

Lundi 17 décembre

10h00 *Accueil - café*

10h45 Introduction

11h00 - 12h30 Session 1		
<i>11h00 - 11h30</i>	D. AUROUX, J. BLUM, M. NODET	Une version Diffusive du Nudging Direct et Rétrograde pour l'assimilation de données
<i>11h30 - 12h00</i>	G. RUGGIERO	Data Assimilation Experiments using the Back and Forth Nudging and NEMO OGCM
<i>12h00 - 12h30</i>	O. PANNEKOUCKE, E. EMILI, L. RAYNAUD, A. PIACENTINI	Une réduction de modèle pour la dynamique des longueurs de portée et ses conséquences

12h30 - 14h00 *Déjeuner*

14h00 - 15h45 Session 2		
<i>14h00 - 14h45</i>	S. RICCI (invitée)	Assimilation de données en hydraulique : Vers la prévision des crues en temps réel et la correction des paramètres des modèles
<i>14h45 - 15h15</i>	A.-C. BOULANGER, B. PERTHAME, J. SAINTE-MARIE	Assimilation de données pour des systèmes hyperboliques de lois de conservation admettant une description cinétique
<i>15h15 - 15h45</i>	B. BONAN, M. NODET, C. RITZ	Filtre de Kalman d'ensemble pour l'initialisation de calottes polaires

15h45 - 16h45 Session Posters (et café)

16h45 - 17h45 Session 3		
<i>16h45 - 17h15</i>	M. BERRADA, J. BRAJARD, F. BADRAN, M. CRÉPON, S. THIRIA	Expériences d'assimilation avec NEMO généré par le logiciel YAO
<i>17h15 - 17h45</i>	E. KAZANTSEV	Contrôle variationnel des conditions aux limites dans ORCA-2

Mardi 18 décembre

9h00 - 10h30		Session 4
9h00 - 9h30	M. JARDAK, O. TALAGRAND, W. SILINI	Assimilation d'Ensemble et Bayésianité
9h30 - 10h00	A. FOURNIER	Mise en oeuvre de filtres de Kalman pour la dynamo terrestre
10h - 10h30	T. MONTMERLE	Représentation des erreurs de prévision dans les nuages et les précipitations et application à l'assimilation de données radar et de radiances nuageuses satellites

10h30 - 11h00 *Pause café*

11h00 - 12h30		Session 5
11h00 - 11h45	P. NAVEAU (invité)	Statistiques des valeurs extremes
11h45 - 12h30	O. LE MAITRE (invité)	Quantification d'incertitudes et polynômes de chaos

12h30 - 14h00 *Déjeuner*

14h00 - 15h15		Session 6
14h00 - 14h45	M. DE LARA (invité)	Control Theory and Viability Methods for Sustainable Management of Natural Resources
14h45 - 15h15	S. MANGIAROTTI, L. DRAPEAU, L. JARLAN	Prévisibilité et analyse de la dynamique du blé pluvial en zone semi-aride par approche globale et assimilation de données

15h15 - 16h15 **Session Posters (et café)**

16h15 - 17h15		Session 7
16h15 - 16h45	G. DESROZIERS, L. BERRE	Accélération et parallélisation des minimisations en assimilation variationnelle d'ensemble et déterministe
16h45 - 17h15	Y. MICHEL	Modélisation des corrélations d'erreurs par déformations spatiales

Mercredi 19 décembre

9h00 - 10h45		Session 8
9h00 - 9h45	P. ROUCHON (invité)	Observateurs et assimilation de données
9h45 - 10h15	O. CAUMONT	Assimilation de nouveaux types de données télédéteectées dans Arome (projet Antydote)
10h15 - 10h45	B. MENETRIER, T. MONTMERLE, L. BERRE, Y. MICHEL	Utilisation de variances d'erreur d'ébauche dépendantes de la situation météorologique pour l'assimilation de données à méso-échelle

10h45 - 11h15 *Pause café*

11h15 - 12h45		Session 9
11h15 - 11h45	M.C. ROCHOUX, J.M. BART, B. CUERNOT, S. RICCI, A. TROUVÉ	Towards Data-Driven Simulations of Wildfire Spread using Ensemble-based Data Assimilation
11h45 - 12h15	Y. WANG, K.N. SARTELET, M. BOCQUET, P. CHAZETTE	Assimilation of surface versus lidar observations for PM10 forecasting
12h15 - 12h45	Y. ROUSTAN, V. WINIAREK, N. DUHANYAN, M. BOCQUET, N. TALERKO	Modélisation inverse du terme source de l'accident de Tchernobyl à l'aide des mesures de flux de dépôt de radionucléides

