée au manque de dépendance à la situation de la matrice  $B$  de covariance des erreurs d'ébauche. Certains centres tendent à mettre en oeuvre des systèmes d'assimilation d'ensemble basés sur des techniques de type Ensemble Kalman Filter (EnKF), de manière à documenter la dépendance à la situation de la matrice  $B$ . Une autre approche mise en oeuvre opérationnellement à Météo-France est de s'appuyer sur un ensemble d'assimilations variationnelles perturbées, qui calque l'évolution des erreurs dans le système de prévision déterministe.

Il est montré que les espérances statistiques de la fonction coût sont des sous-produits directs d'une assimilation d'ensemble variationnelle.

De tels diagnostics a posteriori peuvent être utilisés pour optimiser les statistiques des erreurs d'observation mais aussi des erreurs d'ébauche. Ils permettent en particulier d'estimer l'inflation de variance d'erreur d'ébauche nécessaire pour représenter l'effet de l'erreur de modèle omise dans l'ensemble d'assimilations.

Les espérances statistiques de sous-parties de la fonction coût associées aux observations sont, par ailleurs, directement reliées aux sensibilités de l'analyse aux différents jeux d'observations. Il est ainsi montré que les poids des différentes sources d'observations dans l'analyse peuvent être obtenus par ces diagnostics ensemblistes.

Une application à l'assimilation d'ensemble Arpège est présentée.

## ***L'assimilation d'ensemble opérationnelle à Météo-France***

L. Berre (CNRM/GMAP), G. Desroziers (CNRM/GMAP), et L. Raynaud (CNRM/GMAP)

L'assimilation d'ensemble consiste à simuler les erreurs qui affectent le système d'assimilation, ainsi que leur évolution au cours des cycles d'analyse et de prévision. Cela permet en particulier d'estimer la dépendance des covariances d'erreur de prévision par rapport à la situation météorologique.

Dans ce contexte, une assimilation d'ensemble est mise en oeuvre de façon opérationnelle à Météo-France depuis juillet 2008. Les spécificités de ce système seront présentées, comme le recours à une approche variationnelle cohérente, ainsi que l'utilisation de techniques de filtrage spatial des variances et des corrélations.

La validation de ce système à l'aide d'études d'impact et de comparaison avec les écarts entre observations et prévisions sera évoquée, ainsi que l'expérimentation d'assimilations d'ensemble régionales à haute résolution.

## ***Adaptation d'un filtre particulière à un modèle 1D de prévision du brouillard***

S. Rémy (CNRM) , O. Pannekoucke (CNRM) , T. Bergot (CNRM) and C. Baehr (CNRM)

Les filtres à particules sont une méthode de filtrage non-linéaire qui consiste à estimer la densité de probabilité de l'ébauche à partir d'un nombre fini d'ébauches ou particules. Le nombre de particules nécessaire à un bon fonctionnement du filtre varie selon la taille du système et le type de filtre à particules utilisé. Plusieurs études ont montré le potentiel de cette méthode d'assimilation de données, mais aussi les difficultés associées à son implémentation.

Un filtre à particule avec sélection génétique a été adapté à la prévision déterministe 1D du brouillard à l'aide du modèle COBEL-ISBA. Les observations ont été assimilées dans une fenêtre d'assimilation au lieu d'un point temporel donné, ce qui maximise leur impact. Ce nouveau type de système d'assimilation donne de bons résultats avec des observations simulées, et ce avec relativement peu de particules.

## ***Simulations d'ensemble à échelle convective des événements fortement précipitants méditerranéens avec le modèle AROME***

B. Vié, O. Nuissier, V. Ducrocq (Météo-France-CNRS, CNRM-GAME/GMME/MICADO)

L'utilisation de modèles non-hydrostatiques à échelle kilométrique, comme le modèle AROME de Météo-France, apporte un gain sensible de réalisme aux simulations des orages cévenols, qui cependant ne s'accompagne pas nécessairement d'une amélioration de la prévision quantitative des précipitations. Il apparaît indispensable d'évaluer l'incertitude associée à ces prévisions à échelle convective, provenant de trois sources distinctes: les erreurs modèle d'une part, et les incertitudes sur les conditions initiales et les conditions aux limites d'autre part.

Nous avons développé pour cette étude deux méthodes séparées de génération d'ensemble à fine échelle: la première utilise les membres de la prévision d'ensemble à grande échelle PEARP comme initialisation et couplage des membres de l'ensemble à haute résolution, la seconde utilise une technique d'assimilation d'ensemble (assimilation d'observations perturbées) pour générer les états initiaux à méso-échelle. Nous pouvons ainsi comparer l'impact des incertitudes sur l'état initial à méso-échelle à celui des incertitudes d'échelle synoptique introduit par les conditions aux limites.

L'évaluation des deux ensembles porte d'abord sur deux cas d'étude très différents, les 20 octobre et 1<sup>er</sup>-2 novembre 2008. Nous les comparons ensuite de façon probabiliste sur une période d'un mois, du 6 octobre 2008 au 6 novembre 2008, comprenant des situations météorologiques variées (précipitations convectives ou non, temps sec...).

## ***Utilisation de prévisions d'ensemble pour la modélisation des erreurs liées au transport appliqué à l'inversion du CO<sub>2</sub> à méso-échelle***

Olivier Pannekoucke (CNRM/GAME), Thomas Lauvaux (Department of Meteorology, Pennsylvania State University), Claire Sarrat (Cerfacs), Peter Rayner (LSCE), Frédéric Chevallier (LSCE) et J. Noilhan (CNRM)

Les méthodes d'inversion des flux de carbone à partir d'observations des concentrations atmosphériques ont permis de quantifier plus précisément les contributions des différents réservoirs continentaux et océaniques dans le cycle du carbone. La sensibilité des concentrations aux flux de surface est obtenue par un adjoint du transport atmosphérique, sous forme d'un opérateur linéaire simplifié. Cependant, les erreurs de transport, qui dominent les erreurs d'observation, sont supposées indépendantes dans le temps et dans l'espace. Nous proposons ici d'estimer les structures spatiale (longueur de portée) et temporelle de l'erreur de transport par modélisation des corrélations dans le cadre d'une inversion des flux à méso-échelle.

L'approche envisagée est alors de modéliser les fonctions de corrélations à l'aide d'un opérateur de diffusion capable de représenter les anisotropies locales. Ce modèle nécessite la donnée des tenseurs de diffusion locale. Ces tenseurs sont estimés à partir d'un ensemble de prévision, via le diagnostic des longueurs de portées locales. Il est ensuite possible de comparer les longueurs de portées brutes à celles représentées par l'opérateur de diffusion.

Il apparaît que les portées modélisées par la diffusion sont mieux structurées en particulier sur les reliefs, et le bruit est réduit de 10 à 20% en moyenne sur le domaine. Les faibles valeurs observées le long de la côte océanique sont filtrées par la méthode, avec une structure spatiale plus homogène le jour et la nuit. Finalement, la prise en compte des corrélations spatiales dans le système d'inversion tend à diminuer la contrainte sur les flux de l'ordre de 10%, tandis que la composante temporelle affecte directement la distribution de la réduction d'erreur finale en renforçant ou en diminuant la contrainte sur les flux de l'ordre de 15%.

## *Calibration d'ensemble pour l'estimation d'incertitudes en qualité de l'air*

Damien Garaud (1) et Vivien Mallet (2). 1: CEREAs -- 2: INRIA

Les modèles de qualité de l'air permettent d'estimer les concentrations de polluants dans l'atmosphère et plus particulièrement au voisinage du sol. Ces modèles, souvent appelés modèles de "chimie-transport", reposent sur un système d'équations d'advection-diffusion-réaction. Les coefficients de ces équations, ainsi que l'intégration numérique du système, sont entachés d'incertitude. On compte trois sources d'incertitude :

- (i) les données d'entrée (champs météorologiques, sources d'émission, conditions aux limites);
- (ii) les paramétrisations physiques (cinétique chimique, modélisation de la turbulence);
- (iii) les schémas numériques.

En raison du niveau élevé de ces incertitudes, il est important de pouvoir les estimer. Pour cela, une stratégie consiste à reposer sur un ensemble de modèles censé prendre en compte toutes les sources d'incertitude. Une étape clé est donc la génération de l'ensemble. On propose de générer un ensemble avec des modèles construits sur la même plate-forme de modélisation. L'utilisateur construit un modèle en choisissant les différentes paramétrisations physiques, schémas numériques et données d'entrée disponibles. Dans le cas de simulations photochimiques, on dispose d'une trentaine d'alternatives, et plus de 600 milliards de modèles peuvent être générés.

Une méthode de génération automatique d'ensemble a été développée sur cette base. Une probabilité est donnée à chaque option dans le but de réaliser un tirage aléatoire efficace d'une centaine de modèles. Deux ensembles de 100 simulations photochimiques à l'échelle européenne ont été générés pour toute l'année 2001.

A l'aide de l'ensemble précédemment généré, il est possible de mesurer l'incertitude en calculant l'écart type de l'ensemble. Néanmoins, en l'absence de calibration, l'ensemble n'est pas nécessairement représentatif de l'incertitude. La calibration de l'ensemble consiste à sélectionner un sous-ensemble optimisant d'un critère objectif. Ainsi, un certain nombre de scores d'ensemble tels que le diagramme de rang, le score de Brier, le diagramme de fiabilité, peuvent être calculés et sont utilisés afin de calibrer l'ensemble.

**APPROCHE ENSEMBLISTE : SESSION POSTER**



## ***Sources d'incertitudes dans la modélisation des dérives en mer***

Pierre DANIEL, Denis PARADIS, Valérie ULVOAS, (Météo-France, DPrévi/MAR),  
Stéphane LAW CHUNE (Mercator-Océan)

Le modèle MOTHY est utilisé environ 700 fois par an pour prévoir la dérive des nappes d'hydrocarbures à la surface de la mer et aussi pour fournir une assistance aux opérations de recherche et sauvetage (personnes à la mer, embarcations, etc...).

Les sources d'incertitude sont nombreuses. En premier lieu, il s'agit de l'incertitude sur les conditions initiales. Tout le pétrole déversé en mer a-t-il été observé; quelle est l'immersion du conteneur tombé à l'eau; quelle est l'orientation initiale du navire par rapport au vent; la personne tombée à la mer avait-elle une brassière, une combinaison de survie? Autant de questions à prendre en compte dans les calculs de dérive. Ensuite, il y a les incertitudes sur les forçages. Le vent est généralement le principal moteur de la dérive, mais dans certaines régions telles que la Méditerranée, les courants océaniques jouent un grand rôle et les incertitudes associées sont très grandes.

On présentera les techniques utilisées pour prendre en compte ces incertitudes: méthodes de Monte Carlo, prévisions d'ensemble multi forçages, multi modèles. On s'appuiera sur des exemples concrets lors d'accidents ou d'exercices. Enfin des recommandations seront formulées pour gérer ces incertitudes en situation opérationnelle.

## ***Amélioration des statistiques des erreurs d'ébauche pour l'analyse de l'état hydrique des sols***

Jean-François Mahfouf CNRM/GAME

Les systèmes d'analyse de surface pour les modèles de prévision du temps reposent sur des méthodes statistiques (interpolation optimale en opérationnel et filtre de Kalman Etendu en développement) qui nécessitent la connaissance des erreurs d'ébauche pour les variables contenu en eau et température dans le sol. Dans la plupart de ces systèmes, ces erreurs sont spécifiées a priori à une valeur constante qui ne dépend ni de l'espace ni du temps. En vue d'améliorer cette situation peu satisfaisante on examine plusieurs méthodes permettant d'approximer les statistiques d'erreur d'ébauche des variables dans le sol (prévisions décalées, assimilations d'ensemble) avec le modèle ALADIN-France. Ces statistiques sont ensuite utilisées dans une assimilation de données basée sur un filtre de Kalman Etendu. On compare les analyses obtenues avec celles issues d'un système prescrivant des erreurs constantes. Finalement, On dresse quelques perspectives sur les améliorations envisagées de ces premières estimations et sur les adaptations possibles pour le modèle AROME.

## ***Modèle de covariance hétérogène basé sur l'opérateur de diffusion: vers une application pour l'atmosphère.***

Olivier Pannekoucke (CNRM/GAME), Sébastien Massart (CERFACS), Laurent Vézard (INSA).

La grande taille des matrices de covariance rencontrées en météorologie implique qu'elles doivent être modélisées. Parmi les modèles de covariance hétérogène, celui basé sur l'équation de diffusion est particulièrement intéressant. En effet, il permet de représenter des fonctions de covariance très anisotrope. Cependant, il nécessite de spécifier des tenseurs de diffusion locale, inconnus /a priori/. Ensuite il ne permet pas de représenter la non-séparabilité entre l'horizontal et la verticale. Et enfin, une diffusion classique ne permet pas de produire des lobes négatifs.

Dans cette présentation, des solutions sont apportées pour pallier aux limitations intrinsèques de la formulation. Ainsi, une estimation des tenseurs locaux à partir des méthodes ensemblistes est proposée. Un modèle hybride ondelette/diffusion permet de rendre la formulation non-séparable. Une astuce mathématique permet de créer des lobes négatifs. Enfin, un algorithme stochastique est proposé comme une alternative à l'approche déterministe.

