

Ateliers de Modélisation de l'Atmosphère

AMA 2011

ARCHITECTURES MASSIVEMENT PARALLELES

Adaptation des modèles et apports de la puissance,

plus une journée ouverte à tous
consacrée aux paramétrisations physiques.

8 - 10 février 2011

**Centre International de Conférences
Météopole - Toulouse**



<http://www.cnrm.meteo.fr/ama2011/>



METEO FRANCE
Toujours un temps d'avance

**ARCHITECTURES MASSIVEMENT PARALLÈLES :
ADAPTATION DES MODÈLES ET APPORT DE LA
PUISSANCE**

**plus une session sur les paramétrisations
physiques**

AMA 2011

8-10 février 2011

Programme AMA 2011

Mardi 8 février 2011

- 9 h 30 - 10 h **Accueil Inscriptions Café**
- 10 h - 10 h 10 **Ouverture par Philippe Bougeault**
- Architectures massivement parallèles : adaptation des modèles et apports de la puissance**
- 10 h 10 - 11 h 50 ***Vers un monde parallèle : modérateur Eric Maisonnave***
- 10 h 10 - 10 h 40 *Exposé du GENCI*
Le calcul intensif en France et en Europe dans le cadre des initiatives GENCI et PRACE
- 10 h 40 - 11 h *Alain BEURAUD (DSI/D/CM)*
[Vers de nouveaux horizons pour le calcul intensif à Météo-France](#)
- 11 h - 11 h 20 *Eric SEVAULT (CNRM/GMAP/ALGO)*
[Guide du routard d'un monde parallèle](#)
- 11 h 20 - 11 h 50 *Luc Giraud (INRIA Bordeaux - Sud-Ouest, équipe HiePACS, Laboratoire commun INRIA-CERFACS) et Xavier Vasseur (CERFACS/Algorithmes Parallèles et équipe HiePACS)*
[Architectures massivement parallèles: quelques questions algorithmiques ouvertes](#)
- 12 h - 13 h **Prix Prud'homme**
- 13 h - 14 h 30 **Buffet**
- 14 h 30 - 16 h ***Les modèles confrontés au monde parallèle : modérateur Alain Beuraud***
- 14 h 30 - 15 h *Deborah Salmond (Research Department, CEPMMT)*
[Scalabilité et l'efficacité de l'IFS](#)
- 15 h - 15 h 20 *Philippe Marguinaud (Météo-France/CNRM/GMAP)*
[La scalabilité du modèle AROME](#)
- 15h20-15h40 *Juan ESCOBAR (Laboratoire d'Aérodynamique, CNRS et Université de Toulouse III)*
[Adaptation de Méso-NH aux architectures massivement parallèles pétaflopique](#)
- 15h40-16h *Jean-Baptiste Filippi, Xavier Pialat et Frédéric Bosseur (laboratoire SPE CNRS - UMR6134)*
[Fire/Atmosphere coupled simulations](#)
- 16 h - 16 h 30 **Pause Café**

- 16 h 30 - 17 h 50 **Les modèles confrontés au monde parallèle (suite) : modérateur Stéphane Sénési**
- 16 h 30 - 16 h 50 Rémy Baraille (SHOM)
[Travaux de parallélisation du modèle HYCOM](#)
- 16 h 50 - 17 h 10 Bourdallé-Badie R. (CERFACS/Mercator-océan), Bricaud C. (Mercator-ocean), Chanut J. (Mercator-ocean), Chekki M. (Mercator-ocean), Reffray G. (Mercator-ocean), Tranchant B. (CLS)
[Calcul hautes performances à Mercator-océan](#)
- 17 h 10 - 17 h 30 Jean-Philippe PIEDELIEVRE (Météo-France/CNRM/GMGEC/EAC)
[ARPEGE climat en mémoire distribuée](#)
- 17 h 30 - 17 h 50 Yann Meurdesoif (LSCE), Arnaud Caubel (LSCE) et Sébastien Masson (LOCEAN)
[Modélisation couplée océan-atmosphère à très haute résolution : le Grand Défi IPSL au CINES](#)

Mercredi 9 février 2011

- 9 h - 10 h 20 **Autour des modèles : modérateur Stéphane Sénési**
- 9 h - 9 h 20 Ryad EL KHATIB (Météo-France CNRM/GMAP)
[Fabrication des bases de données d'observations pour l'assimilation des modèles ARPEGE et AROME : un problème de scalabilité forte](#)
- 9 h 20 - 9 h 40 Guillaume PERNOT (CTOH/LEGOS)
[PyCTOH : un serveur OPeNDAP à l'échelle peta-octet](#)
- 9 h 40 - 10 h Sophie Valcke, Eric Maisonnave, Laure Coquart (CERFACS)
[Le couplage océan-atmosphère parallèle: d'OASIS3 à OASIS4](#)
- 10h - 10h20 Christophe Denis (EDF R&D SINETICS)
[Coupler calcul haute performance et validation numérique : une nouvelle approche pour effectuer des simulations numériques efficaces et précises](#)
- 10 h 20 - 10 h 50 **Pause Café**
- 10 h 50 - 12 h 20 **Algorithmie : modérateur Fabrice Voitus**
- 10 h 50 - 11 h 10 J. Pudykiewicz, S. Chamberland (RPN)
[Algorithme en volumes finis pour la simulation d'écoulements atmosphériques sur une grille icosaédrique géodésique](#)
- 11 h 10 - 11 h 30 Thomas Dubos (LMD/IPSL) et Nicholas Kevlahan (McMaster University, Canada)
[Raffinement de maillage sur grilles icosaédriques-hexagonales](#)
- 11 h 30 - 11 h 50 Sarvesh Dubey(LMD), Thomas Dubos(LMD), Frederic Hourdin (LMD), Rashmi mittal(NCAR)
[Positive advection schemes for icosahedral-hexagonal grids](#)

- 11 h 50 - 12 h 20 *Xavier Lapillonne (Center for Climate Systems Modeling ETHZ - Meteoswiss)*
[Nouvelles implémentations du modèle météorologique COSMO envisagées afin d'adapter le code aux prochaines générations de supercalculateurs](#)
- 12 h 20 - 14 h **Pause Déjeuner**
- Paramétrisations Physiques**
- Outils et méthodologie**
- 14 h - 14 h 40 ***Simulations unidimensionnelles***
- 14 h - 14 h 20 *Eric Bazile (CNRM/GMAP/PROC), Isabelle Beau (CNRM/GMGEC/EAC)*
[Simulations 1D de transitions stratocumulus-cumulus avec le modèle MUSC de Météo-France](#)
- 14 h 20 - 14 h 40 *MP Lefebvre (LMD), S Bony (LMD), JY Grandpeix (LMD), A.Jam (LMD), F Hourdin (LMD), C.Rio (LMD), I Beau(CNRM/GAME), E Bazile (CNRM/GAME)*
[Simulations 1D sur un cas composite de transition stratocumulus-cumulus](#)
- 14 h 40 - 16 h ***Utilisation des observatoires atmosphériques pour l'évaluation des modèles***
- 14 h 40 - 15 h *Marjolaine Chiriaco (LATMOS), Jean-Charles Dupont (IPSL), Martial Haeffelin (IPSL), Ludmila Klenov (IPSL), Frédérique Cheruy (LMD), Sandrine Bony (LMD)*
[Synthèse de 10 ans d'observation de l'atmosphère au SIRTa : utilisation pour l'évaluation des modèles de climat dans le cadre d'EUCLIPSE](#)
- 15 h - 15 h 20 *Martial Haeffelin (Institut Pierre-Simon Laplace) and the ES0702 COST action participants*
[Evaluation of mixing height retrievals from automatic profiling lidars and ceilometers in view of future integrated networks in Europe](#)
- 15 h 20 - 15 h 40 *F. Chéruy (LMD), A. Campoy (SISYPHE) J.C. Dupont (IPSL), F. Hourdin (LMD), M. Haeffelin (IPSL)*
[Approche 1D et 3D pour l'évaluation des paramétrisations physiques des modèles de climat à l'aide des observations de sites instrumentés](#)
- 15 h 40 - 16 h *A. Campoy, A. Ducharne, F. Hourdin, F. Chéruy, J.C. Dupont, M. Haeffelin*
[Sensibilité à l'hydrologie des simulations couplées Atmosphère/Surface effectuées avec LMDZ en configuration zoomée guidée et évaluation sur le site instrumenté du SIRTa](#)
- 16 h - 16 h 30 **Pause Café**
- 16 h 30 - 18 h 10 **Stratégies d'évaluation des modèles de prévision et de climat**
- 16 h 30 - 16 h 50 *Florian Pantillon (LA), Jean-Pierre Chaboureau (LA), Christine Lac (CNRM), Patrick Mascart (LA) et Juan Escobar (LA)*
[Modélisation Més0-NH semi-hémisphérique à résolution kilométrique : transition extra-tropicale de l'ouragan Héléne 2006](#)

- 16 h 50 - 17 h 10 *A. Schaeffer, A. Molcard, P. Fraunié, P. Garreau, Y. Seity (LSEET USTV-CNRS, Ifremer DYNECO et CNRM Météo-France)*
[Sensibilité de la circulation côtière à la résolution spatio-temporelle du forçage atmosphérique](#)
- 17 h 10 - 17 h 30 *Oumarou NIKIEMA et René LAPRISE (Centre ESCER (Étude et Simulation du Climat à l'Échelle Régionale), UQAM)*
[Diagnostic de la variabilité interne d'un ensemble de simulation du Modèle Régional Canadien du Climat](#)
- 17 h 30 - 17 h 50 *Kossivi Yewougni TETE et René Laprise (Université du Québec À Montréal)*
[Étude de la sensibilité des simulations du MRCC à la localisation du domaine, en terme de la variabilité interne et de l'habileté à reproduire le climat observé en Afrique de l'Ouest](#)
- 17 h 50 - 18 h 10 *H. Gallee(LGGE), C. Prieur(LJK/MOISE), Anestis(LJK/SMS), C. Helbert (LJK/MOISE), L. Viry (UJF/MOISE), E Caron((LIP/GRAAL)*
[Spatio-temporal modeling of Western African monsoon](#)

Jeudi 10 février 2011

Amélioration des schémas existants et développements de nouveaux schémas

- 9 h - 9 h 40 **Couches limites stables**
- 9 h - 9 h 20 *Agosta C (1,2) Favier V (1) Gallée H (1) Genthon C (1) Krinner G (1) (1) Laboratoire de Glaciologie et de Géophysique de l'Environnement (2) Université de Grenoble*
[Désagrégation du Bilan de Masse et du Bilan d'Énergie en Surface de la calotte polaire Antarctique, application pour le 21^{ème} siècle](#)
- 9 h 20 - 9 h 40 *Christophe Brun, Sébastien Blein, LEGI, Grenoble Université*
[Simulation LES de la couche limite atmosphérique stable le long d'un relief alpin. Mise en évidence d'instabilités de Görtler favorisant le mélange près du sol](#)
- 9 h 40 - 11 h **Couches limites convectives**
- 9 h 40 - 10 h *Pascal MARQUET (Météo-France, DPrévi-LABO)*
[Une étude de l'entropie humide en météorologie](#)
- 10 h - 10 h 20 *Jam, Hourdin, Rio, Couvreur (LMD, CNRM)*
[Paramétrisation de l'entraînement et du detrainement dans le modèle du thermique](#)
- 10 h 20 - 10 h 40 *Yves Bouteloup (CNRM/GMAP)*
[Amélioration de la paramétrisation de la convection peu profonde dans les modèles hydrostatiques ARPEGE et ALADIN](#)
- 10 h 40 - 11 h *F. Couvreur, C. Rio, F. Guichard, A. Gounou, M. Lothon, D. Bouniol*
[Un cas d'étude de la transition couche limite-convection peu profonde-convection profonde en zone semi-aride](#)