12h45 - 14h00 *Déjeuner et fin du colloque*

PRESENTATIONS ORALES

D. AUROUX, J. BLUM, M. NODET (auroux@unice.fr)

Une version Diffusive du Nudging Direct et Rétrograde pour l'assimilation de données

L'algorithme du nudging direct et rétrograde (ou BFN, Back and Forth Nudging) a été introduit pour permettre la prise en compte d'observations futures, en alternant des intégrations directes et rétrogrades du modèle avec un terme de nudging. La résolution rétrograde peut s'avérer impossible en présence de diffusion. En géophysique, les équations considérées sont généralement non diffusives, mais un terme de diffusion est ajouté pour stabiliser la résolution numérique et paramétriser les phénomènes sous-maille. Dans ce cadre-là, nous proposons la version Diffusive du Nudging Direct et Rétrograde, dans laquelle le signe du terme de diffusion est changé dans l'intégration rétrograde, afin de conserver son rôle numérique et physique. Par rapport au BFN classique, les équations directes sont les mêmes, mais dans les équations rétrogrades, le signe du terme de diffusion est inversé, comme celui du terme de nudging. L'intérêt de cet algorithme est de conserver le rôle du terme de diffusion (stabilité et modélisation physique) lors de l'intégration rétrograde. Dans le cas d'une équation de transport linéaire, pour des raisons de stabilité numérique, il peut s'avérer intéressant de rajouter un terme de diffusion avec un petit coefficient. Il est alors possible de calculer la variation de l'énergie du système au cours des itérations, et de prouver la convergence de l'algorithme D-BFN. Pour un transport constant, on peut même calculer explicitement la limite de la trajectoire construite par l'algorithme D-BFN, et la trajectoire limite est le résultat d'un lissage opéré par le Laplacien sur les observations. Des résultats numériques ont prouvé l'intérêt de cet algorithme par rapport au BFN sur des modèles simples (équations de transport, Burgers) mais aussi sur le modèle NEMO.

G. RUGGIERO (giovanni.ruggiero@unice.fr)

Data Assimilation Experiments using the Back and Forth Nudging and NEMO OGCM

We present Data Assimilation experiments under the OSSE framework using NEMO ocean model and the Back and Forth Nudging (BFN). This algorithm consists of iterating the model forward and backward in time, in a given time window, adding to the model equations a forcing term proportional to the difference between the model state and the observations. The backward integration allows us to estimate an initial condition that produces a trajectory close to the observations at the end of the DA window. This is an important aspect to produce good quality forecasts. In our experiments two sets of observations are used: 1) sea surface height at all grid points and available every day and 2) sea surface height taken at the satellite (Jason-1) track. We compare the BFN results with results obtained using the NEMOVAR system (4D-Var). Also we tested a "hybrid" method which combines the iterative character of the BFN with a correction step similar to that one used in Kalman Filters (KF). In this case, the resulting algorithm can be seen as a Kalman Smoother (KS), as long as we use future observations to estimate the initial condition of the system. Our results show that in the case of experiments using sea surface height observations at all grid points, the BFN converges after 10 iterations and performs better than the 4D-var, when we considered the same computational power for both methods. When we allowed the 4D-var to do a hundred iterations it performed better in the sense of the mean squared error, but with a cost about one hundred times the BFN cost. However, under a more realistic observation network, the performance of the BFN was not as good as the 4D-var. In this case, the hybrid BFN-KF produced results that are comparable with the 4D-var and a KS.

O. PANNEKOUCKE, E. EMILI, L. RAYNAUD, A. PIACENTINI (olivier.pannekoucke@meteo.fr)

Une réduction de modèle pour la dynamique des longueurs de portée et ses conséquences