## ***Estimation de la température par patch pur sur un pixel à l'aide d'un filtre particulière***

Olivier Pannekoucke (CNRM/GAME), Dominique Carrer (CNRM/GAME)

Les observations satellites fournissent des estimations de température de surface de la terre qui peuvent atteindre la fréquence du quart d'heure (cf. programme SAF-Land <http://landsaf.meteo.pt>). Selon l'instrument utilisé, la taille des pixels peut aller de quelques centaines de mètres à plusieurs kilomètres. Ainsi, une mesure de température par télédétection peut intégrer sur des zones à forte hétérogénéité spatiale l'information émanant d'un mélange de différents types de sol et de végétation. A titre d'exemple, la mesure de température par satellite au-dessus d'une ville représente en général une moyenne des contributions des bâtiments, arbres, herbe, sol nu, et eau.

L'objectif du travail présenté est d'évaluer la faisabilité d'une méthode de désagrégation par type de végétation d'un signal moyen mesuré en se basant sur l'utilisation d'un filtre à particule. Cette étude se situe en amont de son utilisation dans un cadre réel. Le choix du filtre à particule est motivé par les événements de natures non-linéaires que peuvent engendrer passages nuageux ou précipitations sur l'évolution de la température de surface. Ces événements aléatoires sont représentés de manière idéalisée à partir d'une loi de poisson et sont utilisés pour forcer un modèle de sol académique (type 'Force-restore'), intégrant un certain nombre de processus réalistes. Un système comprenant plusieurs types de végétation est ainsi modélisé par le modèle de sol et fournit une évolution temporelle de température moyenne de la surface. L'étude se focalise à estimer la capacité de la méthode à restituer des trajectoires 'pure' par types de végétation à partir de ce signal moyen.

## ***Test de différentes configurations d'une chaîne de prévision d'ensemble hydrologique et impact sur ses scores***

E. Martin, G. Thirel, J. Noilhan (CNRM-GAME/GMME), L. Franchistéguy, F. Regimbeau, J.-M. Soubeyroux (Météo-France/DCLIM/HYDRO) P. Quintana Segui (observatoire de l'Ebre) F Habets (UMR SISYPHE, ENSMP)

Un système de prévisions d'ensemble hydrologiques à 10 jours sur la France a été construit à partir de la chaîne Safran-Isba-Modcou et des sorties du modèle de prévision du CEPMMT. Cette chaîne fonctionne quotidiennement à DCLim/Hydro. Différentes sources d'améliorations ont été testées pour améliorer la qualité de cette chaîne et prendre en compte au mieux les différentes sources de données, que ce soit au niveau de la prévision météorologique (comparaison des prévisions d'ensemble ARPEGE et du CEPMMT), ou au niveau de l'hydrologie, en utilisant une version d'Isba incluant un profil exponentiel de conductivité hydraulique à saturation et en développant un système d'assimilation des débits passés pour améliorer l'état initial du modèle hydrologique, en modifiant l'eau des réservoirs du sol d'ISBA.

On décrira les différentes sources d'amélioration (et les incertitudes associées) qui ont été testées sur cette chaîne, ainsi que leur impact sur la qualité de la prévision d'ensemble des débits.

## ***Estimation des besoins en eau des cultures agricoles à partir de données de télédétection à hautes résolutions spatiale et temporelle***

Martin Claverie (CESBIO) ; Valérie Demarez (CESBIO); Benoît Duchemin (CESBIO); Olivier Hagolle (CESBIO); Eric Ceschia (CESBIO); Pierre Béziat (CESBIO) ;Pascal Keravec (CESBIO) ; Gérard Dedieu (CESBIO)

Les cycles du carbone et de l'eau sont étroitement liés aux activités agricoles. L'agriculture a été en effet identifiée par le rapport 2007 du GIEC comme une option sérieuse de séquestration du carbone dans les sols. Du faite de la pression démographique, la consommation des ressources en eau par les cultures irriguées est progressivement remise en cause. Les modèles de surveillance des cultures, appliquées à une échelle régionale, pourraient apporter un outil opérationnel permettant de quantifier à la fois la production de carbone et la consommation d'eau par les cultures. De plus, la disponibilité récente de capteurs à haute résolution spatiale associée à une haute résolution temporelle comme FORMOSAT-2 et prochainement Venus et Sentinel-2 avec des résolutions spatiale (~ 10 m) et temporel (~ 2 jours) élevée va offrir de nouvelles perspectives pour le suivi agricole. L'objectif de ce travail est de montrer comment les observations multi-temporelles acquises par satellite à haute résolution spatiale sont utiles pour l'estimation de variables biophysiques (indice foliaire - LAI, biomasse aérienne - AGB et de l'évapotranspiration - ET) sur des cultures agricoles. Cette étude se concentre sur trois cultures d'été (irriguées: maïs, soja, et non irriguée: tournesol).

L'approche est basée sur la méthode FAO-56 couplée à un modèle agro-météorologiques s'appuyant sur la théorie de Monteith: Simple Algorithm for Yield Estimation (SAFY). Le couplage constitue un modèle avec un pas de temps quotidien qui estime un certain nombre de variables : les caractéristiques de la plante (LAI, AGB), l'état du sol (teneur en eau du sol) et la demande en eau (ET).

Une importante série d'images FORMOSAT-2 (68 images sur quatre années consécutives, 2006-2009) et de mesures in situ (LAI, AGB, teneur en eau du sol et de données sur le flux ET) a été acquise sur un site d'étude situé au sud-ouest de Toulouse.

Variable clé reliant les observations satellite au model, le LAI est déduit des images de réflectance FORMOSAT-2 en utilisant une relation empirique basée sur un indice de végétation. La plupart des paramètres de SAFY sont dépendants du type de culture ou de sol et ont été fixés selon une étude bibliographique. Deux paramètres majeurs liés à la phénologie des plantes sont calibrés en fonction du LAI observé. Finalement, d'autres variables biophysiques (AGB et ET) sont spatialement estimées par le modèle SAFY ainsi calibré.

Les processus de validation ont été menés à l'échelle locale et régionale. Les estimations et les mesures de biomasse conduisent à un faible écart (RMSE = 324 g.m<sup>-2</sup>). Les ET ont été bien reproduits sur deux champs d'expérimentation comportant une tour de flux. Les comparaisons des mesures de teneur en eau du sol et des estimations permettent de souligner le manque de données concernant la description des sols.

## ***Méthodes d'initialisation des prévisions d'ensemble***

Laurent Descamps (Météo-France, CNRM/GMAP/RECYF)

La prévision d'ensemble est maintenant devenue un outil pleinement opérationnel. Elle vise à prendre en compte et quantifier l'incertitude inhérente à toute prévision météorologique.

Une question encore vivement débattue est celle de l'initialisation des prévisions. En théorie il s'agit de construire un échantillon représentatif de l'incertitude initiale. Dans la pratique cependant, les méthodes utilisées sont parfois assez éloignées de cet objectif théorique. Dans cet exposé différentes méthodes d'initialisation seront présentées et comparées à l'aide de scores objectifs propres aux prévisions probabilistes.



**APPROCHE ENSEMBLISTE EN PREVISION HYDROMETEOROLOGIQUE**



## ***Couplage entre prévisions météorologiques d'ensembles et modèles hydrologiques : analyse et modélisation des incertitudes pour une bonne calibration statistique.***

Joël Gailhard, Thibault Mathevet, Pierre Bernard, Remy Garçon - EDF/DTG

EDF est une entreprise « Météo sensible », et à ce titre utilise de nombreuses prévisions météorologiques. Sans parler de l'anticipation des risques (crues, tempêtes), de nombreux éléments du système de gestion électrique sont conditionnés par la prévision météorologique ou hydrologique : anticipation de la consommation électrique à partir de prévisions de température d'air et de nébulosité, anticipation de la production hydraulique ou éolienne à partir de prévisions de précipitations et de vent, etc. Les opérateurs des outils d'optimisation de la production électrique sont ainsi très largement sensibilisés aux incertitudes et utilisent depuis longtemps des prévisions probabilistes.

Au sein d'EDF, les équipes de DTG opèrent des modèles hydrologiques pour réaliser des prévisions probabilistes de débit à des horizons de temps variables allant de la semaine à quelques mois. Dans un premier temps c'est déjà la prévisibilité « intrinsèque » liée au stockage de l'eau dans les bassins versants qui est valorisée : stockage sous forme de neige en montagne mais également dans les sols. Cette simple information suffit déjà à réduire l'incertitude quand aux écoulements à venir.

Si l'utilisation des sorties numériques des modèles de prévisions météorologiques est utilisée depuis de nombreuses années ce n'est que récemment (depuis 2004) que le couplage a été réalisé avec des modèles de prévisions d'ensembles. Une première expérience nous a permis de valoriser avec succès l'utilisation des prévisions d'ensembles à 14 jours de température d'air pour réaliser des prévisions probabilistes de température d'eau sur les fleuves où sont implantées les centrales nucléaires (Rhône, Loire, Garonne, Meuse, Moselle, Seine). Le couplage entre modèles hydrologiques et prévisions d'ensembles de précipitations est encore plus récent (2008) et ne rentrera dans une phase pleinement opérationnelle qu'en 2010.

Dans ce travail de couplage, un soin particulier a été apporté à la bonne calibration statistique des prévisions probabilistes. Les prévisions probabilistes sont ainsi analysées en terme de biais, de performance et de fiabilité. Le fait de faire l'effort d'assurer une bonne calibration statistique des prévisions nous amène ainsi à aborder de front le traitement des incertitudes en distinguant trois sources d'incertitudes :

- Incertitudes météorologiques traitées par la prévision d'ensemble
- Incertitudes météorologiques résiduelles
- Incertitudes liées au modèle hydrologique.

## ***Prévision d'ensemble hydrométéorologique des crues rapides méditerranéennes***

B. Vincendon 1, V. Ducrocq 1, O. Nuissier 1, B. Vié 1, G-M. Saulnier 2 (1 GAME/CNRM (Météo-France, CNRS), Toulouse, France ; 2 CNRS/EDYTEM, Université de Savoie, Chambéry, France )

Le pourtour Méditerranéen est particulièrement soumis au risque de crue-éclair à l'automne, résultant à la fois des pluies intenses qui s'abattent sur ces régions et de la topographie de la zone. Les bassins versants de la région Cévennes-Vivarais par exemple sont souvent concernés par des crues rapides dont la prévision n'est pas toujours aisée tant en terme de localisation et d'intensité des fortes précipitations qu'en terme de réponse hydrologique des cours d'eau.

Durant l'automne 2008, le système couplé ISBA-TOPMODEL, développé dans le cadre du projet GMES PREVIEW, a été utilisé pour fournir des prévisions de débits horaires sur trois cours d'eau Cévenols à partir des champs météorologiques prévus par le modèle AROME. Ce type de système hydrométéorologique est particulièrement bien adapté à l'évaluation des incertitudes qui affectent les prévisions de pluie à haute résolution ainsi que leur propagation dans le modèle hydrologique.

Dans un premier temps, l'incertitude sur les pluies prévues par AROME déterministe sont évaluées en comparant les résultats de la chaîne AROME/ISBA-TOPMODEL aux débits observés ou simulés à partir de lames d'eau radar.

Puis, deux approches sont développées pour prendre en compte l'incertitude sur la prévision de pluie et produire une prévision d'ensemble de débits. D'abord, un ensemble de simulations atmosphériques à l'échelle convective actuellement à l'étude avec le modèle AROME a été utilisé en entrée du modèle hydrologique ISBA-TOPMODEL. Malgré une dispersion satisfaisante des champs de précipitations, la plupart des membres conduisent à une sous-estimation des débits simulés. En effet, la sensibilité à la localisation des pluies les plus fortes est très importante. Les premiers résultats concernent un cas récent de crues survenu sur les Cévennes les 1er et 2 novembre 2008.

Enfin, pour prendre en compte les erreurs de localisation, des perturbations vont être ajoutées aux champs de précipitations prévues. Une approche orientée objet est actuellement à l'étude pour introduire ces perturbations. Les champs de pluie obtenus pourront être utilisés en entrée d'ISBA-TOPMODEL afin d'obtenir une dispersion plus satisfaisante au niveau hydrologique.

L'objectif final de ce travail est de disposer d'un système de prévisions d'ensemble hydrométéorologiques pour les périodes d'observation spéciales du programme Hymex (<http://www.cnrm.meteo.fr/hymex/>).

**TECHNIQUES NUMERIQUES ET TECHNIQUES DE COUPLAGE**



## ***La mousson africaine dans un modèle de circulation générale quasi-parfait***

Benjamin Pohl (Centre de Recherches de Climatologie, CNRS UMR 5210 / université de Bourgogne) et Hervé Douville (CNRM/GMGEC/UDC)

Exposé

Le modèle de circulation générale ARPEGE-Climat du CNRM présente des biais secs relativement marqués en Afrique de l'Ouest pendant la mousson, même lorsqu'il est forcé par des températures de surface marine observées. Les précipitations sahéliennes restent très inférieures aux observations, en lien avec un flux de mousson de basse troposphère trop faible sur la bande guinéenne et l'océan Atlantique équatorial.