11 h - 11 h 30	Pause café
11 h 30 - 12 h 50	Convection profonde
11 h 30 - 11 h 50	<i>Nicolas Rochetin & Jean-Yves Grandpeix (LMD Jussieu, Paris)</i> Une nouvelle paramétrisation du couplage entre convection peu profonde et convection profonde
11 h 50 - 12 h 10	<i>Jean-François Guérémy (CNRM/GMGEC)</i> Nouveau schéma de convection dans ARPEGE-Climat: validation multi-environnement: 1D, 3D domaine limité et climat, et prévision saisonnière
12 h 10 - 12 h 30	<i>Jean-Marcel Piriou (Météo-France CNRM)</i> PCMT: un schéma de convection pour la prévision opérationnelle et climatique
12 h 30 - 12 h 50	<i>Jean-Yves Grandpeix (LMD/IPSL)</i> Paramétrisation des courants de densité et résolution horizontale
12 h 50 - 14 h	Pause déjeuner
14 h - 15 h 20	Convection profonde (suite)
14 h - 14 h 20	<i>Camille Risi (CIRES, Université du Colorado, USA, et D. Noone, J. Worden, C. Frankenberg, G. Stiller, M. Kiefer, B. Funke, K. Walker, P. Bernath, M. Schneider, D. Wunch, V. Sherlock, N. Deutscher, D.</i> Evaluation des paramétrisations physiques impliquées dans la simulation de l'humidité troposphérique tropicale et subtropicale en utilisant des mesures de composition isotopique de l'eau
14 h 20 - 14 h 40	<i>Maud Leriche, Jean-Pierre Pinty, Céline Mari, Didier Gazen</i> Un nouveau schéma de chimie des nuages pour le modèle MesoNH
14 h 40 - 15 h	<i>Romain Pilon, Jean-Yves Grandpeix, Philippe Heinrich</i> Représentation du transport et du lessivage d'espèces trace dans la convection profonde
15 h - 15 h 20	<i>Rio C. (1), Mrowiec A. (2), Fridlind A. (2), Del Genio A. (2) ((1) Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD/IPSL), Paris, France (2) Goddard Institute for Space Studies (NASA/GISS), New-York, USA)</i> Descentes précipitantes dans les systèmes convectifs observés pendant TWP-ICE: des modèles explicites de nuages à la paramétrisation
15 h 20 - 15 h 45	Pause Café
15 h 45 - 18h	Discussion DEPHY
18 h	Fin des AMA 2011

SOMMAIRE

I. ARCHITECTURES MASSIVEMENT PARALLÈLES : ADAPTATION DES MODÈLES ET APPORTS DE LA PUISSANCE.....	15
VERS UN MONDE PARALLÈLE.....	17
Le calcul intensif en France et en Europe dans le cadre des initiatives GENCI & PRACE	19
Vers de nouveaux horizons pour le calcul intensif à Météo-France	20
Guide du routard d'un monde parallèle	21
Architectures massivement parallèles: quelques questions algorithmiques ouvertes	22
LES MODÈLES CONFRONTÉS AU MONDE PARALLÈLE.....	23
Scalabilité et l'efficacité de l'IFS	25
La scalabilité du modèle AROME	25
Adaptation de Méso-NH aux architectures massivement parallèles pétaflopiques	26
Fire/Atmosphère couplées simulations	27
Travaux de parallélisation du modèle HYCOM	28
Calcul hautes performances à Mercator-océan	29
ARPEGE climat en mémoire distribuée.....	30
Modélisation couplée océan-atmosphère à très haute résolution : le Grand Défi IPSL au CINES	31
AUTOUR DES MODÈLES.....	33
Fabrication des bases de données d'observations pour l'assimilation des modèles ARPEGE et AROME : un problème de scalabilité forte	35
PyCTOH : un serveur OPeNDAP à l'échelle peta-octet	36
Le couplage océan-atmosphère parallèle : d'OASIS3 à OASIS4	37
Coupler calcul haute performance et validation numérique : une nouvelle approche pour effectuer des simulations numériques efficaces et précises	38
ALGORITHMIQUE.....	39
Algorithme en volumes finis pour la simulation d'écoulements atmosphériques sur une grille icosaédrique géodésique	41
Raffinement de maillage sur grilles icosaédriques-hexagonales	41
Positive advection schemes for icosahedral-hexagonal grids	42
Nouvelles implémentations du modèle météorologique COSMO envisagées afin d'adapter le code aux prochaines générations de supercalculateurs	42

II. PARAMÉTRISATIONS PHYSIQUES.....	43
II. A. OUTILS ET MÉTHODOLOGIE.....	45
SIMULATIONS UNIDIMENSIONNELLES.....	45
Simulations 1D de transitions stratocumulus-cumulus avec le modèle MUSC de Météo-France	47
Simulations 1D sur un cas composite de transition stratocumulus-cumulus	48
UTILISATION DES OBSERVATOIRES ATMOSPHÉRIQUES POUR L'ÉVALUATION DES MODÈLES.....	49
Synthèse de 10 ans d'observation de l'atmosphère au SIRTA : utilisation pour l'évaluation des modèles de climat dans le cadre d'EUCLIPSE	51
Evaluation of mixing height retrievals from automatic profiling lidars and ceilometers in view of future integrated networks in Europe	52
Approche 1D et 3D pour l'évaluation des paramétrisations physiques des modèles de climat à l'aide des observations de sites instrumentés	53
Sensibilité à l'hydrologie des simulations couplées Atmosphère/Surface effectuées avec LMDZ en configuration zoomée guidée et évaluation sur le site instrumenté du SIRTA	54
STRATÉGIES D'ÉVALUATION DES MODÈLES DE PRÉVISION ET DE CLIMAT.....	55
Modélisation Mésos-NH semi-hémisphérique à résolution kilométrique : transition extra-tropicale de l'ouragan Héléne 2006	57
Sensibilité de la circulation côtière à la résolution spatio-temporelle du forçage atmosphérique	58
Diagnostic de la variabilité interne d'un ensemble de simulation du Modèle Régional Canadien du Climat	59
Étude de la sensibilité des simulations du MRCC à la localisation du domaine, en terme de la variabilité interne et de l'habileté à reproduire le climat observé en Afrique de l'Ouest	60
Spatio-temporal modeling of Western African monsoon	61
II. B. AMÉLIORATION DES SCHÉMAS EXISTANTS ET DÉVELOPPEMENTS DE NOUVEAUX SCHÉMAS.....	63
COUCHES LIMITES STABLES.....	63
Désagrégation du Bilan de Masse et du Bilan d'Énergie en Surface de la calotte polaire Antarctique, application pour le 21ème siècle	65
Simulation LES de la couche limite atmosphérique stable le long d'un relief alpin. Mise en évidence d'instabilités de Görtler favorisant le mélange près du sol	66
Une étude de l'entropie humide en météorologie	67
Paramétrisation de l'entraînement et du detrainement dans le modèle du thermique	68
Amélioration de la paramétrisation de la convection peu profonde dans les modèles hydrostatiques ARPEGE et ALADIN	69

Un cas d'étude de la transition couche limite-convection peu profonde- convection profonde en zone semi-aride	70
CONVECTION PROFONDE.....	71
Une nouvelle paramétrisation du couplage entre convection peu profonde et convection profonde	73
Nouveau schéma de convection dans ARPEGE-Climat ; validation multi- environnement : 1D, 3D domaine limité et climat, et prévision saisonnière	74
PCMT: un schéma de convection pour la prévision opérationnelle et climatique	74
Paramétrisation des courants de densité et résolution horizontale	75
Évaluation des paramétrisations physiques impliquées dans la simulation de l'humidité troposphérique tropicale et subtropicale en utilisant des mesures de composition isotopique de l'eau	76
Un nouveau schéma de chimie des nuages pour le modèle MesoNH	77
Représentation du transport et du lessivage d'espèces trace dans la convection profonde	78
Descentes précipitantes dans les systèmes convectifs observés pendant TWP-ICE: des modèles explicites de nuages à la paramétrisation	79

**I. ARCHITECTURES MASSIVEMENT PARALLÈLES :
ADAPTATION DES MODÈLES ET APPORTS DE LA
PUISSANCE**

VERS UN MONDE PARALLÈLE

Le calcul intensif en France et en Europe dans le cadre des initiatives GENCI & PRACE

exposé

Le panorama du calcul intensif destiné à la recherche scientifique en France et en Europe a profondément évolué ces dernières années, notamment dans le cadre des initiatives GENCI et PRACE. Né de la volonté politique de placer la France au meilleur niveau européen et international dans le domaine du calcul intensif, GENCI a su jeter les bases d'une véritable dynamique nationale. En trois ans, la puissance de calcul offerte aux scientifiques français a été multipliée par 30. Au plan européen, la France, au travers de GENCI, est aujourd'hui membre fondateur de la société de droit belge PRACE AISBL. Cette société permettra très prochainement aux scientifiques européens d'accéder à 4 à 6 supercalculateurs se situant aux meilleurs rangs mondiaux. La France accueille une de ces machines de nouvelle génération depuis la fin 2010, elle est localisée dans le Très Grand Centre de Calcul à Bruyères-le-Châtel. GENCI joue aussi un rôle moteur dans la promotion de l'utilisation du calcul intensif, et participe aux travaux concernant les évolutions des formations à l'utilisation de ces technologies.

Cet exposé fera un point sur les acquis de GENCI 4 ans après sa création, ainsi que sur les principales évolutions d'ores et déjà programmées pour les années à venir.

Vers de nouveaux horizons pour le calcul intensif à Météo-France

Alain BEURAUD (DSI/D/CM)

exposé

Depuis quelques années, l'augmentation de la puissance des supercalculateurs ne se fait que marginalement par un gain sur la fréquence d'horloge des microprocesseurs. L'essentiel des progrès en performance est dorénavant généralement réalisé grâce à une parallélisation massive des opérations sur un très grand nombre de processeurs. Cette tendance tend à s'accélérer actuellement, puisque des configurations dotés de dizaines voire de centaines de milliers de coeurs de calcul commencent à apparaître. Pour aller encore plus loin en terme d'efficacité, des architectures hybrides, associant des processeurs classiques et des processeurs graphiques, sont maintenant proposées.

Dans le cadre du projet "Calcul 2013", visant à remplacer les supercalculateurs de Météo-France à échéance 2013, une veille technologique a été conduite, et sera restituée succinctement en séance. Un point sera également fait sur les architectures actuellement en place dans quelques uns des grands centres informatiques dédiés à la météorologie. Les enjeux technologiques induits par l'utilisation de ces nouvelles technologies (consommation énergétique, fiabilité), ainsi que des questions connexes associées (gestion des entrées/sorties, stockage, gestion des interruptions systèmes, tolérance aux pannes) seront présentées macroscopiquement.