La dynamique des covariances nécessite de résoudre l'équation de propagation du filtre de Kalman, ce qui est hors de portée. Or dans le cas d'une advection par une vitesse non constante, comme par exemple l'évolution d'un traceur passif dans l'atmosphère, il est possible de simplifier la description de la dynamique des portées en s'appuyant sur l'hypothèse d'homogénéité locale. Ainsi, nous déduisons de manière analytique cette dynamique, puis démontrons numériquement qu'elle se vérifie bien à l'aide d'une méthode d'ensemble de très grande taille. Les conséquences sont que cette approche permet de trouver une contrainte entre la dynamique et les portées, ce qui conduit à résoudre un problème ouvert: celui de l'estimation directe d'une déformation isotropisante à partir des portées 2D. Nous présenterons ces résultats dans un cadre académique 2D. Les conséquences en assimilation de données de ces résultats sont très larges, en particulier elles permettront de mieux décrire l'évolution dépendante de l'écoulement pour la matrice B. L'application de cette méthode à l'assimilation des données satellitaires dans un modèle d'ozone stratosphérique sera considérée.

S. RICCI (invitée)

Assimilation de données en hydraulique : Vers la prévision des crues en temps réel et la correction des paramètres des modèles

A.-C. BOULANGER, B. Perthame et J. Sainte-Marie (anne-celine.boulanger@inria.fr)

Assimilation de données pour des systèmes hyperboliques de lois de conservation admettant une description cinétique.

Nous nous intéressons à l'assimilation de données pour des systèmes hyperboliques de lois de conservation. Le développement de techniques d'assimilation robustes pour ces EDP sans dissipation est particulièrement délicat. Le back and forth nudging (BFN) proposé par D.Auroux et J.Blum dans [1] a été appliqué à de tels systèmes [2] moyennant un terme de diffusion supplémentaire. Nous proposons ici une nouvelle approche utilisant la description cinétique de certaines lois de conservation [3]. La description cinétique consiste à associer au système macroscopique, une équation de type Boltzmann dont les moments correspondent au système de départ. L'analyse mathématique et numérique menée au niveau microscopique permet alors d'obtenir de puissants résultats utilisés à l'échelle macroscopique. Le nudging consiste à ajouter aux équations d'état un terme de rappel proportionnel entre les observations et la quantité correspondante. Transposé au niveau cinétique, l'assimilation de données ainsi effectuée nous ramène à un cadre proche des problèmes de type BGK [4]. L'avantage d'une telle écriture est que nous n'avons à traiter qu'une seule équation au lieu d'un système, cette équation étant de plus essentiellement linéaire. Notre étude se divise en plusieurs étapes. Dans un premier temps, nous démontrons -- dans le cadre théorique d'observations complètes en temps et en espace -- la convergence du modèle vers le système cible avec des vitesses dépendants directement de la régularité des données. Dans un deuxième temps et dans le cadre d'observations partielles, nous prouvons la stabilité au bruit de la méthode. Finalement, nous procédons à la validation numérique sur le système de Saint-Venant (EDP hyperbolique non linéaire avec terme source). Le schéma numérique utilisé pour la résolution de ces équations est un schéma cinétique qui permet de traiter de manière naturelle aussi bien le décentrement lié au transport des quantités que le terme source lié à l'assimilation. Références [1] D.Auroux and J.Blum, Back and forth nudging algorithm for data assimilation problem, C.R.Acad.Sci Paris, 2005. [2] D. Auroux. The back and forth nudging algorithm applied to a shallow water model, comparison and hybridization with the 4D-VAR. Int. J. Numer. Methods Fluids, 61(8):911–929, 2009. [3] B. Perthame, Kinetic formulation of conservation laws., Oxford University Press, 2002. [4] B. Perthame, Global existence to the BGK model of Boltzmann equation, Journal of differential equation, 1989.

Programme CNA 2012

B. BONAN, M. NODET, C. RITZ (bertrand.bonan@inria.fr)

Fitre de Kalman d'ensemble pour l'initialisation de calottes polaires

Les calottes polaires (Antarctique et Groenland), en perdant ou gagnant de la masse, jouent un rôle majeur dans l'évolution du niveau de la mer. Pour estimer leur contribution future pour les 100 prochaines années, il est nécessaire de disposer de modèles d'évolution performants et d'états initiaux les plus proches de ce qu'on observe. Ces modèles sont principalement contrôlés par les variables suivantes : coefficient de frottement basal, topographie du socle rocheux, épaisseur de glace, champ de température dans la glace. Cependant, nous ne disposons pas d'états initiaux sur toutes ces variables pour nos simulations. Néanmoins, nous possédons un certain nombre d'observations telles la hauteur de surface, les vitesses de surface ou la topographie du socle (pas partout). Utiliser l'assimilation de données pour construire nos états initiaux semble donc pertinent dans ce cadre. Nous avons mis en place un filtre de Kalman d'ensemble LETKF [Hunt et al., *Physica D*, 2007] afin de construire un état initial de calotte optimal grâce aux observations disponibles. Nous commençons par des expériences jumelles avec un modèle d'évolution 2D nommé Winnie (le long d'une ligne d'écoulement) comme premier pas vers l'assimilation de données avec un modèle 3D, GRISLI. Malgré sa simplicité, la physique contenue dans Winnie est fortement non linéaire et ce modèle est un bon prototype pour tester nos méthodes. Nous étudions aussi la qualité des variables retrouvées à l'aide de diagnostics a posteriori.