On propose ici de guider le modèle ARPEGE-Climat vers les réanalyses ERA-40 en dehors d'une fenêtre comprenant l'Afrique de l'Ouest et le proche Atlantique (technique dite de nudging en point de grille).

Ce protocole nous permet de:

- (i) analyser l'origine régionale ou de large échelle des biais du modèle sur la région;
- (ii) séparer l'influence des paramètres locaux et de large échelle dans la variabilité spatio-temporelle du système de mousson, à la fois à des pas de temps interannuels et intrasaisonniers;
- (iii) réaliser des expériences de sensibilité aux conditions de surface (humidité du sol, températures de surface marine) pour quantifier l'importance des forçages continentaux et océaniques régionaux sur la variabilité de la mousson.

## ***Prévisions saisonnières de précipitation en Afrique de l'Ouest : évaluation des simulations ENSEMBLES stream 2***

Lauriane Batté et Michel Déqué (Météo-France/CNRM/GMGEC/EAC)

Exposé

L'étude présentée vise à évaluer les prévisions saisonnières du projet ENSEMBLES (stream 2) sur la région de l'Afrique de l'Ouest pendant la saison d'été (juin-juillet-août), en se focalisant sur les précipitations. A cet effet, les prévisions d'ensemble de précipitation des cinq modèles couplés du projet ENSEMBLES sont comparées sur la période 1979-2005 aux données GPCP. On s'intéressera en particulier aux performances des prévisions probabilistes calculées avec les sorties des membres des différents modèles.

Le calcul de plusieurs scores déterministes (ACC) et probabilistes (RPS, valeur économique dans un modèle coût-pertes) donne un aperçu de la prévisibilité des pluies en Afrique de l'Ouest à l'échelle saisonnière et permet de comparer cinq modèles européens de référence. Ces scores permettent également de quantifier l'intérêt de l'approche multi-modèle par rapport à l'utilisation d'un seul modèle pour ces prévisions.

## ***Bilan énergétique de surface et précipitation en Afrique de l'ouest : intercomparaison GCMs-observations***

A. K. Traore, F. Hourdin, F. Favot, F. Guichard, I. Musat, F., L. Kergoat, B. Cappelaere, S. Galle (LMD, CNRM, CESBIO, SHM, LTHE)

Exposé

Les couplages surface-atmosphère jouent un rôle moteur dans la mousson ouest-africaine sur une large gamme d'échelles spatio-temporelles, depuis les échelles régionales et interannuelles jusqu'à la mésoéchelle.

Dans cette étude, les bilans énergétiques de surface issus de simulations GCM réalisées dans le cadre du projet AMMA-MIP (Hourdin et al. BAMS 2009) sont analysés et évalués à l'aide d'observations collectées dans le cadre du projet AMMA, en particulier les stations de flux installées le long du transect méridional climatique de l'Afrique de l'Ouest.

Les modèles de climat comme les modèles de prévision (e.g. ECMWF-IFS) ont des difficultés à positionner correctement l'ITCZ et la bande de pluie associée, et les cumuls de pluie simulés varient beaucoup entre modèles sur cette région notoirement délicate pour la modélisation.

Par ailleurs, les observations suggèrent l'existence de couplages surface-atmosphère, mais de couplages distincts entre la région soudanienne, très nuageuse et pluvieuse pendant la mousson, et le Sahel, moins arrosé et moins nuageux. La pluie joue un rôle majeur sur l'augmentation du rayonnement net (Rnet) à la surface au Sahel pendant la mousson (refroidissement de la surface et croissance de la végétation). Par contre, plus au sud, les nuages représentent le facteur prépondérant limitant Rnet aux échelles journalières (via une diminution du flux solaire incident).

Ce constat conduit à analyser les simulations de manière statistique afin d'explorer si de tels couplages sont reproduits par la modélisation, au delà des biais de positionnement et de cumul de pluie. Pour ce faire, on utilise les valeurs journalières issues des modèles et des observations.

Les résultats de cette analyse indiquent des sensibilités distinctes des différents modèles qui seront présentés plus en détail au cours de l'exposé.

## ***Choix de la résolution horizontale atmosphérique du modèle climat IPSL***

Marie-Alice Foujols, Frédéric Hourdin et l'ensemble du pôle de modélisation du climat de l'IPSL

Poster

Nous avons réalisé en 2008 un jeu cohérent de simulations à différentes résolutions horizontales avec exactement le même modèle (IPSLCM4\_v2),. Nous avons juste changés les pas de temps de la dynamique et quelques coefficients. Nous avons illustré les défauts et qualités du modèle et étudié l'impact du changement de la résolution horizontale atmosphérique sur ceux-ci.

Des simulations idéalisés (+1%CO2par an) ont également permis d'étudier la sensibilité climatique.

Cette étude a abouti au choix de la résolution horizontale atmosphérique pour le prochain exercice CMIP5.

L'exposé synthétisera les résultats les plus significatifs sans oublier le chiffrage des ressources informatiques associées.

## ***Effet du guidage sur la représentation des processus de petite échelle dans la régionalisation du climat***

Hiba Omrani, Philippe Drobinski et Thomas Dubos, Institut Pierre Simon Laplace/Laboratoire de Météorologie Dynamique, École Polytechnique,

Poster

Les projections actuelles du changement climatique réalisées à partir des Modèles de Circulation Générale (Global Climate Model, GCM), décrivent des échelles spatiales de variabilité de l'ordre de quelques centaines de kilomètres. Ces échelles sont trop importantes pour permettre une représentation réaliste de l'impact des processus de petite échelle tel que l'orographie sur les signaux calculés. Le premier objectif de la régionalisation est donc de réduire les échelles des phénomènes résolus par le calcul des changements climatiques en utilisant des modèles emboîtés de haute résolution.

Dans ce travail, nous étudions l'effet du guidage temporel indifférencié sur les grandes et les petites échelles sur un modèle à aire limitée. Il s'agit d'un modèle quasi-géostrophique (QG) à deux couches dans l'approximation du plan bêta forcé aux bords par des données à faible résolution issues de sa version globale avec des conditions limites périodiques. Ce dispositif mime la modélisation régionale. En comparaison avec les travaux de Salameh et al. (2009) qui ont étudié l'existence d'un temps de guidage optimal qui minimise à la fois l'erreur sur la grande et la petite échelle dans un modèle linéaire analytique, nous avons utilisé un modèle complètement non linéaire qui permet une bonne représentation du caractère chaotique du système atmosphérique.

Partant de l'hypothèse que notre modèle est parfait, une petite erreur dans les conditions initiales concentrée essentiellement sur les grandes échelles cascade jusqu'à contaminer les petites échelles, limitant ainsi la prévisibilité de notre modèle. Pour mesurer la prévisibilité de notre modèle QG, nous avons calculé le taux de croissance (Exposant de Lyapunov) de la différence initialement petite entre deux états de l'atmosphère. La prévisibilité du modèle global est principalement contrôlée par l'effet bêta, par contre dans le modèle à aire limitée (Limited Area Model, LAM) la prévisibilité augmente quand la taille du domaine du LAM diminue.

Ensuite l'effet du guidage grande échelle a été examiné en utilisant la méthode du modèle parfait. Pour ce faire, nous avons établi deux expériences: (1) l'effet du guidage a été étudié sur un modèle QG à deux couches de haute résolution guidé par des données à faible résolution. (2) la même expérience a été faite avec le même modèle dans sa version aire limitée LAM avec un nouveau paramètre de contrôle: la taille du domaine. Dans les deux expériences la meilleure corrélation spatiale entre les simulations guidées et la référence a été obtenue avec un temps de guidage de l'ordre du temps de prévisibilité ( $\tau=0.4T_p$ ).

## ***Estimation des flux de chaleur air-mer en Méditerranée: incertitudes dans les observations et les modèles climatiques régionaux***

Somot S. (1), C. Dubois, E. Sanchez, M. Herrmann, A. Alias, S. Calmanti, F. Sevault, (1) Meteo-France/CNRS, CNRM-GAME, TOULOUSE, France (samuel.somot@meteo.fr, 00 33 (0)56107 9362)

Poster

La zone méditerranéenne est un bon cas d'étude pour étudier les flux de chaleur à l'échelle régionale et illustrer les incertitudes présentes dans leur observation (in-situ ou depuis l'espace) et leur modélisation climatique. Cette étude traite des flux air-mer (solaire, infrarouge, latent et sensible) à l'échelle du bassin méditerranéen. Nous établissons un état de l'art des estimations de ces quatre composantes à partir des données in-situ et satellites. Notons que le caractère semi-fermé de la mer Méditerranée permet d'ajouter une contrainte (transport au détroit de Gibraltar) à l'estimation du bilan net en surface. Après avoir illustré l'incertitude des données observées, nous tentons de fournir une estimation de référence ainsi que la barre d'erreur associée.

Dans un deuxième temps, le modèle ALADIN-Climat est utilisé dans différentes configurations sur la zone méditerranéenne. Nous avons réalisé un ensemble de simulations climatiques (multi-décennales) permettant d'étudier les sources d'incertitude liées à la configuration des modèles de climat régionaux lorsqu'ils simulent les flux de chaleur en Méditerranée.

Les impacts relatifs de la taille du domaine, de la résolution spatiale (50 km versus 10 km), des conditions aux frontières latérales (ERA40 versus ERAInterim), de l'utilisation du pilotage spectral, du couplage interactif océan-atmosphère et de la physique du modèle sont évalués.

L'idée est de définir une configuration modèle optimale dans le cadre du projet ANR-MEDUP et du futur projet HyMeX (2010-2020) tout en soulignant les améliorations encore nécessaires dans le domaine de l'observation et de la modélisation des flux de chaleur en Méditerranée.

## ***Incertitudes liées aux processus de surface dans le cadre d'une étude d'impact du changement climatique : cas de la zone méditerranéenne française (projet MEDUP).***

Solen Queguiner, Eric Martin, Sébastien Lafont, Jean-Christophe Calvet, Stéphanie Faroux (CNRM-GAME/GMME)

Poster

De nombreuses études ont déjà utilisé la chaîne Safran-Isba-Modcou pour estimer l'impact du changement climatique sur l'hydrologie des grands bassins versants français. Safran-Isba-Modcou est une chaîne composée d'un système d'analyse météorologique, d'un modèle de surface décrivant les échanges avec l'atmosphère, et d'un modèle hydrologique distribué sur toute la France. Dans le cadre d'une étude d'impact, plusieurs sources d'incertitudes sont à considérer. Certaines ont déjà été explorées dans le cadre de projets récents, comme celles liées à la modélisation climatique ou à la méthode de désagrégation des résultats. Une étude récente, intégrant une meilleure représentation du profil de conductivité hydraulique à saturation dans le sol a montré un impact positif sur la reproduction des extrêmes de débits.

Le travail présenté ici se focalise sur l'incertitude liée à la représentation du cycle du carbone et de la photosynthèse dans le modèle d'impact. Deux versions du modèle ISBA ont été utilisées et comparées. La version standard a été comparée à la version A-gs, qui représente de façon détaillée les processus de photosynthèse, prend en compte la teneur atmosphérique en CO<sub>2</sub> et est capable de calculer l'évolution de la biomasse et du LAI correspondants. La comparaison a été faite dans le cadre du projet MEDUP sur le bassin versant méditerranéen français. Les différents modèles ont été comparés, sur les variables de surface (LAI, bilan d'eau) et les débits, en utilisant une simulation climatique continue haute résolution (scénario A2).

## ***Développement d'un couplage régional océan-atmosphère : Quelles sont les résolutions spatiale et temporelle requises pour la modélisation à haute-résolution de la Méditerranée ?***

Cindy Lebeau-pin Brossier (LMD/IPSL), Karine Béranger (ENSTA-ParisTech) et Philippe Drobinski (LMD/IPSL)

Poster

Dans le cadre du projet MORCE-MED, un couplage interactif est actuellement développé entre le modèle atmosphérique WRF et le modèle océanique NEMO-MED12 (1/12° de résolution, i. e. 6 à 8 km de résolution) pour la région Méditerranée. Le système couplé fait partie de la future plate-forme régionale incluant également la modélisation des surfaces continentales, de la chimie atmosphérique et de la biogéochimie marine.

Avant d'appliquer le couplage interactif entre les deux modèles régionaux, la question de la résolution spatiale et de la fréquence temporelle du couplage est abordée dans la cadre de tests de sensibilité dans le mode forcé. Dans un premier temps, une simulation de contrôle où MED12 est forcé par les flux de chaleur, d'eau douce et de quantité de mouvement issus de WRF à 20km de résolution en moyenne journalière, est évaluée. L'objectif est d'estimer si la résolution horizontale et les paramétrisations physiques de WRF permettent une représentation correcte de la circulation thermohaline et méso-échelle dans MED12.

Ensuite, l'utilisation d'un modèle atmosphérique imbriqué en one-way nesting sur le golfe du Lion a permis d'obtenir des champs de forçage plus fins (6.7 km de résolution). Les effets de ce « patch » à plus fine résolution horizontale seront examinés sur la circulation océanique locale et à l'échelle du bassin. La fréquence temporelle du futur couplage est également abordée dans cette étude. La pertinence d'une fréquence de forçage/couplage à 3 heures ou moins sera notamment mise en évidence pour représenter l'évolution diurne de la couche mélangée et la réponse océanique à fine échelle et à courte échéance sous des événements météorologiques intenses (fort vent, précipitations intenses) fréquents en région méditerranéenne. Enfin, les résultats d'une simulation combinant la haute fréquence temporelle et une plus fine résolution spatiale du forçage sur le Golfe du Lion seront également présentés.