Enfin, cette présentation fera un point sur le calendrier du processus de renouvellement des moyens de calcul de Météo-France, et sur la stratégie retenue pour organiser le portage des applications vers la future plateforme de calcul intensif de Météo-France.

Guide du routard d'un monde parallèle

Eric SEVAULT - CNRM/GMAP/ALGO

exposé

Au delà d'une présentation des principes généraux du calcul parallèle et de l'état de l'art en la matière, en particulier dans le domaine des sciences atmosphériques, l'exposé essaiera d'explorer ce "monde parallèle" d'une façon globale : les noyaux de calculs, bien entendu, mais aussi les environnements de développement, la problématique des IO, le flux de tâches et toute cette sorte de choses.

Architectures massivement parallèles: quelques questions algorithmiques ouvertes

Luc Giraud (INRIA Bordeaux - Sud-Ouest, équipe HiePACS, Laboratoire commun INRIA-CERFACS) et Xavier Vasseur (CERFACS/Algorithmes Parallèles et équipe HiePACS)

exposé

Après une courte introduction aux paradigmes de programmation actuels et aux architectures des calculateurs parallèles multi-coeurs à mémoire distribuée, nous présenterons les principaux défis algorithmiques que pose toute simulation numérique envisagée sur les plateformes massivement parallèles pour qu'elle passe à l'échelle. De telles simulations devront résoudre des problèmes comme la résilience ou le développement d'algorithmes efficaces sur des noeuds hétérogènes. Les réponses actuellement envisagées seront également brièvement discutées.

LES MODÈLES CONFRONTÉS AU MONDE PARALLÈLE

Scalabilité et l'efficacité de l'IFS

Deborah Salmond (Research Department, CEPMMT)

exposé

Au CEPMMT les prévisions opérationnelles et l'assimilation des données sont faites tous les jours avec l'IFS, à haute résolution sur 1536 processeurs Power6 d'IBM. Les performances de la dernière version d'IFS, en termes de scalabilité et de puissance soutenue seront présentées pour différents nombres de noeuds. De nouvelles approches destinées à améliorer la scalabilité et l'efficacité de l'IFS seront ensuite décrites. Les résultats d'une étude portant sur les problèmes spécifiques liés à la scalabilité du 4D-Var seront aussi détaillés. Les conclusions provisoires porteront sur l'orientation à donner aux futurs travaux dans ce domaine.

La scalabilité du modèle AROME

Philippe Marguinaud (Météo-France/CNRM/GMAP)

exposé

La phase préparatoire du renouvellement du calculateur de Météo-France a été l'occasion de porter et d'évaluer le modèle AROME sur machines scalaires. Un benchmark a par ailleurs été soumis au comité informel RAPS, dans le but de familiariser les constructeurs avec nos codes; c'est aussi une opportunité de recevoir des évaluations et des remarques indépendantes.

Cet exposé fera le point sur les performances et la scalabilité du modèle à aire limitée AROME. On examinera également les problèmes spécifiques aux architectures massivement parallèles et les solutions qui ont été (ou pourraient être) mises en oeuvre.

Adaptation de Méso-NH aux architectures massivement parallèles pétaflopiques

Juan ESCOBAR (Laboratoire d'Aérodynamique, CNRS et Université de Toulouse III)

exposé

Le code communautaire Méso-NH est le modèle de recherche météorologique mésoéchelle communautaire français, développé conjointement par le Laboratoire d'Aérodynamique et le CNRM-GAME. Le code Méso-NH intègre un système d'équations non-hydrostatique, permettant de traiter avec le même outil une vaste gamme de phénomènes atmosphériques. Le modèle est doté d'un jeu complet de paramétrisations physiques, particulièrement avancées pour la représentation des nuages et précipitations et est couplé avec des modules de chimie d'aérosols dont l'ensemble offre un cadre privilégié pour toute étude numérique de physico-chimie atmosphérique. L'ensemble des logiciels gérés représente environ un million de lignes de code. Le système fonctionne depuis quelques années sur les machines scalaires parallèles du GENCI et de Météo-France et depuis peu sur celle du centre européen pétaflopique PRACE. Bien qu'une grande partie du modèle MESO-NH soit parallèle depuis 1999, il a néanmoins été nécessaire de l'adapter aux nouveaux calculateurs.

Pour réaliser les premières simulations Meso-NH de cas réel à l'échelle kilométrique sur de grandes grilles (8192 x 8192 x 128 points = 8 milliards de points et plus), des efforts sont nécessaires sur la parallélisation et l'optimisation de Méso-NH. Nous présenterons les problèmes rencontrés ainsi que les travaux réalisés qui ont porté sur les entrées sorties et le solveur de pression. Une première modification a consisté à changer l'adressage des fichiers afin de dépasser la limite de 16 Go de taille de fichiers, ce qui a permis au modèle de générer 400 Go de données en un seul fichier pour une grille de 4096 x 4096 x 128 points (2,1 milliards de points). Cependant, un seul processeur contrôlant les sorties, il est alors nécessaire de lui associer une grande mémoire tampon. Mais celle-ci est limitée par processeur. L'adaptation a donc consisté à écrire les champs 3D par niveau vertical. Ainsi une grille à 128 niveaux verticaux peut utiliser jusqu'à 128 coeurs et fichiers, ce qui réduit la taille de la mémoire tampon et augmente la vitesse de lecture/écriture des entrées/sorties. Enfin, la décomposition par transformée de Fourier pour résoudre la pression atmosphérique se fait maintenant selon trois directions, au lieu de deux précédemment. Ainsi, un modèle avec une grille de 512 x 512 x 128 points (33 millions de points) qui ne pouvait tourner qu'avec 512 coeurs peut utiliser au maximum 512 x 128 = 65 526 coeurs.

Une excellente scalabilité de Méso-NH a été obtenue et le TéraFlop/s a été atteint sur toutes les machines nationales où le code a été testé, démontrant que ce dernier peut s'adapter à tout type de machines. En 2008, le portage de Méso-NH sur les nouvelles plates-formes massivement parallèles du GENCI a permis de réaliser les premières simulations idéalisées sur des grilles allant jusqu'à 2048 x 2048 x 128 points (2 milliards de points) et plus de 8000 processeurs, avec pour la première fois une performance soutenue de plus de 1 TéraFlops pour Méso-NH. Début 2010, la scalabilité de Méso-NH a été étendue jusqu'à 130 000 processeurs et 4.5 TéraFlops sur la première machine pétaflopique IBM-BG/P JUGENE de PRACE.

Fire/Atmosphere coupled simulations

Jean-Baptiste Filippi, Xavier Pialat et Frédéric Bosseur (laboratoire SPE CNRS - UMR6134)

exposé

Fire behaviour is dependent of many physical processes and modelling their interactions requires a highly detailed and computationally intensive model. In this presentation we will show an approach that couples a fire area simulator to a mesoscale weather numerical model in order to simulate local fire/atmosphere interaction.

Simulation of moving interfaces like a fire front usually requires the resolution of a large scale and detailed domain. Such computing involves the use of supercomputers to process the large amount of data and calculations. This limitation is mainly due to the fact that large scale of space and time is usually split into nodes and the solving methods often require small time steps. The proposed method enables the simulation of large scale/high resolution systems by focusing on the interface. Time integration is based on the discrete-event approach, i.e. we use polygons whose corners are moved according to the local velocity model. The system is described by the behaviour of its interface, and evolves by advecting the interface nodes while handling the interface topology. As this simulation technique is suited for a class of models that explicitly provide the rate of spread for a given configuration, we developed a specific radiation based propagation model of physical wildland fire.

While the wildland fire model doesn't require intensive parallel computation, its interaction with the atmosphere implies parallel computations for the meteorological model. Several parallel architectures were considered, from which the "embedded" parallelism was chosen. This parallel design takes benefit from the parallel implantation of the atmospheric code (presently Meso-NH from MeteoFrance) to control the communications needed by the fire propagation simulator.

Five idealized simulation cases are analysed showing strong interaction between topography and the fire front induced wind, interactions that could not be simulated in non-coupled simulations. The same approach applied to a real case scenario also shows results that are qualitatively comparable to the observed case. All of these results were obtained in less than a day of calculation on a dual processor computer, leaving room for improvement in grid resolution that is currently limited to fifty meter.

Travaux de parallélisation du modèle HYCOM

Rémy Baraille /SHOM

exposé

Le modèle aux équations primitives HYCOM décrit l'évolution de la circulation océanique. La parallélisation du modèle est faite par une méthode de décomposition de domaine, chaque processeur étant responsable d'une partie du maillage bidimensionnel de l'océan. La dimension verticale n'est pas parallélisée. Nous présenterons la stratégie d'échanges entre les processeurs mise en oeuvre ainsi que l'optimisation des entrées/sorties qui a été choisie lors du développement du linéaire tangent et de l'adjoint du modèle.

Calcul hautes performances à Mercator-océan

Bourdallé-Badie R. (CERFACS/Mercator-océan), Bricaud C., Chanut J., Chekki M.,
Reffray G. (Mercator-ocean), Tranchant B. (CLS)

exposé

Mercator-océan est une société civile ayant pour but de réaliser des prévisions océaniques ainsi que des réanalyses de l'état de l'océan. Une grosse part de l'activité de Mercator-océan s'inscrit aussi dans le cadre du projet européen myocean. Dans ce contexte de nombreux modèles d'océan, basé sur le code européen NEMO, ont été développés.

La circulation océanique est composée de courants grandes échelles et de tourbillons et filaments. Afin d'être en mesure de représenter ces plus petites structures il est nécessaire de résoudre le premier rayon de déformation de rossby, on parle alors de modèle « eddy resolving ». Aux vues de l'augmentation des capacités des calculateurs nous sommes maintenant en mesure de développer de tels modèles qui sont cependant proches des limites des machines (mailles de 7km à 45° nord). Nous avons donc développé un modèle d'océan global au 1/12° (mailles de 7km à 45° N) auquel nous avons branché le système d'assimilation Mercator et un modèle couvrant les côtes françaises Atlantique et Méditerranée au 1/36° (mailles de 2-3km). Le prototype global tourne actuellement en back up afin de le valider. Nous sommes proposons donc d'exposer les 3 types de problèmes auxquels nous sommes confrontés avec ces nouvelles générations de modèles :

- Des problèmes liés aux tailles mémoires : De tels modèles et tels systèmes nécessitent une très importante capacité mémoire. Par exemple, le modèle global en mode libre, sans assimilation de données, nécessite 650Go de mémoire RAM.
- La scalabilité : A cause des conditions CFL ces modèles ont des pas de temps très petits et donc sont très couteux en CPU. Le modèle global tourne actuelle sur 158 processeurs SGI et celui au 1/36° sur 512 processeurs IBM au CEPMMT. Afin de pouvoir accélérer le temps de restitution nous envisageons, par exemple, d'utiliser pour le modèle global 1024 processeurs au CEPMMT et plus de 2000 sur la SGI du CINES. Des études de scalabilité sur ces machines sont en cours afin d'utiliser le nombre de processeur le plus adapté, ces résultats étant très liés aux capacités MPI des calculateurs. De plus, un avantage du code NEMO est de pouvoir supprimer les domaines locaux MPI se situant exclusivement sur la terre : lors de l'utilisation de nombreux processeurs cela entraine un gain important dû au ratio de « processeurs utiles » / « découpage ».
- Le volume des sorties : Nous avons aussi dû réaliser un travail important afin de diminuer le volume des sorties (écriture en tronquant la précision) et des développements d'outils de post-traitement adapté à ces sorties.