M. BERRADA, J. BRAJARD, F. BADRAN, M. CRÉPON, S. THIRIA (julien.brajard@locean-ipsl.upmc.fr)

Expériences d'assimilation avec NEMO généré par le logiciel YAO

Le logiciel YAO (<http://www.locean-ipsl.upmc.fr/~yao>) est utilisé pour l'assimilation des données dans les modèles par méthodes variationnelles. Grâce à une modélisation sous forme de graphe, YAO permet de générer à la fois le code du modèle direct et celui de l'adjoint et fournit aussi une boîte à outil type permettant de réaliser entièrement l'assimilation de données. Afin d'expérimenter et d'évaluer l'approche YAO pour réaliser des expériences de données, le modèle européen NEMO (<http://www.nemo-ocean.eu/>) a été représenté au formalisme YAO. Les performances entre les codes directs des versions YAO et Fortran ont été comparées. L'adjoint de NEMO a été validé, et une expérience jumelle d'assimilation de données a été menée. Les performances du code complet d'assimilation (direct + adjoint) ont été mesurées. L'effet de la présence des matrices de variance/covariance de l'ébauche a été évalué ainsi que l'influence du type et du nombre d'observations disponibles pour le système.

E. KAZANTSEV (kazan@imag.fr)

Contrôle variationnel des conditions aux limites dans ORCA-2.

L'assimilation de données d'observation 4D-Var est appliquée à la configuration ORCA-2 du NEMO afin d'identifier les conditions aux limites optimales sur les continents ainsi que sur la surface et sur le fond de l'océan. L'influence de conditions aux limites sur la solution du modèle a été comparée avec les influences des conditions initiales et des coefficients de diffusion verticale. Il a été montré que les conditions aux limites pour les opérateurs en coordonnée verticale influencent le plus la solution et permettent de renforcer et de raffiner les courants océaniques (Gulf Stream, Kuroshio) même avec la résolution horizontale de 2 degrés. Les modèles tangent et adjoint ont été obtenus par la dérivation automatique utilisant le logiciel Tapenade (projet Tropics, Inria). Il a été montré que le code généré par la dernière version de Tapenade est tout à fait utilisable après une optimisation de l'utilisation de mémoire.

M. JARDAK, O. TALAGRAND & W. SILINI (mjardak@lmd.ens.fr)

Assimilation d'Ensemble et Bayésianité

Dans une perspective bayésienne, le but de l'assimilation des observations est de définir la distribution de probabilité de l'état du système observé, conditionnée aux informations disponibles (observations, distribution a priori, modèle dynamique, ...). La question se pose dès lors de la possibilité de valider objectivement les algorithmes d'assimilation, et particulièrement les algorithmes ensemblistes, en tant qu'estimateurs bayésiens. Trois algorithmes ensemblistes sont étudiés de ce point de vue : l'assimilation variationnelle d'ensemble (AVE), le Filtre de Kalman d'Ensemble (EnKF) et le Filtre de Kalman d'Ensemble Transformé (ETKF). Des expériences jumelles sont effectuées sur les systèmes de Lorenz (1963 et 1996) et l'équation de Kuramoto-Sivashinsky. Sauf dans le cas linéaire et gaussien, où la distribution de probabilité recherchée est connue explicitement, le caractère bayésien des distributions obtenues ne peut pas être évalué objectivement; C'est la propriété plus faible de fiabilité (cohérence statistique entre les probabilités prévues et les fréquences observées) qui est utilisée. Les résultats sont évalués, non seulement par l'erreur dans la moyenne des distributions prévues, mais par les différents diagnostics utilisés de façon standard pour évaluer les systèmes de prévision d'ensemble (diagramme de fiabilité, score de Brier, aire de la courbe ROC, ...). L'AVE, même dans des cas fortement non-linéaires, où il est nécessaire de recourir à un processus d'assimilation où la longueur de la période d'assimilation est augmentée progressivement (QSVA), produit des résultats de très grande fiabilité, possédant des propriétés a priori propres au cas linéaire (le test du 'chi2' est vérifié). Le caractère gaussien ou non des erreurs ne semble pas avoir d'impact significatif. Les résultats sont comparés à ceux que produisent l'EnKF et l'ETKF.