Nos conclusions préliminaires pour le futur couplage interactif et sur une approche « nestée » du couplage seront discutées au cours de la conférence.

## ***Evaluation des incertitudes liées à la configuration du modèle régional de climat dans la représentation du vent en Méditerranée***

Marine Herrmann, Samuel Somot, Michel Déqué, Antoinette Alias, Clotilde Dubois

Poster

Cette étude s'attache à évaluer les incertitudes liées à la configuration du modèle régional du climat dans la représentation du climat méditerranéen, en particulier du vent. Pour cela, plusieurs expériences numériques ont été menées avec le modèle ALADIN-Climat forcé aux frontières par ERA40 ou ERAinterim, s'appuyant sur la méthode du "downscaling dynamique". Les résultats ont été comparés en mer Méditerranée avec les données de vent en mer issues de QuikSCAT. Ceci nous permet d'estimer l'influence de la taille du domaine, de la résolution spatiale, du forçage aux frontières, du "spectral nudging" et du couplage océan/atmosphère. Les résultats confirment la valeur ajoutée du downscaling dynamique. Les résultats diffèrent globalement peu, mais la résolution et la taille du domaine jouent un rôle important dans certaines régions précises près des côtes.

## ***Prévisibilité des dépressions méditerranéennes : modélisation à très haute résolution et moyenne échéance avec Méso-NH***

Florian Pantillon (LA), Jean-Pierre Chaboureau (LA), Christine Lac (CNRM) et Patrick Mascart (LA)

Poster

Les dépressions méditerranéennes, et leurs conséquences parfois désastreuses, sont encore mal prédites par les modèles météorologiques opérationnels. La présence d'un thalweg d'altitude, associé à l'onde de Rossby d'Atlantique Nord, favorise le déclenchement d'événements de précipitation intense. Lors de la transition extra-tropicale d'un cyclone dans l'Atlantique Nord, cette onde de Rossby est elle-même souvent mal prédite. La raison en est la mauvaise représentation d'une telle tempête extra-tropicale dans les modèles opérationnels, due en partie à une résolution insuffisante.

L'utilisation d'un modèle à résolution kilométrique permet une représentation explicite de la convection profonde, et améliore ainsi la description d'une tempête extra-tropicale et de son interaction avec l'onde de Rossby. La position du thalweg associé influence le déclenchement ou non de la dépression méditerranéenne dans le modèle, et donc sa prévisibilité.

L'étude se concentre ici sur l'impact de la transition extra-tropicale du cyclone Hélène sur la dépression méditerranéenne qui a touché le Sud de l'Italie le 26 septembre 2006. Les prévisions à 3 jours de l'ECMWF n'avaient pas permis d'anticiper cette dépression, en particulier parce que le thalweg d'altitude n'y était pas bien représenté.

Une simulation Méso-NH à 3 jours d'une résolution similaire de 24 km, sur une grille couvrant le bassin méditerranéen et l'Atlantique Nord, produit un résultat équivalent. Une nouvelle simulation Méso-NH avec un domaine imbriqué, d'une résolution plus fine de 4 km, permet de mieux décrire l'évolution du cyclone Hélène, et en conséquence de mieux modéliser le thalweg d'altitude. Le développement de la dépression méditerranéenne reste toutefois très sensible à la position précise et au creusement de ce thalweg.

## ***Étude de l'impact du forçage météorologique à haute résolution AROME sur la circulation côtière dans le Golfe du Lion***

A. SCHAEFFER (LSEET, IFREMER), P. FRAUNIE (LSEET), P. GARREAU (IFREMER), A. MOLCARD (LSEET), Y. SEITY (CNRM), J. POITEVIN (CNRM)

Poster

L'impact du forçage atmosphérique AROME (2,5 km, 1 heure) sur la modélisation hydrodynamique du Golfe du Lion est analysé en comparaison à ceux des modèles ALADIN (10 km, 3 heures) et MM5 non assimilateur (3 km, 3 heures). La haute-résolution à la fois spatiale et temporelle d'AROME permet de résoudre des échelles plus fines et des processus spécifiques. Spatialement, la variabilité des champs de vent est mieux résolue, présentant plus de structures, de fronts et de rotationnels, dont l'impact est déterminant pour la dynamique de la couche de surface. Temporellement, le forçage horaire permet de mieux représenter les événements de vent extrêmes et impulsifs, ainsi que les cycles diurnes tels les brises thermiques.

Ces trois forçages météorologiques ont été testés dans une configuration hydrodynamique réaliste à haute résolution du Golfe du Lion à l'aide du modèle MARS 3D, sur une période de 3 mois. Les différences induites par les conditions limites de surface issues des trois modèles atmosphériques sont non négligeables, influant aussi bien sur les caractéristiques et la dynamique du courant Liguro-Provençal que sur la stratification du golfe. La haute résolution spatiotemporelle d'AROME permet de générer une contribution énergétique à méso et subméso échelle et de mieux reproduire les épisodes d'upwelling.

## ***Incertitudes des flux de chaleur à partir d'un modèle couplé régional de la Méditerranée***

Alberto CASADO-LOPEZ(LMD/IPSL), Laurent LI(LMD/IPSL), Samuel SOMOT(Météo France/CNRM), Emilia SANCHEZ-GOMEZ(Cerfacs)

exposé

La Mer Méditerranée est une des régions les plus sensibles à un changement climatique de longue échelle de part sa situation comme zone de transition entre un climat désertique au Sud et au nord une zone de passage active d'instabilités baroclines. De plus, cette zone a comme conditions aux limites une orographie remarquable à l'origine de vents très intenses orientés vers la Mer qui forcent une circulation atmosphérique régionale propice à la formation d'eau très profonde comme le Mistral et la Tramontane au niveau du Golfe du Lyon.

Au travers de ces caractéristiques, il en résulte essentiel l'utilisation de modèles climatiques régionaux couplés pour étudier en détail le climat Méditerranéen. Nous utilisons LMDZommé-NEMO MED8, où le modèle atmosphérique du LMD avec une maille étirée autour de la Méditerranée est couplé à NEMO MED8. Le couplage est mis en place à travers les flux de chaleur, tension du vent et la température de surface.

Les flux de chaleur sont à la base de ce couplage et dépendent fortement de l'interaction océan-atmosphère (Somot et al. 2005). De plus, les incertitudes sont majeures sur leur variabilité en Méditerranée (Ruiz et al.2008).

On se propose alors de caractériser les modes de variabilité des flux de chaleur. On réalise pour cela une simulation avec le modèle régional couplé LMDZommé-NEMO MED8 en guidant à l'extérieur de la Méditerranée par ERA40 dans la période 1958-2001. Une simulation de référence avec une SST imposée sera aussi réalisée qui permettra de déterminer la valeur ajoutée du couplé dans la climatologie des flux de chaleur. On démontre que la chaleur latente contrôle au premier ordre la variabilité des flux de chaleur.

Ces deux simulations sont ensuite comparées à un grand jeu de données issues d'analyse satellitale et assimilation de données qui permettront de quantifier les différences dans les modes de variabilité des flux de chaleur et de caractériser notre technique de couplage.

## ***Incertitudes du changement climatique sur le bilan d'eau en Mer Méditerranée avec un ensemble de modèles régionaux***

E. Sanchez-Gomez (CERFACS, SUC-URA 1875), S. Somot (CNRM/GAME) et A. Mariotti (ENEA)

exposé

Le bassin méditerranéen est une région caractérisée notamment par sa vulnérabilité aux changements dans le cycle de l'eau. L'impact du réchauffement global sur les ressources d'eau dans la région constitue une grande préoccupation pour la communauté scientifique. Dans le dernier rapport de l'IPCC en 2007, les modèles de climat projettent de grandes altérations en évaporation et précipitation sur la région Méditerranéenne à la fin du 21ème siècle. Dans notre travail, on évalue les changements dans le cycle de l'eau en Méditerranée à partir d'une série d'expériences de scénario SRES-A1B réalisées avec un ensemble de modèles régionaux (RCMs) à 25 km de résolution sur le domaine Méditerranéen. Les RCMs présentent des bonnes estimations du bilan d'eau en climat présent, en particulier les termes de ruissellement sont nettement améliorés par rapport aux modèles de l'IPCC à plus vaste résolution spatiale.

Les résultats des projections montrent que malgré les larges incertitudes qui persistent encore, le bilan d'eau en Méditerranée suivra de fortes altérations à partir de 2050 qui se aggravent à la fin du 21ème siècle. Les RCMs prévoient une augmentation de l'évaporation, et une diminution de la précipitation et du ruissellement sur la Mer Méditerranée. Ces changements se traduisent par une augmentation du déficit d'eau douce de 40% pour la moyenne de l'ensemble.

## ***Représentation des évènements de pluies diluviennes dans le Sud-Est de la France par le modèle ALADIN-Climat : comparaison à une méthode de downscaling statistique***

Jeanne Colin (CNRM/GMGEC/EAC), Michel Déqué (CNRM/GMGEC/EAC), Samuel Somot (CNRM/GMGEC/EAC), Olivier Nuissier (CNRM/GMME/MICADO), Bruno Joly (CNRM/GMAP/RECYF)

exposé

Nous avons réalisé deux simulations climatiques sur la France, à 50 km puis à 12 km de résolution, avec le modèle à aire limitée ALADIN-Climat forcé par la ré-analyse ERA40 sur la période 1958-2000. Nous nous intéressons à la représentation des pluies intenses dans ces deux expériences en nous concentrant sur des évènements mettant en jeu des phénomènes sous maille : les cas de pluies diluviennes observés dans le Sud-Est de la France sur la période étudiée. Le fait de piloter ALADIN-Climat par ERA40 permet en effet de s'intéresser à ces jours particuliers car le forçage synoptique respecte la chronologie réelle.

Nous cherchons à apprécier les performances et les limites du modèle quant à la représentation de ces évènements de précipitations extrêmes et de leur variabilité spatio-temporelle à une échelle de temps climatique. Nous analysons les résultats de nos simulations en les comparant à ceux obtenus par une méthode de détection et de classification en composites de ces situations à partir des champs de grande échelle qui leur sont associés. Cette méthode a été développée dans le cadre du projet CYPRIM par O. Nuissier et B. Joly. Appliquée à ERA40, elle peut être vue comme un downscaling statistique dont la validité se mesure à l'aune de deux critères : pourcentage de cas détectés et pourcentage de « fausses alertes ». Dans la présente étude, nous explorons la possibilité de repérer ces évènements de pluies extrêmes en considérant directement les précipitations simulées par ALADIN-Climat aux deux résolutions considérées. L'opportunité de cette approche dynamique est évaluée au regard des résultats fournis par la méthode statistique.

## ***Incertitudes liés au couplage latéral dans les modèles régionaux***

Voitus Fabrice et Ludovic Auger, CNRM-GAME/GMAP

exposé

La technique de couplage latéral employée dans les modèles régionaux ALADIN et AROME, qui consiste à relaxer dans une zone tampon les champs de petites échelles vers ceux de grandes échelles issues d'un modèle coupleur, souffre d'un certain nombre de faiblesses pouvant nuire à la qualité des prévisions. Cet exposé vise d'abord à mettre en évidence les incertitudes et possibles sources d'imprécisions liées à cette technique, puis à proposer des solutions pratiques permettant d'en réduire les effets.

## ***Introduction d'un schéma de transport de neige par le vent dans un modèle atmosphérique***

Vincent Vionnet (CNRM/GMME/MOSAYC) Eric Martin (CNRM/GMME/MOSAYC) Eric Brun (CNRM/GMGEC) Christine Lac (CNRM/GMME/MesoNH) Valéry Masson (CNRM/GMME/TURBAU) Yves Durand (CNRM/CEN)

exposé

Dans les Alpes le déclenchement et la localisation des avalanches sont fortement influencés par le transport de la neige par le vent. La modélisation de ce phénomène nécessite une représentation détaillée de la surface du manteau neigeux ainsi qu'une simulation fine des champs de vents et de l'interaction surface-atmosphère. Les premiers efforts de développement d'un nouveau modèle de transport de neige par le vent sont présentés.

Le modèle atmosphérique Méso-NH est utilisé pour le calcul des champs de vent à haute résolution et le transport des particules de neige soufflées sous forme d'un schéma à deux moments. Il est couplé au modèle de surface externalisée Surfex dont le schéma de neige a été complété afin qu'il puisse décrire le type des grains près de la surface. Le type de grain est en effet essentiel pour estimer les vitesses seuil de transport. Ces modifications sont validées à partir de mesures réalisées sur le site expérimental du col de Porte dans les Alpes françaises et montrent une reproduction satisfaisante des seuils de transport. La représentation de la neige soufflée dans l'atmosphère est évaluée en la comparant aux résultats d'une intercomparaison de modèles issue de la littérature. Une attention particulière est portée sur le couplage surface atmosphère : réduction de la turbulence en présence de particules en suspension, sublimation de ces particules de neige et évolution du manteau neigeux en surface.