Pour mener ces études de capacité nous utilisons aussi une configuration nommée GYRE qui simule un océan idéalisé et qui ne nécessite aucun fichier d'entrée. Cette configuration a été soumise dans le cadre de RAPS. L'avantage d'une telle configuration est la flexibilité car la résolution, le pas de temps et la possibilité d'écrire des sorties sont paramétrables. Nous avons ainsi pu mener des études avec des nombres de processeurs différents et des résolutions de modèles différentes : 1/4°, 1/12° et 1/36°. Selon les résultats obtenus avec ces configurations, on peut donc imaginer développer, dans un futur plus lointain, un modèle global au 1/36°. Ce type de modèle nécessitera 4 à 5 To de RAM et devra tourner sur 10000 processeurs.

ARPEGE climat en mémoire distribuée

Jean-Philippe PIEDELIEVRE - Météo-France/CNRM/GMGEC/EAC

exposé

Dans la catégorie : témoignages et retours d'expérience.

Le modèle de circulation générale du CNRM, ARPEGE climat : Depuis le passage du code d'ARPEGE/IFS au mode « mémoire distribuée », en 1996 par le Centre Européen de Prévision de Reading en vue de son exploitation sur des machines à architecture parallèle, sa version climat a été adaptée (1997) afin d'être installée sur toute sorte de plateformes de calcul distribué, pour l'usage du CNRM, mais aussi à la demande de divers partenaires souhaitant utiliser ce modèle de circulation générale pour leurs propres recherches. La diversité des portages a montré la grande variabilité du taux de performance pour un code qui n'a pas été initialement conçu pour optimiser l'exploitation des ressources dans un environnement parallèle. La multiplicité des opérations d'IO, par exemple, pesant lourd sur la "scalabilité" comme on peut s'en rendre compte par un test sur réalisé sur l'IBM d'ECMWF. Pour une résolution offrant un potentiel d'utilisation de 111 processeurs, la courbe du "speed up" est à l'asymptote à partir de 40. Il ressort également des diverses utilisations de ce code qu'un des facteurs déterminant est la disponibilité variable du réseau de communication entre les noeuds sur des machines partagées par des nombreux utilisateurs. Une machine dédiée moyennement performante pourra satisfaire un projet mieux qu'un super ordinateur hyper performant mais surchargé jour et nuit, tous les jours de la semaine. Pour le chercheur qui doit conduire des expériences longues, tester rapidement les options des paramétrisations, calibrer des coefficients et juger des impacts sur les résultats par des expériences de sensibilité nombreuses et répétées, avant de pouvoir lancer des simulations longues dans le cadre de projets internationaux, le critère de la disponibilité de la ressource n'est pas loin de primer sur les autres. Le point de vue du chercheur n'est pas celui du monitoring pour qui l'optimum est atteint quand le plein usage des ressources est assuré. La puissance des processeurs assure un accroissement de la rapidité des calculs, mais l'impact du parallélisme est plus difficile à évaluer sur un grand ensemble de cas exécuté sous différentes contraintes : du serveur de calcul individuel (PC Linux multicoeur) à l'hyper ordinateur massivement distribué mais tout aussi massivement partagé entre un grand nombre d'utilisateurs dont la granularité des jobs couvre un très large spectre.

Ce sont là quelques retours d'expériences particulières qui n'ont évidemment pas valeur de règle mais qui se vérifient, assez régulièrement, tous centres de calcul confondus.

Modélisation couplée océan-atmosphère à très haute résolution : le Grand Défi IPSL au CINES

Yann Meurdesoif (LSCE), Arnaud Caubel (LSCE) et Sébastien Masson (LOCEAN)

exposé

Nous avons utilisé le modèle couplé de l'IPSL dans une configuration à très haute résolution ($1/3^\circ$ pour LMDZ et $1/4^\circ$ ORCA025). L'exposé fera le bilan (problèmes rencontrés, solutions retenues, performances obtenues) de la première expérience de 10 ans de simulation sur la machine Jade2 du CINES (autour de 2000 processeurs).

AUTOUR DES MODÈLES

Fabrication des bases de données d'observations pour l'assimilation des modèles ARPEGE et AROME : un problème de scalabilité forte

Ryad EL KHATIB Météo-France (CNRM/GMAP)

exposé

Dans le processus d'assimilation variationnelle des modèles ARPEGE et AROME, la tâche logicielle en charge de la fabrication des bases de données d'observation est la première qui soit sur le chemin critique du temps réel d'exécution de cette suite. Cette application séquentielle et relativement petite se trouve ainsi confrontée à la nécessité de l'exécuter de plus en plus rapidement et sur des calculateurs parallèles. Les problèmes de scalabilité de cette application seront présentés, et les diverses voies pour les réduire seront explorées.

PyCTOH : un serveur OPeNDAP à l'échelle peta-octet

Guillaume PERNOT (CTOH/LEGOS)

exposé

Le Centre de Topographie des Océans et de l'Hydrosphère (CTOH) est un service d'observation dédié au traitement et à la distribution de données d'altimétrie, principalement satellitaire.

Ces données sont massives et hétérogènes. Massives, car les données satellitaires ou les sorties de modèles ont une couverture globale, et une fréquence d'acquisition relativement élevée.

Hétérogènes, car les données peuvent avoir différentes sources, différents types et différentes dimensions :

- données 1D (temps). e.g. : station d'acquisition fixe, données "along-track", ...
- données 2D (longitude, latitude). e.g. : cartes, géoïde, ...
- données 3D ou 4D (temps, hauteur / profondeur, longitude, latitude). e.g. : sorties de modèles, ...

De plus, pour être efficacement exploitées, ces données doivent être accessibles aux outils courants du marché, et donc respecter les normes, formats et protocoles en vigueur dans la communauté (OPeNDAP, WMS, KML, netCDF, ASCII, ...).

S'appuyant sur une expertise de plus de 20 ans dans les bases de données altimétriques, le CTOH a développé un serveur autorisant un accès rapide, fluide et homogène à un très volumineux corpus de données géophysiques : PyCTOH.

PyCTOH est un serveur OPeNDAP distribué. Il se déploie sur un cloud (ou un cluster) assurant la répartition à la fois du stockage des données et des calculs.

Cet exposé détaillera les problématiques liées à l'accès à de très volumineuses données (de l'ordre du petaoctet) et les solutions adoptées par PyCTOH.

Logiciels utilisés : python, numpy, twistedmatrix, postgresql / PostGIS, PyDAP, Cassandra
Écosystème logiciel : GrADS, ferret, QuantumGIS, OpenLayers, OceanDataView, IDL, matlab, googleearth

Mots-clefs : OPeNDAP, netCDF, KML, WMS, petascale, GIS, SQL, NoSQL
Site web : <http://pyctoh.nongnu.org/>

Le couplage océan-atmosphère parallèle : d'OASIS3 à OASIS4

Sophie Valcke, Eric Maisonnave, Laure Coquart (CERFACS)

exposé

OASIS est un logiciel développé depuis 1991 au CERFACS qui permet de coupler des codes numériques représentant les diverses composantes du système climatique terrestre (océan, atmosphère, glace de mer, surfaces continentales, ...), c'est-à-dire d'échanger et de transformer de l'information (des « champs de couplage ») de façon synchronisée à l'interface de ces composantes. Aujourd'hui, OASIS est développé dans le cadre du projet Européen IS-ENES en collaboration avec le Centre National de la Recherche Scientifique (Paris, France) et le DKRZ (Deutsches Klimarechenzentrum, Hamburg, Germany) et est aujourd'hui utilisé par plus de 30 groupes de recherche en modélisation climatique à travers le monde.

Deux versions d'OASIS sont actuellement disponibles: OASIS3, résultat de plus de 15 années de développement, et OASIS4, nouvelle version complètement parallèle autant au niveau de l'échange que de la transformation des données. La parallélisation du couplage est un passage obligé pour l'exécution de modèles couplés sur des plates-formes de calcul à architecture massivement parallèle.

OASIS3 permet de paralléliser partiellement le couplage, dans le sens où chaque processus d'une composante du modèle couplé peut envoyer et recevoir la partie du champ de couplage correspondant à son domaine local et dans le sens où le coupleur lui-même peut tourner en parallèle sur plusieurs processus, chaque processus traitant cependant l'intégralité d'un ou de plusieurs champs de couplage. Sur chaque processus, l'interpolation d'un champ de couplage reste cependant séquentielle. La parallélisation d'OASIS3 est donc intrinsèquement limitée par le nombre de champs de couplage.

OASIS4 est quant à lui complètement parallèle. L'"identification des voisins" i.e. le repérage, pour chaque point de la composante cible, des points de la grille source qui serviront à lui calculer une valeur, se fait en parallèle dans la librairie de communication d'OASIS4 attachée au modèle source grâce à un algorithme multi-grille efficace. Cette identification se fait séparément pour chaque intersection de domaine entre les processus sources et les processus cibles. L'entité de couplage centrale qui effectue le calcul du champ de couplage se parallélise sur ces intersections de domaines locaux sources et cibles et s'adapte donc naturellement à la parallélisation des composantes modèles.

Dans cet exposé, nous détaillerons les couplages à plus hautes résolutions réalisés avec OASIS3 sans que la parallélisation partielle d'OASIS3 n'entraîne de goulot d'étranglement. Nous présenterons également les premiers couplages complètement parallèles réalisés avec OASIS4 ainsi que des mesures d'efficacité de l'algorithme multi-grilles.

Coupler calcul haute performance et validation numérique : une nouvelle approche pour effectuer des simulations numériques efficaces et précises

Christophe Denis (EDF R&D SINETICS)

exposé

Le résultat d'un code de simulation numérique subit plusieurs approximations effectuées lors de la modélisation mathématique du problème physique, de la discrétisation du modèle mathématique et de la résolution numérique en arithmétique flottante. Les deux premières approximations sont bien connues et maîtrisées par l'ingénieur numéricien. Malheureusement, on ne peut pas effectuer de calcul numérique flottant sans risque de produire des résultats erronés. Par exemple, un article scientifique a montré qu'un code numérique de météorologie s'exécutant sur trois différentes plateformes de calcul produisait des erreurs de température allant jusqu'à 3 degrés celsius à cause de la propagation des erreurs d'arrondi [1].

La fiabilité d'un code (c'est-à-dire sa capacité à produire des résultats précis malgré les erreurs d'arrondi) est primordiale pour des codes industriels tels que ceux développés à EDF R&D. Il est en effet contre-productif de calculer rapidement un résultat potentiellement entachés de nombreuses erreurs d'arrondi. Il existe donc un besoin d'outils pour étudier la qualité numérique de codes parallèles.

La première partie de la présentation a pour objet de vulgariser le problème lié à la propagation d'erreurs d'arrondi dans un code numérique parallèle en s'appuyant sur des exemples. Les développements en cours à EDF R&D de la bibliothèque visant à étudier la qualité numérique d'un code parallèle sont ensuite présentés.

[1] Goel, S. and ,Dash, S. K. (2007), Response of model simulated weather parameters to round-off-errors on different systems, Environmental Modelling and Software, pp. 1164-1174.