A. FOURNIER (fournier@ipgp.fr)

Mise en oeuvre d'un filtre de Kalman d'ensemble pour la dynamo terrestre

Ce travail s'inscrit dans un projet soutenu à l'origine par LEFE_ASSIM (en 2007 et en 2010), avant un saut d'échelle soutenu par l'Agence Nationale de la Recherche (programme blanc 2011, <http://avsggeomag.ipgp.fr>). Il s'agit de développer des outils d'analyse des observations géomagnétiques en vue de réanalyser le catalogue d'observations existant et de mettre en place des outils opérationnels de prédiction de l'évolution du champ magnétique terrestre (appelée traditionnellement variation séculaire géomagnétique). Le champ magnétique est créé au sein du noyau terrestre par un effet dynamo : la convection de l'alliage de fer liquide crée des courants électriques qui entretiennent le champ magnétique et évite sa disparition par dissipation ohmique. Le modèle numérique de la dynamo que l'on utilise ici discrétise les équations de conservation de la masse, de la quantité de mouvement, de l'énergie et les équations de l'électromagnétisme (sous l'approximation MHD) dans une coquille sphérique (Dormy et coll., *EPL*, 1998 ; Aubert et coll., *GJI*, 2008). Le vecteur d'état du système est de dimension 10^5 - 10^6 . Les calculs sont parallèles, et reposent sur une stratégie hybride MPI-OpenMP. L'idée retenue pour l'assimilation d'observations est celle d'un lisseur d'ensemble, semblable à celui proposé par Cosme et coll. (*Ocean Mod.*, 2010), et dont les contours restent encore à préciser pour son application en géomagnétisme. Nous avons commencé développement d'une infrastructure d'assimilation basée sur le parallel data assimilation framework de Lars Nerger (Nerger & Hiller, *Comp. Geosc.*, 2012, doi:10.1016/j.cageo.2012.03.026, <http://pdaf.awi.de>), en débutant par le cas du filtre de Kalman d'ensemble. A l'occasion du colloque, nous détaillerons le squelette de l'infrastructure et illustrerons le fonctionnement du filtre à l'aide d'expériences jumelles.

Programme CNA 2012

T. MONTMERLE (thibaut.montmerle@meteo.fr)

Représentation des erreurs de prévision dans les nuages et les précipitations et application à l'assimilation de données radar et de radiances nuageuses satellites

Dans les systèmes de Prévision Numérique du Temps (PNT), l'assimilation des observations effectuées dans les nuages et les précipitations nécessite la caractérisation d'erreurs de prévision adéquates. Ces phénomènes sont en effet sous représentés dans les ensembles de prévisions qui sont utilisés pour calibrer les matrices B de covariances des erreurs de l'ébauche climatologiques utilisées opérationnellement à Météo-France. Pour palier à ce défaut, une assimilation d'ensemble basée sur le modèle à échelle convective AROME a tout d'abord été mise en place pour plusieurs situations précipitantes sur la France. Cette assimilation d'ensemble se base sur une perturbation explicite des observations, sur une perturbation implicite de l'ébauche via le cyclage, et sur l'utilisation de conditions aux limites issues de l'assimilation d'ensemble à échelle globale AEARP. Des matrices B ont ensuite été calculées à partir de statistiques effectuées sur des différences de prévisions issues de cet ensemble, auxquelles des masques géographiques déduits des pluies prévues ont été appliqués. Ces matrices sont constituées de covariances spatiales des erreurs de l'ébauche pour chacune des variables de contrôle du système et pour chaque type d'hydrométéores, ainsi que d'un opérateur permettant de représenter les relations d'équilibre entre les erreurs de ces différentes variables. Les résultats obtenus confirment que, dans les zones nuageuses et précipitantes, les observations sont exploitées de manière largement sous-optimale dans le système actuel. Deux applications de ces erreurs de prévisions seront montrées : (i) l'assimilation de données provenant de radar Doppler dans le 3Dvar AROME via l'utilisation d'un formalisme hétérogène permettant d'appliquer une matrice B diabatique spécifiquement dans les zones précipitantes, et (ii) l'assimilation de radiances nuageuses IASI dans un contexte 1Dvar. L'impact de corrélations spatiales et de relations de couplage plus adaptées sera montré sur la structure des incréments d'analyse et sur les prévisions produites à partir des analyses.