## ***Source d'incertitudes des prévisions des quantités de précipitations à 2.5Km***

Eric BAZILE 1, Yann SEITY1, Sylvie MALARDEL2 1 CNRM-GAME, Météo-France/CNRS, Toulouse, France, 2 ECMWF, Reading, UK,

exposé

La prévision des quantités de précipitations est en constante amélioration depuis plusieurs années grâce aux progrès effectués dans les domaines de l'assimilation, des paramétrisations physiques mais aussi de la dynamique. Ces avancées associées à l'augmentation de résolution et à l'utilisation d'un modèle non-hydrostatique à 2.5km devraient diminuer les sources d'incertitudes et d'erreurs de prévision. Dans le code ALADIN/AROME différentes options ou solutions existent dans la partie dynamique ou physique du modèle : type d'advection, schéma de micro-physique, turbulence, diffusion horizontale etc .. , cela donne donc l'opportunité de disposer d'un ensemble de configurations et de combinaisons permettant d'évaluer l'incertitude de la partie modèle et son impact sur la prévision des quantités de pluies.

## ***Techniques statistiques de réduction d'échelle pour la modélisation de la qualité de l'air***

Irène Korsakissok (CEREA) et Vivien Mallet (INRIA)

exposé

Les techniques statistiques de réduction d'échelle, très utilisées en modélisation du climat, sont présentées pour l'application à la prévision de la qualité de l'air. L'enjeu de ces techniques est de réduire l'erreur de représentativité d'un modèle eulérien de qualité de l'air aux stations de mesure. Celles-ci sont en effet mal représentées à l'échelle traitée par le modèle (échelle d'une maille), en raison des nombreux phénomènes sous-maille non pris en compte dans les modèles. En pratique, il s'agit d'utiliser des relations statistiques entre les concentrations dans les mailles du modèle (prédicteurs) et les concentrations aux stations de mesure, afin d'améliorer les prévisions aux stations. L'utilisation d'un ensemble de modèles permet de prendre en compte l'incertitude inhérente aux paramétrisations des modèles. Dans un premier temps, des techniques de régression linéaire sont utilisées sans pré-traitement, et l'apport de la réduction d'échelle est évalué pour différents types de stations (rurales, urbaines et péri-urbaines). L'apport d'un ensemble de modèles, en fonction du nombre de membres de l'ensemble, est également évalué. Enfin, différentes techniques de réduction de dimension sont appliquées afin de rendre les prédicteurs orthogonaux : la décomposition en composantes principales, ainsi qu'une nouvelle technique appelée "décomposition en composantes principales ajustées", qui donne de meilleurs résultats avec un nombre plus faible de prédicteurs. Les résultats sont présentés pour l'ozone à l'échelle européenne, pour deux réseaux de stations (Pioneer et Airbase).

**PARAMETRISATIONS PHYSIQUES : POSTERS**



## ***Nouveau schéma de convection dans ARPEGE-Climat; validation 1D, 3D climat et prévision saisonnière.***

Jean-François Guérémy CNRM/GMGEC

Le nouveau schéma de convection (Guérémy, 2005) a été conçu de manière à placer le concept de flottabilité au centre de sa formulation, donnant lieu à de nouvelles expressions pour le flux de masse, l'entraînement-détrainement, le déclenchement et la fermeture; il permet d'autre part de représenter de manière continue l'effet de toutes les échelles convectives, du thermique sec jusqu'à la convection profonde précipitante. Il est associé dans ARPEGE-Climat au schéma de turbulence en énergie cinétique pronostique (CBR, 2000).

Des résultats de simulation 1D sur un ensemble de 4 cas décrivant différents types de processus convectifs seront présentés. Ces cas comprennent des situations océaniques de convection profonde précipitante, de convection peu profonde non-précipitante, de stratocumulus et une situation de cycle diurne de la convection sur continent.

Le climat produit par ARPEGE-Climat incluant cette nouvelle physique (en mode couplé sur une vingtaine d'années) sera comparé à des réanalyses et observations sur le globe.

Des scores et des structures de téléconnexions issus de prévisions saisonnières sur les 44 années de la réanalyse ERA40 du CEPMMT seront enfin présentés.

## ***Méthode d'évaluation des schémas de paramétrisation sur l'Afrique de l'Ouest***

D. POLLACK(ENM), I.BEAU et J.F GUEREMY (CNRM/GMGEC/EAC)

L'objectif des schémas de paramétrisation de la convection et de la turbulence utilisés dans les modèles de circulation générale est de représenter l'effet moyen de ces processus physiques sur une maille du modèle. Le comportement des schémas actuellement disponibles dans ARPEGE-CLIMAT V5 est évalué en comparant deux types de simulations sur l'Afrique de l'ouest : des simulations réalisées avec le modèle Mésoscale-NH (maille de 5 km) dans lesquelles la convection est représentée de manière explicite (simulation de référence) et des simulations réalisées avec le modèle à aire limitée ALADIN-CLIMAT dans lesquelles la convection est paramétrée. Les deux types de simulations utilisent le même domaine, les mêmes conditions initiales et latérales.

Deux cas sur le Niger ont été testés en suivant cette méthodologie.

Le premier est une ligne de grain observée le 21-08 1992 au cours de la campagne Hapex Sahel (Multi-scale description of a sahelian synoptic weather system representative of the west African monsoon, Redelsperger et al. QJRMS, 2001).

Le second, du 25 au 27 Juillet 2006, correspond au développement de deux systèmes convectifs en aval et en phase avec une onde d'est Africaine (Multi-scale analysis of the 25-27 July 2006 convective period over Niamey : comparison between Doppler radar observations and cloud-resolving simulations, Barthe et al, QJRMS, 2007). Ce cas est issu de la campagne AMMA de l'été 2006 sur l'Afrique de l'ouest.

Pour le cas Hapex Sahel, différents tests de sensibilités ont été réalisées ; choix des paramétrisations physiques utilisées, résolutions verticales (31 et 91 niveaux) et horizontales (300, 125,50, et 10 km), sensibilité aux conditions initiales et latérales.

Pour comparer de façon plus objective l'effet de ces paramétrisations, les précipitations issues de Meso-NH ont été moyennées sur la maille du modèle de plus grande échelle.

Les résultats obtenus mettent ainsi en évidence l'apport du schéma pronostique de turbulence par rapport au schéma diagnostique et celui d'une fermeture en CAPE avec prise en compte explicite de la couche sèche dans le schéma de convection.

Les premiers résultats obtenus sur le cas AMMA seront également présentés et permettront d'évaluer la robustesse de ces conclusions sur une simulation plus longue, incluant plusieurs cycles diurnes, où interagissent deux systèmes convectifs.

## ***Le cycle diurne des basses couches atmosphériques en Afrique de l'ouest : évaluation des analyses et ré-analyses ECMWF et ARPEGE-Tropiques***

F. Guichard, A. Gounou et F. Couvreur (CNRM, CNRS et Météo-France)

Dans les basses couches atmosphériques des Tropiques, au dessus des régions continentales, le cycle diurne est un mode de variabilité majeur. Or, les (ré-)analyses météorologiques présentent encore des différences importantes dans les basses couches atmosphériques.

Cette étude a pour but (i) de comparer les cycles diurnes des analyses ECMWF-IFS et ARPEGE-Tropiques, et des ré-analyses ERA-Interim et ECMWF-AMMA, dans les basses couches atmosphériques de l'Afrique de l'Ouest, et (ii) de les évaluer à l'aide des données collectées au cours de la campagne AMMA.

Ces différentes analyses indiquent une forte modulation diurne de la dynamique dans les basses couches. Cependant, l'utilisation de niveaux pression standard s'avère inopérante pour distinguer les différences importantes de cette dynamique telle qu'observée entre les phases de pré-mousson et de mousson établie.

L'utilisation des analyses sur les niveaux modèle permet une comparaison approfondie des caractéristiques de couche limite, e.g. hauteur de couche limite, force du jet nocturne, indices convectifs... Cette étude montre notamment une croissance de la couche limite convective diurne plus forte dans ECMWF-IFS que dans ARPEGE-Tropiques, et plus importante qu'observée. La couche limite diurne, plus haute, est aussi plus chaude et sèche dans ECMWF-IFS que dans ARPEGE-Tropiques. Inversement, la circulation nocturne et l'instabilité convective sont toutes deux renforcées dans ARPEGE-Tropiques.

Ces caractéristiques de basses couches font intervenir des couplages avec la surface qui varient fortement aux échelles diurnes suivant la zone climatique (région Guinéenne versus Sahélienne). Ils seront présentés et leurs implications sur l'utilisation des analyses seront discutées.

## ***Caractérisation des poches froides simulées par un modèle de circulation générale (MCG) et impact sur la représentation de la pluie.***

Isabelle TOBIN, Jean-Yves Grandpeix, Sandrine S.Bony (LMD)

La représentation de la convection atmosphérique et de la pluie qui en résulte est reconnue comme l'une des principales sources d'incertitudes de la modélisation climatique. Les observations ont montré depuis plusieurs dizaines d'années que les phénomènes convectifs s'accompagnent du développement de courants de densité (encore appelés "poches froides") dans la couche limite planétaire, générés par la réévaporation des précipitations. Ce phénomène est essentiel dans l'évolution et l'organisation des systèmes convectifs. Jusqu'alors non représenté dans les MCG, il est maintenant pris en compte dans le modèle atmosphérique LMDZ grâce à la nouvelle paramétrisation développée au LMD et au CNRM par J-Y Grandpeix et J-P Lafore (2009). Cette nouvelle paramétrisation, testée essentiellement dans un cadre uni-dimensionnel, est intégrée dans la nouvelle physique de LMDZ et sera utilisée pour les simulations CMIP5.

Il s'agira ici d'étudier le comportement de cette paramétrisation dans des simulations climatiques globales. Les caractéristiques des poches seront présentées, à savoir la taille moyenne des poches (hauteur et rayon), le profil des écarts de température et d'humidité entre poches et environnement, la puissance du front de rafale en fonction de l'activité convective. La part relative aux poches dans le déclenchement et intensité de la convection par rapport aux autres processus de la couche limite (thermiques, orographie) sera également analysée. On comparera les caractéristiques des poches sur océan et sur continents et les améliorations apportées à la représentation de la convection par la présence des poches dans les deux cas.

Enfin, il sera évoqué une façon d'appréhender la représentation de l'organisation de la convection dans le MCG au moyen de cette paramétrisation des courants de densité, qui fait intervenir l'idée originale d'une population de poches.

## ***Etude de la sensibilité de la convection aux conditions de surface: comparaison de simulations CRM et SCM***

Nicolas Rochetin (LMD/IPSL, Univ Paris 6), Jean-Yves Grandpeix (LMD/IPSL, Paris 6), Paolina Cerlini (UNIPG, Perouse, Italie)

L'étude des rétroactions surface-atmosphère menée dans le cadre du programme AMMA a mis en évidence la complexité des processus impliqués dans ces rétroactions et la difficulté de leur représentation dans les modèles de circulation générale. On pourra pointer en particulier le rôle de l'humidité de surface et de sa distribution spatiale dans le déclenchement et la propagation de la convection. Il est aussi apparu qu'il était nécessaire de combiner observations et simulations CRM (CRM=Cloud Resolving Model) pour analyser ces mécanismes. Le travail présenté ici constitue une première étape vers une bonne représentation de ces rétroactions dans un modèle de climat. Il a pour but d'élaborer une meilleure quantification de la sensibilité de la convection nuageuse à l'état de surface (humidité et température), à l'aide, d'une part, du modèle unicolonne (SCM=Single Column Model) associé au GCM du LMD (LMDZ4), et, d'autre part, du CRM ARPS utilisé à l'université de Perugia. Nous proposons ici de confronter le CRM et le SCM dans un cas idéalisé d'atmosphère en état statistique d'équilibre Radiatif-Convectif avec des conditions aux limites fixées en températures de surface ( $T_{sol}$ ) et en rapport d'évaporation effective sur évaporation potentielle ( $\beta$ ). La sensibilité de la convection à ces 2 paramètres sera discutée à travers le prisme du CRM et du SCM. Nous analyserons aussi l'intérêt du cadre de l'équilibre radiatif-convectif pour le développement des paramétrisations.

## ***Est-il possible de contraindre la sensibilité climatique future à partir de l'étude des rétroactions dans des expériences de changement climatique passé et futur?***

Christelle Castet, Sandrine Bony, Jean-Louis Dufresne

La sensibilité climatique présente de larges incertitudes en partie dues aux rétroactions liées aux changements de température, vapeur d'eau, albédo, et nuages. La méthode des "radiative kernel" est ici utilisée pour diagnostiquer les rétroactions climatiques à partir de calculs off-line appliqués aux sorties de différents modèles, et pour différents types d'expérience climatique. Cette méthode est employée pour calculer les rétroactions climatiques prédites par 6 GCMs dans des expériences de changement climatique passé (dernier âge glaciaire) et futur (accroissement de  $CO_2$  de 1% par an). L'objectif est d'identifier et de comparer les causes principales d'incertitude sur la sensibilité climatique dans les simulations de paléoclimat et climat du futur. Il sera ainsi possible de déterminer dans quelle mesure les expériences paléoclimatiques peuvent aider à contraindre la sensibilité climatique future.