ALGORITHMIE

Algorithme en volumes finis pour la simulation d'écoulements atmosphériques sur une grille icosaédrique géodésique

J. Pudykiewicz, S. Chamberland (RPN)

exposé

L'algorithme numérique pour la simulation d'écoulements atmosphériques sur la grille icosaédrique géodésique sera présenté. Le système utilise la technique des volumes finis pour la discrétisation des opérateurs différentiels et la méthode de Runge-Kutta d'ordre quatre pour l'intégration temporelle. La méthode a été initialement évaluée avec les équations de Saint-Venant à l'aide de la suite standard des tests numériques. Des expériences supplémentaires réalisées avec ce schéma simulent des écoulements dynamiques réactifs sur la sphère.

La plus récente version de cet algorithme sur architectures massivement parallèles démontre une bonne performance informatique.

Raffinement de maillage sur grilles icosaédriques-hexagonales

Thomas Dubos (LMD/IPSL) et Nicholas Kevlahan (McMaster University, Canada)

exposé

La transition vers des coeurs dynamiques massivement parallèles passe par l'adoption de maillages de la sphère sans singularité aux pôles, tels que les maillages icosaédriques-triangulaires ou icosaédriques-hexagonaux. Les maillages icosaédriques-triangulaires forment une hiérarchie obtenue par subdivisions successives de l'icosaèdre régulier. Le raffinement local y est donc réalisable par des techniques standard. En revanche les maillages icosaédriques-hexagonaux, duaux des précédents, ne sont pas emboîtés les uns dans les autres. Réaliser un raffinement local n'est pas évident.

Nous présentons une stratégie de raffinement inspirée de la théorie des ondelettes sphériques. Ces ondelettes de seconde génération reposent sur des opérations d'interpolation entre deux niveaux de résolution et de projection d'un champ fin sur une grille grossière. La méthode du "lifting" fournit une construction générale de ces opérations satisfaisant des contraintes de reconstruction exacte, de précision et de conservation. Les propriétés de la méthode sont démontrées sur un problème simplifié (équation des ondes).

Positive advection schemes for icosahedral-hexagonal grids

Sarvesh Dubey (LMD), Thomas Dubos (LMD), Frédéric Hourdin (LMD), Rashmi Mittal (NCAR)

exposé

Icosahedral-hexagonal grids are free of the polar singularity of latitude-longitude grids and open the way to massively parallel execution of hydrodynamical cores. However numerical schemes relying on the Cartesian grid must be replaced. We present ongoing work preparing a hexagonal-icosahedral version of the LMD-Z general circulation model (GCM), focusing on advection schemes, an essential component of the dynamical core. Exact mass conservation is easily achieved by finite-volume schemes. The main issue is therefore to guarantee the positivity of the advection scheme together with good accuracy and minimal numerical diffusion.

We consider a icosahedral grid where control volumes are the hexagons and pentagons forming the Voronoi mesh dual to the triangular mesh obtained by subdivision of the regular icosahedron. A second-order, slope-limited, positive scheme based on the Van Leer approach has been developed.

Standard benchmarks are presented and issues arising with slope limiting in polygons are discussed.

Nouvelles implémentations du modèle météorologique COSMO envisagées afin d'adapter le code aux prochaines générations de supercalculateurs

Xavier Lapillonne (Center for Climate Systems Modeling ETHZ - Meteoswiss)

exposé

Dans le cadre du projet Suisse HP2C (High Performance High-Productivity), différentes nouvelles implémentations du modèle météorologique COSMO sont envisagées afin d'adapter le code aux prochaines générations de supercalculateurs. Parmi les options considérées il est envisagé de porter le calcul des paramétrisations physiques sur GPU (Graphical Processor Unit) en utilisant les directives spécifiques proposées par le compilateur PGI. Une première étude se focalisant sur la routine de microphysique sera discutée mettant en évidence les avantages et limitations d'une telle approche. Les modifications nécessaires à apporter au code afin de profiter pleinement des capacités des GPU seront en particulier présentées ainsi que les résultats obtenues avec les cartes graphiques NVIDIA Tesla.

II. PARAMÉTRISATIONS PHYSIQUES

II. A. OUTILS ET MÉTHODOLOGIE

SIMULATIONS UNIDIMENSIONNELLES

Simulations 1D de transitions stratocumulus-cumulus avec le modèle MUSC de Météo-France

Eric Bazile (CNRM/GMAP/PROC), Isabelle Beau (CNRM/GMGEC/EAC)

exposé

Dans le cadre du projet européen EUCLIPSE (EU CLOUD Intercomparison, Process Study and Evaluation Project), le modèle 1D ARPEGE MUSC (Modèle Unifié, Simple Colonne) du CNRM a été utilisé pour simuler des cas de transition stratocumulus marins-cumulus. Le premier cas étudié est issu de la campagne ASTEX effectuée en juin 1992 près des Açores (De Roode et Dussen, 2010). Le second cas est un cas composite construit à partir d'observations de nébulosité de couche limite (Sandu et al., 2010). Pour chacun des cas, des simulations LES sont effectuées en amont de ce travail et leurs résultats peuvent être utilisés pour valider le comportement du modèle colonne. Les cas ont été simulés, d'une part avec les physiques utilisées en PNT dans ARPEGE et dans le modèle non-hydrostatique AROME, d'autre part avec la physique du modèle CNRM-CM5, utilisé pour la préparation de l'AR5 du Giec.

Simulations 1D sur un cas composite de transition stratocumulus-cumulus

MP Lefebvre (LMD), S Bony (LMD), JY Grandpeix (LMD), A.Jam (LMD), F Hourdin (LMD), C.Rio (LMD), I Beau(CNRM/GAME), E Bazile (CNRM/GAME)

exposé

Présentation des résultats du cas composite de transition de stratocumulus marins vers de petits cumulus construit à partir d'observations de nébulosité de couche limite (Sandu et al, 2010). On présentera les résultats de la physique du modèle LMDZ incluse dans le modèle 1D ARPEGE MUSC dans différentes versions ayant servi à la mise au point de la physique utilisée pour les runs CMIP5.

**UTILISATION DES OBSERVATOIRES ATMOSPHERIQUES
POUR L'ÉVALUATION DES MODÈLES**

Synthèse de 10 ans d'observation de l'atmosphère au SIRTA : utilisation pour l'évaluation des modèles de climat dans le cadre d'EUCLIPSE

Marjolaine Chiriaco (LATMOS), Jean-Charles Dupont (IPSL), Martial Haeffelin (IPSL),
Ludmila Klenov (IPSL), Frédérique Cheruy (LMD), Sandrine Bony (LMD)

exposé

Le SIRTA (Site Instrumenté de Recherche par Télédétection Atmosphérique, en Ile de France) dispose d'une multitude de données depuis 2002 : mesure des champs thermodynamiques, mesures de flux radiatifs, mesures par lidar, mesure par radiométrie... Il est donc possible de documenter l'ensemble de la colonne atmosphérique et donc les variables ayant une sensibilité climatique importante, à l'échelle décennale. Jusqu'à ce jour, la synergie entre les différents capteurs est sous-utilisée, il y a une grande hétérogénéité de formats de fichier, de résolution temporelle, de niveau de contrôle qualité, de documentation : cette grande base de données est donc difficile à utiliser pour des analyses statistiques, et pour des chercheurs non spécialistes de la mesure. Depuis plus d'un an, nous travaillons à l'élaboration d'un fichier unique (netcdf) contenant toutes ces données, homogénéisées en termes de résolution (moyennes horaires), avec une attention particulière mise sur le contrôle qualité. Des variables comme la fraction nuageuse ou la vapeur d'eau qui peuvent être restituées à partir de plusieurs instruments font l'objet d'études particulières pour déduire une variable unique associée à une barre d'erreur. A partir de ces données, les variables définies par CFMIP sont extraites pour les deux années identifiées par EUCLIPSE, afin de construire un deuxième fichier plus spécifique à ce projet européen, et dans lequel la nomenclature sera celle de CFMIP. Un fichier équivalent est également construit pour l'observatoire hollandais de Cabaw. Ces synthèses sont et seront utilisées aussi bien pour des analyses purement observationnelles, que pour des études portant sur l'évaluation des modèles et de leurs paramétrisations.

Evaluation of mixing height retrievals from automatic profiling lidars and ceilometers in view of future integrated networks in Europe

Martial Haeffelin (Institut Pierre-Simon Laplace) and the ES0702 COST action participants

exposé

The determination of the depth of daytime and nighttime mixing layers must be known very accurately to relate boundary layer concentrations of gases or particles to upstream fluxes. The mixing height is parameterized in numerical weather prediction models, so improving the determination of the mixing height will improve the quality of the estimated gas and particle budgets. Datasets of mixing height diurnal cycles with high temporal and spatial resolutions are sought by various end users. Lidars and ceilometers provide vertical profiles of backscatter from aerosol particles. As aerosols are predominantly concentrated in the mixing layer, lidar backscatter profiles can be used to trace the depth of the mixing layer. Large numbers of automatic profiling lidars and ceilometers are deployed by Met services and other agencies in several European countries providing systems to monitor the mixing height on a temporal and spatial scale of unprecedented density. We investigated limitations and capacities of existing mixing height retrieval algorithms by applying five different retrieval techniques to three different lidars and ceilometers deployed during two one-month ICOS campaigns. We studied three important steps in the mixing height retrieval process, namely the lidar/ceilometer pre-processing to reach sufficient signal-to-noise ratio, gradient detection techniques to find the significant aerosol gradients, and finally quality control and layer attribution to identify the actual mixing height from multiple possible layer detections. We found that layer attribution is by far the most uncertain step. We tested different gradient detection techniques, and found no evidence that the first derivative, wavelet transform, and two-dimensional derivative techniques have different skills to detect one or multiple significant aerosol gradients from lidar and ceilometer attenuated backscatter. However, our study shows that when mixing height retrievals from a UV lidar and a near-IR ceilometer agreed, they were 25-40% more likely to agree with an independent radiosonde mixing height retrieval than when each lidar or ceilometer was used alone. Further more, we pointed to directions to improve the layer attribution step, for instance using commonly available surface measurements of radiation and temperature to derive surface sensible heat fluxes as a proxy for the strength of convective mixing. It is a worthwhile effort to pursue such studies so that within a few years automatic profiling lidar and ceilometer networks can be utilized efficiently to monitor mixing heights at the European scale.

Approche 1D et 3D pour l'évaluation des paramétrisations physiques des modèles de climat à l'aide des observations de sites instrumentés

F. Chéruy (LMD), A. Campoy (SISYPHE) J.C. Dupont (IPSL), F. Hourdin (LMD), M. Haeffelin (IPSL)

exposé

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. Deux approches sont confrontées sur les sites du SIRTA et de CABAUW (pays bas). L'approche « zoomée guidée » est employée depuis plusieurs années au LMD. Elle consiste à utiliser une grille fortement zoomée sur la zone cible que constitue le site instrumenté, ce qui permet d'atteindre une résolution suffisamment fine à moindre coût numérique. En outre, 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. Cette approche permet de maintenir tous les couplages actifs dans le modèle de climat. Nous montrons grâce à cette approche que le couplage avec l'hydrologie de surface est essentiel pour expliquer certains biais du modèle de climat. Une autre approche, généralement dédiée aux « études de cas » idéalisés fait appel aux versions 1D des modèles. Cette approche est très efficace en terme de moyens numériques, elle permet d'avoir accès à une grande partie des variables simulées à n'importe quel pas de temps et aussi de comparer différents modèles 1D. En faisant appel à un modèle de prévision numérique du temps, il est possible d'estimer les forçages de grande échelle sur des périodes plus longues que celles choisies pour les études de cas et de faire des sites instrumentés des bancs d'essai pour différents modèle de climat. Le KNMI (R. Neggers) a mis à notre disposition ces forçages pour les sites du SIRTA et de CABAUW. Les difficultés dues à l'absence ou la partialité des couplage physique/dynamique/hydrologie sont analysée. Les simulations 1D sont ensuite comparées aux simulations effectuées avec l'approche « zoomée-guidée »

Sensibilité à l'hydrologie des simulations couplées Atmosphère/Surface effectuées avec LMDZ en configuration zoomée guidée et évaluation sur le site instrumenté du SIRT

A. Campoy, A. Ducharne, F. Hourdin, F. Chéruy, J.C. Dupont, M. Haeffelin

exposé

L'eau contenue dans les sols joue un rôle essentiel à l'interface atmosphère/surface. En effet les échanges hydriques entre ces deux milieux ont un impact, non seulement sur le bilan d'eau, mais aussi sur le bilan énergétique. La capacité du sol à satisfaire la demande en évaporation de l'atmosphère détermine grandement le rapport flux latent/sensible. Ainsi la répartition des précipitations dans le sol, notamment le stockage d'eau dans les premiers centimètres du sol, est un phénomène clé de la modélisation climatique.

Le modèle de surface ORCHIDEE, via le module d'hydrologie Choisnel (Ducoudré et al, 1993, J. Climate, 6:248-273) a tenté de prendre compte de cette répartition via une représentation conceptuelle du contenu en eau dans les sols sous forme de deux couches superposées. Mais cette approche a ses limites que plusieurs études ont mis en évidence. Le nouveau module d'hydrologie de surface, inspiré du modèle CWRR (De Rosnay et al, 2000, GRL, 27: 3329-3332), résout quand à lui les phénomènes d'infiltration et de diffusion d'eau dans les sols à l'aide de paramètres mesurables sur le terrain (entre autres, conductivité de l'eau dans un milieu poreux, humidité à saturation).

Ce modèle a été couplé au modèle LMDZ, incluant les derniers développements des paramétrisations physiques. La configuration zoomée guidée permet d'obtenir des simulations comparables aux mesures effectuées sur le site instrumenté du SIRT. On peut alors évaluer directement l'humidité du sol et les flux de surface simulés et analyser l'impact des caractéristiques structurales du sous-sol sur la météo locale. Les premières comparaisons indiquent que le nouveau modèle de surface assure une meilleure partition des flux latent et sensible et que cette dernière contrôle en grande partie le cycle saisonnier des variables météo au voisinage du sol.

**STRATÉGIES D'ÉVALUATION DES MODÈLES DE
PRÉVISION ET DE CLIMAT**

Modélisation Méso-NH semi-hémisphérique à résolution kilométrique : transition extra-tropicale de l'ouragan Hélène 2006

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

exposé

Lors de sa transition extra-tropicale en septembre 2006, l'ouragan Hélène a fortement interagi avec une onde de Rossby d'Atlantique Nord. Cette interaction a conduit à la fois à la réintensification de l'ouragan et au renforcement du rapide de jet associé à l'onde de Rossby. La perturbation résultante de l'onde a été mal décrite par les modèles météorologiques globaux, réduisant la prévisibilité en aval, en particulier celle d'une pseudo-tempête tropicale en Méditerranée.

La modélisation de cette transition extra-tropicale nécessite non seulement un domaine suffisamment étendu pour représenter l'extension spatiale de l'onde de Rossby, mais aussi une résolution suffisamment fine pour décrire la dynamique de l'ouragan Hélène. Une telle modélisation est réalisée pour la première fois avec le code Méso-NH, rendu massivement parallèle par des développements de son solveur de pression et de sa gestion des entrées/sorties. Cette simulation sur un domaine semi-hémisphérique et à résolution kilométrique utilise une grille 3072 x 1936 et 72 niveaux verticaux, soit près d'un demi-milliard de points. Elle est rendue possible par les ressources de calcul disponibles au CINES, où la simulation tourne sur 4096 coeurs de la machine JADE, à raison de près de 100 000 heures de calcul par jour de simulation.

Grâce à sa résolution kilométrique, la simulation Méso-NH représente explicitement la convection, et ainsi les interactions fortement diabatiques entre l'ouragan Hélène et l'onde de Rossby. Elle décrit finement la tour convective inclinée de l'ouragan, dont elle met en évidence un mouvement de précession au cours d'une première étape d'intensification. Cette précession présente une série de trois cycles diurnes en phase avec le creusement de l'ouragan, lui-même synchronisé avec le renforcement du rapide de jet en aval. Dans une seconde étape, l'arrivée d'un courant-jet en amont inhibe les mouvements convectifs de l'ouragan, qui perd son coeur chaud et se comble rapidement.

Par sa résolution kilométrique étendue à un domaine semi-hemisphérique, cette simulation Méso-NH présage d'une nouvelle ère pour la modélisation de phénomènes de méso-échelle et de leurs interactions d'échelle.

Sensibilité de la circulation côtière à la résolution spatio-temporelle du forçage atmosphérique

A. Schaeffer, A. Molcard, P. Fraunié, P. Garreau, Y. Seity (LSEET USTV-CNRS, Ifremer DYNECO et CNRM Météo-France)

exposé

Une étude numérique comparative de la réponse de la circulation côtière dans le Golfe du Lion par le modèle MARS3D au forçage atmosphérique issu de sorties des modèles ALADIN, AROME et MM5 est présentée. Les processus étudiés concernent les upwellings côtiers, l'extension du panache du Rhône, la génération et l'évolution de tourbillons et des ondes internes. Les résultats suggèrent que le forçage AROME à haute résolution est plus énergétique et souvent nécessaire à une bonne représentation des processus observés, notamment pour les upwellings littoraux et les ondes internes.

Diagnostic de la variabilité interne d'un ensemble de simulation du Modèle Régional Canadien du Climat

Oumarou NIKIEMA et René LAPRISE (Centre ESCER (Étude et Simulation du Climat
à l'Échelle Régionale), UQAM)

exposé

Les Modèles Régionaux du Climat (MRC) ont longtemps été considérés comme des outils performants, de haute résolution à aire limitée permettant une meilleure compréhension du climat passé, présent et futur. Le plus souvent, les MRC sont pilotés à leurs frontières latérales par des Modèles Globaux du Climat (MGC) de basse résolution, et qui couvrent le reste du globe terrestre. Ces modèles ont la particularité de reproduire différentes solutions de l'état de l'atmosphère à cause de leur sensibilité aux conditions initiales (CI) associée à la variabilité interne (VI) du modèle. Cette sensibilité est en grande partie causée par la nature non-linéaire de la physique et la dynamique atmosphériques. Notre attention est portée sur l'étude de la variabilité interne du Modèle Régional Canadien du Climat (MRCC) en utilisant un ensemble de simulations aux CI différentes. Cette étude consiste à effectuer un diagnostic quantitatif des termes dynamique et diabatique qui contribuent à la variation temporelle et la distribution spatiale de la VI. Nous proposons des équations bilans de la VI pour deux variables atmosphériques : la température potentielle et le tourbillon relatif. Les deux équations établies présentent des termes similaires, notamment les termes relatifs au transport de la VI par l'écoulement de la moyenne d'ensemble et la covariance des fluctuations agissant sur le gradient de la moyenne d'ensemble de la variable considérée.

À l'aide d'un ensemble de 20 simulations aux CI différentes, nous analysons les caractéristiques de la VI et la validité des équations établies en montrant la quasi-égalité entre les deux parties de chaque équation. Enfin, une étude de bilan permet d'évaluer la contribution des différents termes à l'évolution de la tendance de la VI. Les résultats révèlent que les termes dominants responsables de l'accroissement de la VI sont soit les termes de covariance impliquant les fluctuations de température potentielle et de chauffage diabatique, ou les termes de covariance de fluctuations inter-membres agissent sur le gradient de la moyenne d'ensemble de la variable considérée. Les résultats révèlent également que les épisodes de fortes diminutions de la VI se produisent lorsque les maxima de la VI sont proches de la frontière nord-est, indiquant leur transport en dehors de la zone d'étude par l'écoulement moyen. Enfin, nos résultats ont montré qu'en moyenne, les termes du troisième ordre sont négligeables, mais peuvent devenir importants lorsque la VI est importante.

Étude de la sensibilité des simulations du MRCC à la localisation du domaine, en terme de la variabilité interne et de l'habileté à reproduire le climat observé en Afrique de l'Ouest

Kossivi Yewougni TETE et René Laprise (Université du Québec À Montréal)

exposé

L'Afrique de l'Ouest (AO) est touchée ces dernières années par des aléas climatiques extrêmes: la sécheresse et les inondations. Des options d'adaptation ont été prises, mais s'avèrent insuffisantes pour la production agricole. Un des défis majeurs pour les populations, est de prévoir et s'adapter à ces phénomènes climatiques extrêmes. C'est dans cet ordre d'idée que notre étude a abordé la sensibilité du Modèle Régional Canadien du Climat (MRCC) à la localisation de domaine, d'une part, et sa fiabilité à reproduire le climat observé en AO, d'autre part.

La première partie de cette étude consiste à analyser la sensibilité du MRCC à la localisation du domaine. Dans ce but, un ensemble de quatre simulations couvrant l'AO a été réalisé avec le MRCC. Ces simulations se distinguent les unes des autres uniquement par la situation géographique ou la localisation du domaine d'intégration. La dispersion des simulations du MRCC est évaluée comme le degré d'écart entre ces simulations durant la période d'intégration. Les résultats préliminaires montrent que les zones convectives correspondent aux zones de maximum de variabilité interne et les conditions frontières latérales influencent peu les précipitations. En effet, les précipitations dépendent fortement des forçages locaux.

La deuxième partie consiste à évaluer la fiabilité du MRCC à simuler le climat observé en AO. Afin de répondre à cet objectif, les sorties du MRCC sont comparées aux observations disponibles. Les résultats préliminaires montrent que le MRCC délimite adéquatement le domaine de la mousson. Par contre, quelques insuffisances en ce qui concerne l'intensité du flux de la mousson sont notées.

Spatio-temporal modeling of Western African monsoon

H.Gallee(LGGE),C. Prieur(LJK/MOISE), Anestis(LJK/SMS), C. Helbert (LJK/MOISE),
L. Viry (UJF/MOISE), E Caron((LIP/GRAAL)

exposé

We are interested in the large-scale environmental phenomenon of West African monsoon. It is the major atmospheric phenomenon, which drives the rainfall regime in Western Africa. The causes of spatio-temporal variability in monsoon rainfall have not yet been determined in an unequivocal manner. However, there is a considerable body of evidence suggesting that spatio-temporal changes in sea surface temperatures in the Gulf of Guinea and changes in the Saharan and sub-Saharan albedo are major factors.

The aim of the study is to analyse the sensitivity of the rainfall simulated by a regional atmospheric model(MAR) to the variability of these inputs parameters. Precipitation from MAR is compared with several precipitation data sets and the MAR reasonably simulates the Westy African monsoon. This model is expensive in computing time, the sensitivity analysis cannot be realized by running the MAR, as we work on discretization grids in space and time, that is with huge dimensions. Hence an important preliminary step is the construction of a stochastic spatio-temporal metamodel approximating the MAR. The main properties required for this metamodel is the ability to be ran in a reasonable time and the consideration of the spatio-temporal dynamic of the underlying physical phenomenon. In this study we neglect the effect of albedo and focus our effort on regressing the rainfall on the sea surface temperature (SST).