## ***Evaluation du modèle de climat du LMD à partir de longues séries de mesures issues d'observatoires atmosphériques (SIRTA).***

F. Chéruy, J.C. Dupont, F. Hourdin, M. Haeffelin, A. Campoy Laboratoire de Meteorologie Dynamique du CNRS

L'évaluation des simulations par confrontation à des observations de routine ou issues de longues campagnes de mesure effectuées sur des observatoires atmosphériques permet de tester nos modèles sur des échelles synoptique, saisonnière, inter-annuelle voire climatique à faible coût numérique à partir de jeux de données existants. Cette évaluation est complémentaire des « études de cas » idéalisés effectuées avec les versions 1D des modèles et des CRM ou LES à l'occasion de campagnes de mesures focalisées car la possibilité de suivi continu qu'elle offre lui assure une plus grande représentativité. Elle doit permettre:

- d'identifier les insuffisances des paramétrisations physiques des modèles
- d'identifier des causes possibles pour ces faiblesses
- d'évaluer l'impact des modifications effectuées dans les paramétrisations
- de confronter le comportement de différents modèles sur différents observatoires qui fournissent les mêmes paramètres.

Les performances du nouveau schéma physique du modèle de climat du LMD (couche limite, convection) couplé à différents modèles de sol sont évaluées dans ce cadre par comparaison aux observations effectuées au SIRTA entre 2006 et 2009 et aux simulations effectuées avec la physique utilisées pour le précédent rapport IPCC (AR4). On utilise le modèle LMDZ avec une grille fortement zoomée sur la zone cible ce qui permet d'atteindre une résolution suffisamment fine à moindre coût et certaines variables d'état du modèle (température, vent, éventuellement l'humidité) sont rappelées vers les analyses opérationnelles afin de s'affranchir des sources d'erreur dues à la dynamique de grande échelle.

L'étude confirme que le couplage avec la surface contrôle en grande partie les biais observés en mode global près de la surface pour la température et l'humidité en été, mais pas les biais observés dans le rayonnement à la surface. Nous montrons que l'impact radiatif des aérosols explique une partie de ce biais. Les différences importantes entre la couverture nuageuse simulée et celle observée sont ensuite analysées.

Nous identifions ensuite et cherchons à comprendre les différences inter-annuelles qui émergent des comparaisons: difficulté pour le modèle présenter la canicule d'Avril 2007, différence de sensibilité au schéma de couche limite en été 2006 et 2007, biais chaud au printemps avec le modèle de sol qui corrige le biais d'été....

## ***Une nouvelle paramétrisation dans les GCM : L'effet thermique de l'orographie sous-maille sur la déclenchement de la convection profonde***

Jingmei YU, Jean-Yves GRANDPEIX Laboratoire de Météorologie Dynamique ,Paris,France

Problématique: Défaut des paramétrisations des processus de déclenchement pour le schéma de la convection profonde dans les GCM(Global Climate Model) . La variation sous-maille de l'instabilité de basse couche n'est pas suffisamment représentée dans les GCM. En Afrique de l'Ouest , les images satellites montrent que l'effet thermique de l'orographie (brise de montagne) est le mécanisme principal du déclenchement de la convection profonde.

Hypothèse de déclenchement , l'aspect énergétique : Quand le maximum statistique de l'énergie cinétique de la brise dépasse l'inhibition de la couche d'inversion , la convection peut se développer dans la troposphère libre. Le source d'énergie de la brise viens de l'ensoleillement arrivé sur les pentes du relief, qui induit un écart de température virtuelle entre l'air de la couche de surface des reliefs et son environnement.

Hypothèses de simplification pour la modélisation: Elles concernent la détermination de la température virtuelle de brise et de son environnement. Notre modèle est une uni-colone d'ascendance avec section constante (100m), dans un environnement de grande d'échelle.

1. On ignore l'effet de rétroaction de la brise sur son environnement.
2. On ignore l'effet d'interaction avec le vent synoptique ,et en conséquence,on ne modelise pas la transition du petit cumulus à la naissance de la convection profonde.
3. L'ascendance est associée avec le représentant d'un maximum de hauteur relative du relief dans la maille, et on suit la face orientée vers le soleil.

Résultats: Le modèle reproduit la statistiques de déclenchement à l'échelle de trois mois sur l'Afrique de l'Ouest, fourni par l'observation satellite. Mais probablement à cause de défaut de l'humidité de surface dans la version actuelle de LMDZ , Il n'y pas assez de déclenchements dans la zone 0°N-15°N.

Perspective a court terme: Coupler avec le schéma de la convection profonde dans LMDZ.

## ***L'air sec de la troposphère libre intertropicale dans le modèle de l'IPSL (IPSL-CM4) : analyse et comparaison à l'aide de réanalyses et d'observations satellites***

J. Lémond, L. Picon, R. Roca (LMD)

La vapeur d'eau est une composante clé des cycles de l'eau et de l'énergie. Ces derniers, particulièrement actifs dans la ceinture tropicale, sont des éléments majeurs du climat de la Terre. Une meilleure compréhension de ces cycles repose sur une meilleure compréhension de la variabilité spatio-temporelle de l'humidité de la troposphère libre, notamment au-dessus des régions sèches subtropicales.

L'humidité relative au niveau de pression 500 hPa (RH500) estimée par les réanalyses NCEP-1, NCEP-2, ERA-40, ERA-interim, les observations satellites AIRS et METEOSAT, ainsi que l'humidité relative reconstruite par un modèle d'advection-condensation est utilisée afin de documenter et caractériser la variabilité interannuelle de l'air sec de la troposphère libre tropicale. À l'échelle intrasaisonnière, un test de Kolmogorov-Smirnov souligne que la distribution de RH500 dans les régions subtropicales s'éloigne de la loi normale. Les occurrences sèches, définies comme le pourcentage de scènes pour lesquelles l'humidité relative est inférieure à 10 % d'humidité relative pour une saison donnée, sont alors utilisées pour caractériser la variabilité interannuelle des régions sèches subtropicales. Le rôle des anomalies de température est alors exploré à partir d'une décomposition de RH500, pour expliquer la variabilité des occurrences sèches. Il est alors montré que la variabilité interannuelle des occurrences sèches est en grande majorité associée à des anomalies d'humidité, et non à des anomalies de température. La part de variabilité associée au mode de variabilité interannuelles ENSO est alors examinée.

En s'appuyant sur les résultats obtenus à partir de l'analyse des différentes estimations de RH500, la reproduction de l'air sec par le modèle de climat de l'IPSL (IPSL-CM4) est étudiée, ainsi que l'évolution de l'air sec de la troposphère libre tropicale dans un contexte de réchauffement global.

## ***Evolution des physiques des modèles CNRM-Arpege-Climat et IPSL-LMDZ: résultats sur les cas RICO et TOGA-COARE***

MP Lefebvre (LMD/CNRM), I Beau (CNRM), JL Dufresne (LMD), JY Grandpeix (LMD), JF Guérémy (CNRM), F Hourdin (LMD), P Marquet (CNRM), C Rio (LMD)

Les défauts de paramétrisations physiques des modèles de climat sont à l'origine d'importants biais dans les simulations du climat actuel, mais également de la très grande dispersion dans les projections du changement climatique, aussi bien à l'échelle globale qu'à l'échelle régionale.

Le projet « physique commune » initié entre le CNRM et le LMD a permis dans un premier temps de converger vers l'utilisation d'un outil de modélisation 1D commun, intégrant en parallèle la physique « en bloc » soit de LMDZ soit d'ARPEGE-Climat, autour de trois grands groupes de paramétrisations: couche limite/convection/nuages, rayonnement et orographie/ondes.

Le projet DEPHY qui lui fait suite, a pour but de regrouper et coordonner des efforts de différentes natures dans la communauté autour d'un même objectif : l'amélioration des paramétrisations physiques des modèles atmosphériques.

Depuis les derniers runs IPCC/AR4, les physiques des deux modèles de climat ont subi des modifications importantes en ce qui concerne notamment les schémas de turbulence et les schémas de convection profonde et peu profonde.

Pour valider ces modifications, on s'appuie sur des simulations à haute résolution, LES pour la couche limite ou CRM pour la convection profonde, qui résolvent explicitement les circulations dans la couche limite ou dans les cellules convectives.

Dans l'environnement du modèle unicolonne Arpege-Climat évoqué ci-dessus, on présentera des résultats obtenus avec les différentes versions de chaque physique, pour les deux cas suivants: RICO (petits cumulus d'alizées précipitants) et TOGA-COARE (ligne de grain tropicale).

## ***Rôle de l'interaction océan atmosphère dans l'organisation de la convection à l'échelle intrasaisonnière dans les tropiques***

Hugo Bellenger (Laboratoire de Météorologie Dynamique, LMD), Jean-Philippe Duvel (LMD) et Prince Xavier (UKMO)

La variabilité intrasaisonnière (ISV, 20-90 jours) est un mode fondamental de la variabilité climatique tropicale dont l'origine physique est mal comprise. Son caractère reproductible fait de sa bonne représentation dans les modèles un enjeu important pour la prévision météorologique à l'échelle étendue (15-30 jours). Nous avons montré que les modèles de circulations générales (modèles couplés utilisés dans IPCC et dans ENSEMBLES) représentent cependant mal les perturbations intrasaisonnières. Les structures spatiales des perturbations de la convection et de la dynamique sont en particulier peu réalistes et moins reproductibles que dans la réalité.

Afin d'améliorer les simulations de l'ISV dans les GCMs, il est important de maîtriser les mécanismes physiques à l'origine du déclenchement de convection organisée à grande échelle (>1000km). Nous avons montré, au moyen de simulations dédiées avec le GCM du LMD, que des perturbations de SST pouvaient mener à de tels déclenchements. On constate alors une amélioration de la représentation de l'ISV. Des effets non-linéaires, liés à cette organisation et à la réponse dynamique associée, entraînent de plus une modification de la circulation moyenne. Nous discuterons enfin les limites des paramétrisations actuelles des GCMs dans ces déclenchements liés à la SST.

## ***Impact synoptique des forces de portance exercées par les chaînes de montagnes d'échelle continentale***

Sylvain Mailler et François Lott (LMD/ENS)

Les forces de portance exercées par les montagnes sur l'atmosphère, y compris celles paramétrisées à l'échelle sous-maille, ont un impact déterminant sur les ondes planétaires stationnaires (Lott, 1999). Notre étude montre que ces forces méridiennes ont également une influence déterminante sur des phénomènes synoptiques à fort impact, les vagues de froid (cold surges), observées à l'Est du Plateau Tibétain, des montagnes Rocheuses et des Andes (Garreaud, 2001), et qui sont le principal mode de variabilité hivernal dans ces régions. La représentation des forces de portance dans ces régions est donc importante pour les modèles de circulation atmosphérique.

Dans cette direction, des résultats préliminaires sur l'impact à l'échelle synoptique des forces de portance exercées par le Plateau Tibétain dans le modèle de circulation générale LMDz sont présentés. Les premiers résultats montrent que le comportement des forces exercées par le Plateau Tibétain dans LMDz ainsi que la trajectoire des masses d'air au voisinage de ce dernier sont satisfaisants. Ces résultats permettent d'utiliser LMDz pour quantifier l'impact des forces de portance exercées par le Plateau Tibétain sur la circulation de l'atmosphère, en particulier sur les systèmes de mousson et sur les vagues de froid en hiver.

### Références:

Lott, 1999, "Alleviation of Stationary Biases through a Mountain drag Parameterization Scheme and a Simple Representation of Mountain Lift Forces", *Mon. Weather Rev.*, 127, 788-801

Garreaud, 2001, "Subtropical cold surges: regional aspects and global distribution", *Int. J. Climatol.*, 21, 1181-1197

Mailler and Lott, 2009, "Dynamical Influence of the Tibetan Plateau on Winter Monsoon Convection Over Southeast Asia", *Geophys. Res. Lett.*, 36, L06708

Mailler and Lott, "Equatorial Mountain Torques and Cold Surges Preconditioning", submitted to *J. Atmos. Sci.*

## ***Impact du schéma de surface sur la simulation de la météorologie locale au SIRTA***

A. Campoy, A. Ducharne, F. Cheruy, J.-C. Dupont, M. Haeffelin, F. Hourdin (Sisyphé/UPMC, LMD/IPSL, IPSL)

La comparaison des résultats de modèles de climat guidés par les analyses météorologiques aux observations continues sur sites permet une évaluation multivariée à toutes les échelles de temps, depuis les processus rapides, au sein d'une journée, jusqu'aux variations inter-annuelles. Une telle stratégie a été entreprise depuis quelques années pour asseoir les développements des paramétrisations physiques du modèle LMDZ par comparaison aux mesures effectuées au SIRTA, site instrumental de l'IPSL implanté sur le campus de l'Ecole Polytechnique (voir la contribution de Cheruy et al. à ces ateliers).

Les premières études ont fait apparaître un biais sec et chaud (de plusieurs degrés en moyenne) l'été, biais qui rendait impossible la validation des schémas de couche limite, objectif initial de cette étude (Coindreau et al., 2007, Mon. Weather Rev., 135:1474:1489). Il avait été suspecté à cette époque que le problème provenait d'une insuffisante capacité du modèle de surface (modèle Sechiba, composante physique du modèle de surface Orchidee, basé sur deux réservoirs d'eau) à maintenir l'été un niveau d'évaporation minimale, mais les contraintes observationnelles étaient insuffisantes à cette époque pour trancher de façon définitive.