An important point in this study is that the numerical storage and processing of model outputs, as far as the statistical description of the data, requires considerable computation resources. A grid environment can provide the required resources. Nevertheless, one main difficulty of the grid platform is the resource provisioning. How to find the best resource at a given time and the best amount of theses resources? The answer should come from the middleware designed with an efficient scheduler. Moreover the middleware can give a transparent access to a distributed and heterogeneous platform as a Grid. We used DIET,we will see how it schedule a huge number of computation requests according to the data management.

II. B. AMÉLIORATION DES SCHÉMAS EXISTANTS ET DÉVELOPPEMENTS DE NOUVEAUX SCHÉMAS

COUCHES LIMITES STABLES

Désagrégation du Bilan de Masse et du Bilan d'Énergie en Surface de la calotte polaire Antarctique, application pour le 21ème siècle

Agosta C (1,2) Favier V (1) Gallée H (1) Genthon C (1) Krinner G (1) (1) Laboratoire de Glaciologie et de Géophysique de l'Environnement (2) Université de Grenoble

exposé

La majorité des Modèles de Circulation Générale de l'Atmosphère (AGCM) prévoient augmentation des précipitations neigeuses sur la calotte polaire Antarctique au cours du 21ème siècle qui conduirait à une augmentation de son Bilan de Masse de Surface (BMS) et donc à une modération de l'élévation du niveau des mers. La bordure côtière Antarctique est la région la plus susceptible de subir des modifications de BMS car elle recueille une part importante des précipitations du continent. Des processus complexes de précipitation, sublimation, fonte et redistribution de la neige par le vent se produisent également dans cette région. Afin de reproduire les effets de la topographie fine sur les variables atmosphériques, une modélisation à haute résolution est nécessaire (5 à 10 km). Cependant, les temps de calculs actuels mettent une telle résolution hors de portée des AGCM à l'échelle de l'Antarctique.

Nous présentons ici une méthode de désagrégation physique permettant d'évaluer le BMS Antarctique à 10 km de résolution sur le 21ème siècle à partir de sorties d'AGCM. Les précipitations orographiques induites par la topographie fine sont calculées à partir d'une paramétrisation 1D de l'atmosphère tandis que la sublimation et la fonte sont obtenues par modélisation de la couche limite. Nous exposerons les résultats de la désagrégation du BMS Antarctique à partir de l'AGCM LMDZ4 en les confrontant à des données de terrain et nous discuterons des conséquences de la désagrégation sur l'évaluation du bilan de masse Antarctique présent et futur.

Simulation LES de la couche limite atmosphérique stable le long d'un relief alpin. Mise en évidence d'instabilités de Görtler favorisant le mélange près du sol

Christophe Brun, Sébastien Blein, LEGI, Grenoble Université

exposé

La modélisation de la turbulence est un élément essentiel de la prédiction de la qualité l'air en vallée alpine, en particulier en situation stablement stratifiée. Des simulations LES à haute résolution sont effectuées avec le code de calcul Meso-NH. On s'intéresse dans un premier temps à la modélisation d'un scénario de couche limite atmosphérique stable se développant le long des pentes d'un relief alpin dans la région de Grenoble. Des simulations à 9 millions de points sur 128 processeurs d'un ordinateur IBM SP6 (IDRIS) permettent une description fine des processus de formation d'écoulements catabatiques le long du relief. Des structures turbulentes aux fortes propriétés de mélange y sont identifiées. Dans un deuxième temps des simulations LES à 5 millions de points et à haute résolution verticale sont effectuées sur un modèle de pente courbe dans des conditions de stabilité similaires. On s'efforce ici de caractériser en détail l'intensité des écoulements catabatiques et la topologie des tourbillons de Görtler qui se développent dans la couche cisailée. On montre comment ces instabilités participent au mélange turbulent local dans la couche limite proche de la surface.

Une étude de l'entropie humide en météorologie

Pascal MARQUET. Météo-France. DPrévi-LABO

exposé

Alors que les concepts d'énergie et d'enthalpie (premier principe de la thermodynamique) sont d'un usage courant en Météorologie, l'entropie (second et troisième principes) n'est que rarement étudiée pour elle-même dans les sciences de l'atmosphère, si ce n'est sous la forme du concept associé de température potentielle de l'air sec (sans vapeur d'eau ni condensats liquide ou solide), ou pour la recherche de températures potentielles de l'air humide (équations de Gibbs plus ou moins approchées, avec prise en compte d'une ou plusieurs des phases de l'eau). Tant pour ce qui concerne l'étude du comportement climatique global de l'atmosphère (qui est à la fois un état d'équilibre énergétique et de production continue d'entropie) que pour l'étude des processus plus locaux du type « adiabatique réversible humide » (turbulence, strato-cumulus), il est important de pouvoir calculer aussi précisément que possible le bilan de l'entropie de l'air humide, en l'exprimant si possible en fonction du logarithme d'une température potentielle, à une constante additive près et avec la capacité calorifique en facteur du logarithme.

Dans ce cadre, il a semblé utile d'analyser dans quelle mesure les différentes températures potentielles de l'air humide déjà existantes peuvent représenter l'intégralité des variations de l'entropie de l'air humide. Il est généralement admis que les variables de Betts (1977) sont conservées par les mouvements adiabatiques humides non-précipitants, y-compris en présence de changements de phases. Pourtant, les propriétés de conservation des variables de Betts ne sont obtenues qu'après plusieurs approximations qui font que l'équation de Gibbs qui est à l'origine de l'étude de Betts ne correspond plus, dans sa version approchée, au calcul de l'entropie de l'air humide.

Une étude théorique récente a montré qu'une nouvelle formulation analytique de l'entropie humide peut être obtenue, avec une nouvelle température potentielle humide associée qui est un peu différente de celles obtenues par Betts (1977), Hauf et Höller (1987), Marquet (1993) ou Emanuel (1994) et qui s'exprime au premier ordre comme une combinaison simple des deux variables de Betts. Les propriétés physiques de cette nouvelle formulation sont analysées à partir des mesures faites in situ dans des Strato-cumulus par des vols avions pendant la campagne FIRE-I. Les propriétés de conservativité sont mieux vérifiées pour cette nouvelle température potentielle humide et il n'y a pas de saut à l'inversion pour l'entropie humide lorsqu'elle est exprimée de cette manière.

On montrera au cours de l'exposé des diagrammes 3D qui permettent d'expliquer logiquement pourquoi le saut à l'inversion disparaît pour l'entropie humide, alors que les sauts à l'inversion sont effectivement très importants pour les variables de Betts.

On expliquera que, si la température potentielle de Betts est largement utilisée dans les études de la turbulence pour exprimer les flux verticaux et le terme de production thermique dans l'équation de l'énergie cinétique turbulente, la prise en compte de la nouvelle température potentielle (qui correspond à l'entropie humide) pourrait être imaginée à travers l'utilisation d'une variable additionnelle, formant un réseau d'isolignes orthogonales à celles représentant l'entropie humide.

Des pistes seront présentées pour savoir dans quelle mesure cette nouvelle température potentielle humide pourrait être utilisée pour mieux comprendre la convection au sens large : aérologie, petits cumulus, convection plus intense, CAPE, CIN, etc.

Paramétrisation de l'entraînement et du détrainement dans le modèle du thermique

Jam, Hourdin, Rio, Couvreur/LMD,CNRM

exposé

Quelle paramétrisation de l'entraînement et du détrainement choisir dans le modèle du thermique LMDZ1D afin de rendre compte au mieux des processus de shallow convection ? Couplage avec un modèle bimodal de nuage et comparaison avec les sorties 3D des LES.

L'exposé s'appuiera sur deux cas de cumulus (Eurocs_Cu et Bomex), 1 cas de stratocumulus (FIRE) et 1 cas de transition (Cas d'Irina Sandu).

Amélioration de la paramétrisation de la convection peu profonde dans les modèles hydrostatiques ARPEGE et ALADIN

Yves Bouteloup (CNRM/GMAP)

exposé

Dans les modèles opérationnels hydrostatiques de Météo-France ARPEGE et ALADIN la convection peu profonde est paramétrée par un schéma en flux de masse issu des travaux de Bechtold et al (2001). Dans le modèle opérationnel non-hydrostatique AROME ce schéma a été avantageusement remplacé par le schéma dit "EDKF" issu des travaux de Pergaut et al (2009). Ce schéma également en flux de masse a la particularité de simuler les thermiques sec et d'avoir une définition de l'entraînement et du déentraînement proportionnels au rapport de la flottabilité à la vitesse verticale convective.

Dans cet exposé une description de la paramétrisation sera faite puis les premiers résultats de l'utilisation de ce schéma au sein de la physique d'ARPEGE/ALADIN seront présentés. On s'intéressera dans un premier temps à des simulations 1D académiques classiques pour lesquels il est possible d'analyser finement le comportement de la paramétrisation. Enfin les premiers résultats en 3D seront présentés. Une dernière partie exposera les perspectives d'utilisation de ce schéma en opérationnel dans les modèles hydrostatiques.

Un cas d'étude de la transition couche limite-convection peu profonde-convection profonde en zone semi-aride

F. Couvreur, C. Rio, F. Guichard, A. Gounou, M. Lothon, D. Bouniol

exposé

Le cas du 10 Juillet 2006, à Niamey correspond à un cas de convection locale qui a été très bien observé par de nombreux instruments déployés dans le cadre de la campagne AMMA (lidar, radar, ceilomètre, sondages, stations météorologiques, vols avions ...) et notamment dans le champ de visée du radar du MIT. Ces nombreux instruments ont très bien documenté l'évolution de la couche limite au cours de cette journée. L'analyse de ces observations indique que ce jour se caractérise par des conditions typiques d'un environnement semi-aride :

- un flux de chaleur latente faible,
- un faible gradient de température potentielle dans la moyenne troposphère
- une couche limite développée avec une base des nuages dépassant 2 km,
- un niveau de convection libre croissant au cours de la journée et une CAPE décroissante

Ces conditions contrastent avec celles classiquement observées pour des cas de convection diurne continentale où la convection est associée à une croissance de la CAPE. L'approche retenue consiste à coupler analyse d'observations et simulations (1D et haute-résolution). Nous présenterons la simulation LES qui a été validée par la comparaison aux nombreuses observations. Ce cas permet d'étudier les mécanismes de couche limite, qui permettent dans un tel environnement semi-aride, de conduire au développement d'une couche limite nuageuse et à l'initiation locale de convection profonde et donc notamment de se focaliser sur la transition convection peu profonde vers la convection profonde. D'autre part, elle permet d'analyser les caractéristiques des courants de densité (également observés).

CONVECTION PROFONDE

Une nouvelle paramétrisation du couplage entre convection peu profonde et convection profonde

Nicolas Rochetin & Jean-Yves Grandpeix (LMD Jussieu, Paris)

exposé

Il est aujourd'hui largement reconnu que la paramétrisation de la convection profonde demeure une grande source de biais systématiques dans les modèles de climat; en particulier le comportement des GCMs apparait fortement tributaire des variables de fermeture de la convection profonde.