Ce travail a été repris récemment en testant différentes versions de l'hydrologie de surface, à la fois des versions modifiées du modèle à deux couches et l'hydrologie discrétisée (à 11 couches dans sa version standard) développée par Patricia De Rosnay. Entre temps, le jeu de données disponible au SIRTA en routine a été largement étoffé. On dispose en particulier aujourd'hui de mesures systématiques des flux radiatifs, latent et sensible, ce qui permet de discriminer lequel des processus est mal représenté dans les simulations. Les premiers résultats de cette étude semblent confirmer que la canicule numérique observée l'été dans les simulations provient en grande partie de l'incapacité de l'hydrologie à deux couches de conserver suffisamment d'eau disponible pour l'évaporation l'été. Les résultats avec l'hydrologie discrétisée semblent corriger en grande partie ce problème.

Au delà de l'évaluation des paramétrisations spécifiques du modèle LMDZ/Orchidee, ces résultats soulignent : 1) l'importance des processus couplés couche limite / surface dans la représentation de la météorologie locale et 2) les potentialités de la stratégie de validation présentée ici pour valider et asseoir la paramétrisation de ces processus, dans un cadre proche de l'utilisation dans les modèles de climat, permettant en particulier la mise en place de dérives longues du système couplé.

**LES PHYSIQUES DU LMD ET DU CNRM**



## ***Apport de la « nouvelle physique » du modèle de climat LMDZ***

F. Hourdin et al. (LMD/IPSL, CNRM)

co-auteurs : J.-Y. Grandpeix, C. Rio, R. Roehrig, A. Jam, N. Rochetin, J. Yu, M.-P. Lefebvre, I. Musat, A. Idelkadi, L. Fairhead, A. Catarino, F. Cheruy, S. Bony, J.-L. Dufresne, D. Konsta, J.-P. Lafore, F. Couvreux, F. Codron, M. Bonazola, Y. Sane

Un important travail de refondation du bloc de paramétrisations couche-limite-convection-nuages a été entrepris il y a plus de dix ans au LMD avec notamment 1) le développement d'un nouveau modèle en flux de masse pour la couche limite convective (Hourdin et al., 2002, JAS, 59:1105-1123, Rio et al., 2008, JAS, 65:407-425) couplé à un modèle en équation pronostique pour l'énergie cinétique turbulente (Yamada, 1983, JAS, 40:91-106) ; 2) une prise en main et transformation progressive du modèle en flux de masse de la convection nuageuse développé par Emanuel (1991, JAS, 48:2313-2335), 3) son couplage au schéma de nuages (Bony et Emanuel, 2001, JAS, 58:3158-3183) et enfin 4) l'adjonction, à cette paramétrisation, d'un modèle des poches froides créées par ré-évaporation des pluies orageuses (Grandpeix et Lafore, 2009, accepté).

Une première version 3D du modèle LMDZ basée sur cette nouvelle physique est en cours de finalisation. Les premières simulations longues forcées par les températures de surface océaniques ou couplées à l'océan ont été réalisées. L'objectif est de lancer début 2010 des simulations de projection du changement climatique pour le projet CMIP5 qui alimentera le prochain rapport du Giec.

Les résultats 3D confirment ceux obtenus avec des versions 1D du modèle, dans le cadre notamment du projet « physique commune ». On constate en particulier un décalage vers l'après-midi et la soirée du cycle diurne des précipitations convectives continentales (Rio et al., 2009, GRL, vol 36:7809-+), en bien meilleur accord avec l'observation, et une couverture nuageuse basse renforcée dans les tropiques sur les océans, venant corriger dans les deux cas des biais endémiques des modèles de climat. La modification des couvertures nuageuses a un impact très important sur les températures des surface océaniques obtenues avec le modèle couplé.

## ***Stratégie de validation d'une physique commune PNT et CLIMAT dans ARPEGE***

François BOUYSSSEL, Eric BAZILE, Isabelle BEAU, Yves BOUTELOUP, Michel DEQUE, Jean-François GUEREMY, Pascal MARQUET, Jean-Marcel PIRIOU

Les besoins opérationnels et les enjeux scientifiques multiples associés à la prévision du temps et à la compréhension du climat nécessitent l'exploitation de modèles numériques dans des configurations extrêmement variées. Il apparaît ainsi intéressant de disposer de paramétrisations physiques validées sur une très large gamme d'échelles spatio-temporelles (« seamless prediction »). C'est dans cette perspective qu'a été développée une physique pronostique commune pour la PNT et le CLIMAT dans les modèles ARPEGE (global) et ALADIN (aire-limitée), s'appuyant sur les travaux de recherches réalisés au CNRM et par nos partenaires (CEPMMT, LA, ALADIN, ...). De nouvelles paramétrisations physiques sont ainsi utilisées pour la représentation du transport sous-maille dans la couche limite atmosphérique, des nuages, des processus microphysiques et des échanges radiatifs. Les validations réalisées en configurations PNT et Climat donnent un point de vue complémentaire quant aux bénéfices et faiblesses de ces nouveaux schémas.

**VALIDATION DES MODELES A GRANDE ECHELLE/OBSERVATIONS**



## ***Evaluation des nuages dans les modèles climatiques à partir des observations de l'A-train***

D.Konsta, H.Chepfer, J-L. Dufresne (LMD/UPMC-Ecole Polytechnique)

Les nuages sont les éléments clés du bilan radiatif du système terre océan atmosphère et il est alors essentiel de pouvoir reproduire leurs propriétés correctement dans les modèles climatiques. La détermination des effets radiatifs des nuages constitue l'une des sources principales d'incertitude sur la prévision du climat et l'estimation du changement climatique dû aux activités humaines.

Dans l'étude on tire profit des nouvelles observations collectées par le train des satellites A-train. On utilise le lidar CALIOP qui nous donne des informations sur l'altitude et la phase des nuages. Le radiomètre CERES mesure les flux LW et SW au sommet de l'atmosphère. Le radiomètre Parasol nous fournit des radiances directionnelles dans le domaine visible et le radiomètre MODIS sur le plateforme Aqua mesure des radiances dans différentes longueurs d'onde. A partir de ces multiples observations nous disposons à l'échelle globale d'un panel complète des propriétés nuageuses qu'on utilise afin d'évaluer la représentation des nuages dans les modèles de circulation générale.

Dans l'étude on utilise les résultats des modèles climatiques parmi lesquels le LMDZ4 ainsi que la nouvelle physique du LMDZ pour évaluer la nouvelle version du modèle. L'approche utilisé est « modèle vers observations » alors des grandeurs observables sont comparées à celles simulées grâce au simulateur COSP qui contient un simulateur lidar, un simulateur radar, ISCCP et PARASOL et qui a été développé pour simuler ces grandeurs à partir des sorties des modèles. On va montrer comment les observations de l'A-train permettent de comprendre et évaluer les facteurs qui contrôlent les propriétés radiatives des nuages pour des conditions de circulation données ce qui contribuera en long terme à réduire l'incertitude sur l'estimation du changement climatique.

## *Evaluation de la représentation des nuages en Afrique de l'Ouest*

Fleur COUVREUX, Dominique BOUNIOL, Pierre-Honoré KAMSU-TAMO, Madeleine LEPLAY, Ewan O'CONNOR, Françoise GUICHARD, François BOUYSSSEL, Jean-Marcel PIRIOU, Frédéric HOURDIN

Les nuages jouent un rôle majeur dans la redistribution de l'eau dans l'atmosphère et sur les flux à la surface et au sommet de l'atmosphère. Des moyens d'observation permettent de documenter les propriétés nuageuses dans des régions jusqu'alors peu observées comme en particulier l'Afrique de l'Ouest. Durant la campagne AMMA (2006), la station mobile de ARM (radar nuage, lidar, ceilomètre, mesures de flux, sondages) a été implantée pour une année à Niamey, Niger. En parallèle, les satellites CLOUDSAT (radar nuage) et CALIPSO (lidar) ont été mis en orbite (Avril 2006). Ces mesures permettent de décrire de manière détaillée la colonne nuageuse et son impact (flux), les données sol apportant une bonne description de l'évolution temporelle, les données satellites de la couverture spatiale. Ces données sont utilisées pour évaluer la représentation des nuages dans des modèles de climat et de prévision numérique.

Deux stratégies de comparaison ont été adoptées: comparaison en 1D de l'évolution diurne et saisonnière, comparaison bidimensionnelle en transect latitudinal (stratégie AMMA-MIP). Quatre types de nuages ont été identifiés: convection profonde, cirrus, nuages moyens et nuages de couche limite. Les modèles sous-estiment l'occurrence des nuages bas et moyens induisant des erreurs directes sur les flux à la surface. Tous les modèles prévoient le déplacement vers le Nord de la zone de convection profonde au cours de la saison de mousson avec cependant une position trop au Sud pour certains modèles. Une synthèse de cette évaluation sera présentée.

## **ETUDE DE PROCESSUS**



## ***Simulations des Cycles Diurnes de la Mousson Ouest-Africaine***

Gounou A., Couvreur F., Guichard F., Boone A., Kohler M.

L'Afrique de l'Ouest est une région continentale des tropiques où le cycle diurne des processus est important. Une modélisation correcte de ces cycles diurnes apparaît comme une étape importante dans l'amélioration des simulations du système de mousson. La campagne AMMA a fourni un ensemble de mesures très riche et particulièrement intéressant pour pouvoir évaluer les modèles numériques à l'échelle diurne sur des régimes très contrastés.

Un cadre de modélisation a été mis en place pour simuler les cycles diurnes des basses couches atmosphériques le long d'un transect méridien allant de la côte Guinéenne jusqu'au Sahel. Ce cadre de modélisation est basé sur le modèle atmosphérique Méso-NH couplé au modèle de surface interactif ISBA. Les profils initiaux ainsi que les advections de grande échelle proviennent des réanalyses AMMA du centre européen. Pour évaluer les simulations, des diagnostics quantitatifs des cycles diurnes basés sur l'analyse de radiosondages à haute fréquence temporelle sont utilisés. Cela comprend notamment des diagnostics de hauteurs de couche limites convectives et stables ainsi que des propriétés moyennes comme le vent, l'humidité et la température potentielle. Des simulations au niveau de plusieurs sites le long du transect seront présentées et plus particulièrement au niveau de Niamey. Les points forts et les faiblesses du modèle seront discutés.

### ***Sur le caractère universel des transitions stratocumulus - cumulus***

Irina Sandul<sup>1</sup>, Bjorn Stevens<sup>1</sup> et Robert Pincus<sup>2</sup> <sup>1</sup> Max Planck Institute for Meteorology, Hamburg, Germany. <sup>2</sup> University of Colorado/NOAA Earth System Research Lab, Boulder, Colorado, USA

La représentation des nuages de couche limite marine constitue la principale source de divergence entre les modèles utilisés pour la prévision du changement climatique. Un des aspects peu compris du cycle de vie de ces nuages est la transition stratocumulus-cumulus, qui a lieu dans les bassins océaniques subtropicaux. Dans cette étude, des données satellite et des réanalyses météorologiques sont utilisées pour examiner les transitions entre les deux types de nuages de couche limite, et les processus qui les contrôlent, dans les quatre bassins où ces transitions sont souvent observées. L'analyse Lagrangienne des masses d'air nuageux suggère qu'aussi bien l'évolution temporelle de la fraction nuageuse, que les processus qui déterminent la transition, sont très similaires dans les quatre bassins. Les transitions stratocumulus-cumulus s'avèrent être une caractéristique persistante de ces régions. Au point, que leurs caractéristiques relevées par l'analyse de l'évolution des milliers des masses d'air individuelles sont bien reproduites par les moyennes climatologiques des différents jeux de données. Ce résultat ouvre des opportunités intéressantes pour des études plus détaillées de ces transitions, à partir des observations satellite de dernière génération, ou des simulations à haute résolution.

## ***Analyse des processus microphysiques : interactions avec les particules d'aérosol et effets sur les précipitations dans un système convectif observé lors de COPS.***

Céline Planche(1,2), Wolfram Wobrock (1,2) et Andrea Flossmann(1,2) (1) Clermont Université, Université Blaise Pascal, LaMP, F-63000 CLERMONT-FD (2) CNRS, INSU, UMR 6016, LaMP, F-63177 AUBIERE

Le modèle de nuage DESCAM-3D avec une microphysique détaillée pour le traitement de l'eau, de la glace et des particules d'aérosol atmosphériques est utilisé afin d'étudier l'évolution d'un système convectif estival et le champ de précipitation associé, observés lors de la campagne de mesure COPS. Ce cas simulé est comparé avec des observations radar qui ont été réalisées sur le nord des Vosges et au-dessus de la vallée du Rhin.

En utilisant une résolution de 250 m, le modèle DESCAM 3D est capable de reproduire les caractéristiques du nuage, des précipitations et de la dynamique du cas convectif observé. Il apparaît que ce système nuageux simulé est un événement précipitant multicellulaire d'une durée d'environ 1.5 h stagnant sur les Vosges. Les résultats à l'échelle fine sont ainsi en accord avec les réflectivités observées à haute résolution à l'aide du radar en bande X du LaMP et du radar Poldirad du DLR.

Pour une meilleure compréhension du rôle des particules d'aérosol plusieurs tests de sensibilité ont été réalisés en faisant varier leur nombre et leurs propriétés physico-chimiques. Les résultats obtenus pour les différentes études montrent que les précipitations sont sensibles à la solubilité des particules d'aérosol, cependant à un degré moindre qu'aux changements en nombre des particules d'aérosol.

Les quantités de pluies diminuent notablement si la concentration en nombre des particules d'aérosol est importante. L'hygroscopicité réduite des aérosols peut partiellement compenser cet effet. Dans le cas de concentration moyenne ou peu élevée en aérosols, comme rencontrée dans des atmosphères continentales ou marines, la variation des taux de précipitation est modérée (<20%). La réduction de la solubilité des particules d'aérosol cause toujours une faible augmentation, de l'ordre de 10%, des quantités moyennes de pluie au sol.

En revanche, les propriétés microphysiques au sein des nuages sont considérablement modifiées. Le paramètre clé est la sursaturation qui influe sur la formation des gouttes nuageuses et précipitantes autant que sur les champs dynamiques et thermodynamiques des nuages. Ainsi, dans des environnements fortement pollués, la sursaturation peut rester très faible provoquant une réduction de la chaleur latente et donc de l'intensité de la dynamique convective. Dans le cas d'une atmosphère polluée, 30% du nuage est retrouvé dans l'état de faible sous-saturation.

**AMELIORATION ET IMPACT DES SCHEMAS**



## ***Paramétrisation sous-maille des précipitations pour un modèle de méso-échelle***

TURNER, Sandra, Jean-Louis BRENGUIER et Christine LAC (Météo-France/CNRM)

Dans les prévisions météorologiques opérationnelles, la précision des précipitations est très importante. Avec l'accroissement de la puissance informatique de calcul, la représentation des phénomènes microphysiques se fait maintenant de façon explicite dans plusieurs modèles de prévision numérique à méso-échelle, ce qui permet de mieux représenter les processus. Cependant, malgré la représentation explicite de la microphysique et la résolution élevée des modèles de méso-échelle, une partie de l'eau nuageuse et précipitante reste à l'échelle sous-maille. Par conséquent, ces modèles utilisent une paramétrisation sous-maille pour l'eau nuageuse, mais les précipitations à l'échelle sous-maille sont rarement prises en considération.

Afin de permettre une meilleure représentation de l'évolution des précipitations dans des modèles de méso-échelle, deux paramétrisations pour la précipitation chaude sous-maille ont été développées. Ces paramétrisations utilisent toutes les deux une fraction précipitante où les processus microphysiques sont localisés et la quantité d'eau précipitante est redistribuée uniformément sur la fraction précipitante, d'une façon similaire à la paramétrisation proposée par Bechtold et al. (1993). La différence principale entre ces deux paramétrisations se retrouve dans la distribution de l'eau nuageuse. Dans la première paramétrisation, l'eau nuageuse sous-maille est considérée uniforme dans la fraction nuageuse tandis que dans la seconde l'eau nuageuse est partitionnée d'une façon similaire à celle du schéma Tripleclouds de Shonk et Hogan (2008). Ce récent schéma propose la division d'une maille en trois parties, dont une en ciel clair et deux nuageuses. Ces dernières sont scindées en deux de manière à obtenir une première fraction possédant une grande partie de l'eau nuageuse, tandis que la seconde fraction ne possède qu'une faible partie de l'eau restante sur la maille. Le fractionnement de ces deux parties (pourcentage relatif de l'une par rapport à l'autre) ainsi que les quantités d'eau respectives proviennent de la distribution de l'eau nuageuse dans la maille.

Ces deux paramétrisations de la précipitation sous-maille ont été implémentées dans le schéma microphysique ICE3 du modèle français Méso-NH, qui est également la même microphysique que celle qui est utilisée par le modèle de prévision opérationnel de Météo-France AROME (2,5 km). Il faut noter toutefois que les deux paramétrisations proposées s'adaptent relativement facilement à tout autre schéma microphysique. Les résultats obtenus avec ces deux paramétrisations seront présentés et discutés pour le cas d'intercomparaison de la campagne RICO, qui est représentative de petits cumulus précipitants.

## ***La nouvelle paramétrisation des courants de densité du LMD et du CNRM***

Jean-Yves Grandpeix, Jean-Philippe Lafore, Romain Roehrig, Frédérique Chéruy

Fruit d'une intense collaboration entre le LMD et le CNRM (Grandpeix et Lafore 2009, JAS, accepté), une paramétrisation des courants de densité induits par l'évaporation des pluies convectives est maintenant mise en oeuvre dans la nouvelle physique du GCM LMDZ4.

Cette paramétrisation suit les lignes tracées par Qian et al (1998, MWR, 126, 456-469) : les descentes précipitantes sont situées dans les courants de densité (ou poches froides ou "wakes") et les refroidissent alors que les colonnes convectives saturées sont situées hors des poches. Elle s'en distingue par deux aspects: d'une part, elle représente une population de poches froides et, d'autre part, les profils verticaux de température et d'humidité des poches sont déterminés par un modèle pronostique discrétisé sur la grille du modèle (alors que Qian et al. considèrent que les poches sont bien mélangées).

Pour mettre en oeuvre cette paramétrisation nous l'avons couplée au schéma convectif d'Emanuel 1991 (JAS, 48, 2313-2335) et avons développé pour cela un nouveau déclenchement et une nouvelle fermeture représentant le soulèvement induit par les poches à l'aide de deux variables : l'énergie (ALE) et la puissance (ALP) de soulèvement.

Nous exposerons les principes et la structure du modèle de poches froides et de son couplage avec le schéma convectif. Puis nous analyserons son fonctionnement et confronterons ses résultats dans un cadre 1D à ceux du modèle Meso-NH sur deux cas de lignes de grains, l'un continental et l'autre océanique.

Les axes de recherche actuels concernent le couplage des wakes avec le schéma des thermiques. Les développements à venir vont porter en priorité sur le traitement différencié des couches limites dans et hors les poches, sur une modélisation simple de l'évolution de la densité de population des poches et sur la prise en compte de l'effet du cisaillement.

## ***Vers un modèle de nuage pour la représentation des cumulus***

Arnaud Jam (Laboratoire de Météorologie Dynamique du CNRS, IPSL, Paris)

Le modèle du « thermique » est un schéma de flux de masse combiné avec une approche diffusive classique, originellement développée pour représenter le transport turbulent dans la couche limite convective sèche et étendue ici à la représentation des processus nuageux. Cependant, il n'existe pas à l'heure actuelle un modèle de nuage adapté au schéma du thermique.

A l'aide d'un traceur, équivalent à un traceur radioactif, injecté en flux à la surface, on a pu différencier, dans les résultats de sortie d'un LES, les différents éléments appartenant au thermique et à son environnement (en collaboration avec Fleur Couvreur du CNRM)

D'autre part, une étude comparative a permis de mettre en évidence que dans des cas de convection peu profonde (BOMEX et Eurocs\_Cumulus), la distribution d'eau dans la maille à une altitude donnée pouvait être représentée par deux gaussiennes et que cette distribution « bi-gaussienne » pouvait être expliquée par le schéma organisé thermique-environnement.

Il nous appartient à présent, à partir de cette étude, d'intégrer dans le modèle du thermique un nouveau modèle de nuage reposant sur une distribution « bi-gaussienne » dont on sait calculer, à partir des grandeurs du thermique, toutes les caractéristiques. Tous ces développements se feront dans le cadre du LMDZ4.

## ***Sensibilité d'un modèle à aire limitée à sa paramétrisation physique: Application à l'Afrique australe***

Julien CRETAT (1), Benjamin POHL (1), Philippe DROBINSKI (2), Yves RICHARD (1) (1) CRC, CNRS UMR 5210 / Université de Bourgogne, Dijon, France (2) IPSL, LMD / Ecole Polytechnique, Palaiseau, France

Cette étude documente pour la première fois en Afrique australe la sensibilité d'un modèle à aire limitée (Advanced Weather Research Forecast (WRF-ARW V3011)) à sa paramétrisation physique. Les objectifs sont (i) de déterminer les impacts des schémas physiques sur les biais saisonniers de certains champs atmosphériques et de surface, (ii) de déterminer la configuration la plus acceptable parmi les configurations testées en se basant sur les champs moyens et leurs structures de variabilité journalière. Un jeu de 27 expériences numériques est produit à partir de toutes les combinaisons possibles entre 3 schémas de PBL, 3 schémas de Cumulus et 3 schémas de Microphysique. La période d'étude, le trimestre Décembre-Janvier-Février 1993-94, est volontairement courte de manière à pouvoir multiplier les expériences sans mobiliser des temps de calcul et des capacités de stockage trop importants. Le trimestre simulé est neutre en termes de quantités précipitées en Afrique du Sud et non soumis à ENSO. Une analyse de la sensibilité du modèle aux conditions de surface (analysées grâce à différentes paramétrisations du modèle de surface), ainsi qu'à la taille et à la résolution horizontale du domaine simulé, sera par la suite entreprise.

## ***Sensibilité d'un modèle uni-colonne aux forçages de grande échelle: Cas de petits cumulus océaniques.***

A. Catarino, F. Cheruy, F. Hourdin

Les versions 1D des modèles de circulation générale sont fréquemment utilisées pour le développement et l'évaluation des paramétrisations mises en oeuvre dans les modèles de climat. Ces versions 1D permettent de tester à faible coût numérique la physique des modèles mais ignorent les interactions avec la circulation dynamique et les colonnes voisines. Dans la littérature, les tendances adiabatiques de la circulation de grande-échelle sont en général déduites de campagnes d'observation et sont souvent idéalisées. Ceci peut réduire la représentativité des tests effectués.

Nous présentons une approche visant à tester le fonctionnement des paramétrisations physiques en 1D dans leur environnement propre c'est à dire en utilisant non plus des forçages idéalisés mais issus du GCM. La construction des champs de forçages à partir du GCM est décrite. Deux approches sont testées: soit les tendances advectives totales des variables d'état sont calculées par le GCM, soit seule l'advection horizontale et la vitesse verticale sont fournies par le GCM. Cette dernière approche permet de prendre en compte une partie des interactions entre la dynamique et la physique. La méthode est appliquée à des simulations effectuées avec la physique utilisée pour les simulations qui ont nourris le dernier rapport IPCC et avec la nouvelle physique en cours de développement au LMD. (Rio & Hourdin 2008, Rio et al. 2009 et Grandpeix et al. 2009). Nous analysons plus particulièrement des situations de cumulus marins peu profonds extraites de la coupe GPCI/GCSS et des zones des campagnes BOMEX et RICO. Les performances de la nouvelle physique pour les situations de cumulus d'Alizés sont analysées. La sensibilité des propriétés de la couche limite et des nuages produits au type de forçage dynamique est étudiée.

## ***Analyse des rétroactions nuageuses en changement climatique par une hiérarchie de modèles.***

Florent Brient, Sandrine Bony, Jean-Louis Dufresne (LMD/IPSL)

Le 4ème rapport du GIEC estime que l'incertitude de la sensibilité climatique provient principalement de l'incertitude de la réponse des nuages bas à un réchauffement climatique simulée par les modèles de circulation générale océan-atmosphère (AGCM). L'analyse de la réponse de chaque modèle est donc cruciale pour identifier puis évaluer les facteurs qui la contrôlent. Cependant, la complexité de ces modèles et le grand nombre de processus mis en jeu rendent cette analyse difficile. Notre approche consiste à utiliser une hiérarchie de modèles de différentes complexités afin de faciliter cette analyse.

Cette hiérarchie permet d'extraire les aspects les plus robustes de cette réponse et de mieux identifier les principaux mécanismes qui en sont responsables.

Dans un premier temps, nous comparons la réponse au réchauffement global simulée par trois modèles climatiques utilisant la même représentation de la physique atmosphérique mais avec des configurations simplifiées ou idéalisées: le modèle couplé océan-atmosphère de l'IPSL, le modèle de circulation générale atmosphérique LMDZ forcé par des températures de surface de la mer observées, et une version aquaplanète de LMDZ. Nous nous focalisons sur les régions tropicales. Nous montrons que dans les trois modèles la réponse radiative des nuages tropicaux au réchauffement global est dominée par la diminution de l'effet d'albédo des nuages bas (stratocumulus et petits cumulus) dans les régimes de subsidence atmosphérique.

Dans un second temps, nous utilisons un modèle uni-colonne (SCM) pour comprendre les processus physiques mis en jeu lors de la réponse des nuages au changement climatique. Notre étude s'appuie sur des cas idéalisés de subsidence atmosphérique, développés par les groupes GCSS (GEWEX Cloud System Study) et CFMIP (Cloud Feedback Model Intercomparison Project), associés à différents types de nuages de couche limite le long du transect GPCI (GEWEX Pacific Cross-section Intercomparison). Nous retrouvons dans ces cas une rétroaction positive des nuages bas cohérente avec les résultats du modèle 3D.

Nous examinons la représentativité de ces cas idéalisés dans le modèle 3D et examinons dans quelle mesure le modèle 1D peut servir d'outil d'analyse des mécanismes physiques du modèle 3D. L'application de cette méthodologie au modèle Arpège-Climat sera discutée.