Le modèle de convection profonde du LMD (Emanuel 1991) a été modifié au cours de ces dernières années (Grandpeix 2010) de telle sorte que l'intensité convective soit pilotée par la puissance de soulèvement (ALP = Available Lifting Power) résultante de tous les processus sous-nuageux: c'est à dire les courants de densité et les thermiques de couche-limite dans notre modèle. La ALP conditionne directement le flux de masse disponible à la base du nuage convectif moyen dans la maille, et influe par là fortement sur le taux de chauffage et d'assèchement convectif.

Dans cet exposé, nous nous intéresserons d'abord au calcul de la ALP due aux thermiques de couche-limite, en particulier comment l'inclusion de fluctuations de taille de panache et d'énergie cinétique intra-panache modifie le couplage shallow/deep convection.

Dans un deuxième temps, nous analyserons la validité de cette nouvelle approche statistique à travers un cas 1D océanique ; le cas TOGA.

Enfin nous discuterons de la valeur ajoutée apportée par cette paramétrisation au modèle de climat à travers des simulations 3D.

Nouveau schéma de convection dans ARPEGE-Climat ; validation multi-environnement : 1D, 3D domaine limité et climat, et prévision saisonnière

Jean-François Guérémy CNRM/GMGEC

exposé

Ce 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-détraiement, 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) et au schéma de précipitations stratiformes pronostiques (Lopez 2002). Cette physique sera comparée aux physiques standards d'ARPEGE-Climat et d'ARPEGE-PN, autant que faire se peut.

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.

Des simulations réalisées avec ALADIN-Climat sur un cas d'HAPEX-Sahel et un cas d'AMMA nous donneront l'occasion d'illustrer le comportement de la physique en comparaison avec des observations et simulations explicites (Mésos-NH), dans un cadre intermédiaire entre le 1D et le 3D climat.

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.

PCMT: un schéma de convection pour la prévision opérationnelle et climatique

Jean-Marcel Piriou Météo-France CNRM

exposé

Présentation du développement d'un nouveau schéma convectif, PCMT (pour Prognostic Condensates Microphysics and Transport), mettant l'accent sur une représentation plus détaillée de l'interaction convection – humidité : sensibilité de l'évaporation des précipitations convectives aux airs secs et au cisaillement de vent, entraînement convectif dépendant de la vitesse verticale convective, microphysique détaillée des condensats convectifs pronostiques, etc.

Paramétrisation des courants de densité et résolution horizontale

Jean-Yves Grandpeix, LMD/IPSL

exposé

La paramétrisation des courants de densité du LMD et du CNRM (Grandpeix et Lafore 2010, JAS 67) représente les évolutions couplées d'un champ de poches froides réparties de façon statistiquement homogène dans l'espace et du champ de cumulonimbus associé. Dans la version mise en oeuvre dans le GCM LMDZ5, on fait l'hypothèse qu'il y a un grand nombre de poches froides dans chaque maille, de sorte que l'effet des poches et des cumulonimbus dans la maille est identique à leur effet moyen. Mais cette hypothèse n'est plus vraie lorsque l'on considère une ligne de grain mature ou lorsque la résolution spatiale du GCM devient très fine : dans ces deux cas, le nombre moyen de poches froides par maille peut devenir inférieur à un. C'est pourquoi, dans la simulation d'une ligne de grain africaine dans Grandpeix et al. (2010, JAS 67), le couplage entre champ de poches et convection profonde avait été modifié pour prendre en compte grossièrement le fait que l'on savait que le front de rafales était dans la maille considérée (au lieu de la valeur moyenne de l'intensité convective, on considérait la valeur moyenne conditionnée par la présence d'un front de rafales dans la maille).

Nous proposons de généraliser, en l'affinant, cette technique de prise en compte de la présence du front de rafales dans une maille. En l'absence de traitement de la propagation de la convection, cela consiste à dire qu'il y a toujours un front de rafales dans une maille où la convection profonde est présente.

Nous exposerons d'abord comment cela modifie le couplage entre courants de densité et convection profonde. Puis nous analyserons les conséquences de ce nouveau couplage sur la dépendance de la convection à la résolution spatiale, aussi bien dans des simulations 1D que 3D globales.

Évaluation des paramétrisations physiques impliquées dans la simulation de l'humidité troposphérique tropicale et subtropicale en utilisant des mesures de composition isotopique de l'eau

Camille Risi (CIRES, Université du Colorado, USA, et D. Noone, J. Worden, C. Frankenberg, G. Stiller, M. Kiefer, B. Funke, K. Walker, P. Bernath, M. Schneider, D. Wunch, V. Sherlock, N. Deutscher, D.

exposé

L'humidité troposphérique tropicale et subtropicale (RH) joue un rôle important dans la formation des nuages, la régulation de la convection atmosphérique et la rétroaction de la vapeur d'eau. Une mauvaise représentation des processus physiques et microphysiques nuageux, représentés par des paramétrisations physiques, et de la diffusivité verticale, peuvent conduire à des erreurs significatives dans la simulation de la RH par les modèles de circulation générale (GCM). Le but de cette étude est de mettre au point des diagnostics observationnels pour détecter et comprendre les biais dans la représentation de ces processus. Nous utilisons pour cela la composition isotopique de la vapeur d'eau troposphérique mesurée in-situ, par satellite et par télédétection au sol, à laquelle nous comparons différentes versions du GCM LMDZ équipé des isotopes de l'eau. Nous montrons que l'évaluation combinée de la RH et de la composition isotopique permet de discriminer la cause la plus probable d'un biais de RH dans les GCMs. Par exemple, une diffusivité verticale excessive, un déentraînement de condensat convectif excessif ou une condensation insuffisante dans les nuages in-situ conduisent tous à un biais humide dans le troposphère libre. Mais seule une diffusivité verticale trop diffuse conduit à une saisonnalité isotopique inversée dans la troposphère libre. L'inter-comparaison de 7 GCMs équipés des isotopes de l'eau suggère que le biais humide simulé par la plupart des GCMs résulte d'une diffusivité verticale excessive. Cette étude montre la valeur ajoutée de mesures de la composition isotopique de l'eau pour l'interprétation en terme de processus physiques des biais dans la simulation de la RH par les GCMs.

Un nouveau schéma de chimie des nuages pour le modèle MesoNH

Maud Leriche, Jean-Pierre Pinty, Céline Mari, Didier Gazen

exposé

Un module de chimie des nuages a été développé pour le modèle tridimensionnel MesoNH qui est un modèle méso-échelle résolvant la microphysique des nuages. Ce module inclut des réactions chimiques en phase gazeuse et aqueuse qui sont analysées par un pré-processeur générant automatiquement le code fortran90. Le solveur chimique utilise une méthode de Rosenbrock qui est robuste et précise pour intégrer des systèmes raides, en particulier de chimie multiphase. Les échanges des espèces chimiques entre la phase gazeuse et, respectivement, les gouttelettes de nuage et les gouttes de pluie, sont traités par la cinétique de transfert de masse qui permet de prendre en compte le non équilibre entre la phase gazeuse et l'eau liquide. Les transferts de masse par les processus de microphysique du nuage sont considérés pour les différents schémas de microphysique de nuage existant dans MesoNH. Le pH des gouttelettes nuageuses et des gouttes de pluie est diagnostiqué séparément et est la racine d'une équation polynomiale d'ordre élevé. Les concentrations chimiques dans la phase glace du nuage sont modélisées comme des concentrations globales dans la glace tenant compte des différentes catégories d'hydrométéores précipitants (neige, grésil et grêle). Ce module est appliqué à trois cas d'étude : un cas bidimensionnel de convection peu profonde chaude, un cas bidimensionnel d'une ligne de grain en phase mixte, et un cas tridimensionnel de super cellules convectives en phase mixte. Des tests de sensibilité sont effectués sur le choix du schéma microphysique, sur le processus de rétention dans la glace des espèces chimiques pour les nuages en phase mixte, sur l'initialisation des concentrations chimiques et sur la prise en compte d'un pH variable ou fixe.

Représentation du transport et du lessivage d'espèces trace dans la convection profonde

Romain Pilon, Jean-Yves Grandpeix, Philippe Heinrich

poster

Les nuages convectifs profonds jouent un rôle majeur dans le transport d'air et dans le mélange verticale des particules. Ces nuages peuvent rapidement transporter les particules de la basse troposphère jusqu'à son sommet. D'un autre côté, les courants descendants transportent les particules vers le bas. Les particules sont aussi éliminées de l'atmosphère via les processus de déposition gravitaire et de lessivage. Le Département d'Analyse et de Surveillance de l'Environnement du CEA a, dans le cadre du Traité d'Interdiction Complète des Essais Nucléaires, accès au réseau mondial de stations enregistrant quotidiennement les concentrations de radionucléides. De part leurs sources bien connues et opposées, le ^7Be , produit dans la haute troposphère et la basse stratosphère, et le ^{210}Pb , produit dans le sol, sont très utiles pour tester le transport et le lessivage convectif dans un modèle atmosphérique globale.

Nous présenterons le modèle de lessivage des traceurs dans la paramétrisation de convection profonde d'Emanuel introduite dans le modèle de circulation générale atmosphérique LMDz. Puis, nous utilisons un modèle uni-colonne (SCM) pour mettre au point le modèle avant de l'implémenter dans la version trois dimensions de LMDz.

Descentes précipitantes dans les systèmes convectifs observés pendant TWP-ICE: des modèles explicites de nuages à la paramétrisation

Rio C. (1), Mrowiec A. (2), Fridlind A. (2), Del Genio A. (2)

(1) Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD/IPSL), Paris, France (2) Goddard Institute for Space Studies (NASA/GISS), New-York, USA

exposé

La plupart des connaissances sur la circulation à l'intérieur des systèmes convectifs méso-échelle (MCS) remontent aux années 70-80 avec notamment l'analyse des données de l'expérience GATE. Les observations mettent en évidence le rôle essentiel de panaches ascendants successifs, transportant l'air des basses couches vers le sommet de la troposphère, accompagnés de descentes d'air associées aux précipitations à l'échelle convective. Elles révèlent aussi l'existence de circulations à méso-échelle, avec des mouvements ascendants dans la partie stratiforme des systèmes, les enclumes, et des descentes d'air associées à l'évaporation des précipitations pouvant couvrir plusieurs centaines de kilomètres.

Aujourd'hui encore, de nombreuses questions subsistent sur comment rendre compte de façon adéquate de l'effet des systèmes convectifs sur la circulation grande-échelle. La plupart des modèles de climat ne représentent pas explicitement les mouvements ascendants à l'intérieur des enclumes, et assimilent les descentes d'air à méso-échelle à une simple subsidence compensatoire dans l'environnement. Les panaches ascendants et descendants à l'échelle convective sont eux pris en compte par des schémas en flux de masse.

Dans cette étude, un ensemble de simulations résolvant explicitement les nuages (CRM), forcées à partir d'observations récoltées au cours de la mousson australienne en 2006 (TWP-ICE), est analysé afin d'extraire de ces modèles des variables difficilement mesurables permettant de comprendre les mécanismes à l'origine de la formation des descentes d'air, leur maintien et leur impact sur le cycle de vie des systèmes convectifs. Ces résultats sont ensuite utilisés plus en avant pour évaluer la représentation de ces descentes dans le modèle du GISS (modelE), et guider de nouveaux développements pour l'amélioration des paramétrisations de la convection.