P. NAVEAU (invité)

Statistiques des valeurs extrêmes

O. LE MAITRE (invité)

Quantification d'incertitudes et polynômes de chaos

M. DE LARA (invité)

Control theory and viability methods for sustainable management of natural resources.

S. MANGIAROTTI, L. DRAPEAU & L. JARLAN (sylvain.mangiarotti@ird.fr)

Prévisibilité et analyse de la dynamique du blé pluvial en zone semi-aride par approche globale et assimilation de données

L'approche globale vise à modéliser la dynamique d'un système sans chercher à distinguer les éléments qui le composent, partant d'une série temporelle unique. Appliquée au cycle du blé pluvial en zone semi-aride, cette approche a permis, en se basant sur des mesures d'indice de la végétation issues de la télédétection spatiale, d'obtenir un modèle autonome de petite dimension. L'analyse de la structure de l'attracteur correspondant est caractéristique de dynamiques faiblement dissipatives et présente une structure de type chaos toroïdal dont il n'existe à ce jour que peu d'exemples théoriques et aucun cas issu d'observation réelles. Une validation robuste d'un modèle chaotique tridimensionnel peut se faire sur la base d'arguments topologiques. Toutefois, en contexte fortement perturbé, un tel niveau de validation est inaccessible. L'approche choisie ici consiste à montrer les capacités prévisionnelles du modèle. Les capacités prévisionnelles du modèle de blé pluvial ont pu être testées en utilisant plusieurs schémas d'assimilation de données (simple réinitialisation, Kalman étendu, Kalman d'ensemble et synchronisation directe et rétrograde). Les méthodes les plus sophistiquées ont montré une meilleure efficacité confirmant l'importante contribution des non linéarités. Ces résultats ont permis de montrer le potentiel de l'approche en mode prévisionnel et de contribuer à sa validation. Les modèles chaotiques ont souvent été utilisés pour banc d'essai pour tester les schémas d'assimilation de données. La présente application à un modèle directement issu d'observations montre que ces applications ne présentent pas seulement un intérêt théorique mais portent également en elles un potentiel applicatif assez direct. Ces résultats encouragent à approfondir les résultats en vérifiant qu'ils ne constituent pas un cas particulier et à investiguer ensuite les capacités de l'approche pour l'étude de comportements émergents. Résumé:

G. DESROZIERS, L. BERRE (gerald.desroziers@meteo.fr)

Accélération et parallélisation des minimisations en assimilation variationnelle d'ensemble et déterministe

L'EnKF peut être transposé à l'assimilation variationnelle d'ensemble, où une série d'analyses variationnelles perturbées sont effectuées. Dans ce dernier cas, cependant, il y a un coût supplémentaire important associé à l'utilisation de plusieurs minimisations. Le but de cette présentation est de présenter différentes techniques pour réduire le coût des minimisations multiples qui doivent être effectuées. L'utilisation d'une technique de pré-conditionnement, sur la base de paires de Ritz résultant d'une première minimisation effectuée avec un algorithme combiné Lanczos / Gradient conjugué est particulièrement étudiée. La possibilité de construire de façon plus explicite une nouvelle solution perturbée, avec des vecteurs de Lanczos issus d'une minimisation unique non perturbée ou perturbée, est également étudiée. Cette approche permet de fournir une première réduction sensible du coût d'une nouvelle minimisation perturbée. Enfin, il est proposé de généraliser l'idée précédente en utilisant un ensemble multiple de vecteurs de Lanczos issus d'un ensemble d'assimilations perturbées. L'application de cette procédure à un problème d'analyse simplifié montre des résultats encourageants, puisque elle semble indiquer une voie possible pour réduire le coût global d'une assimilation variationnelle d'ensemble. De plus, cette approche semble aussi offrir une stratégie efficace pour paralléliser une telle assimilation variationnelle d'ensemble, mais aussi l'assimilation variationnelle déterministe elle-même. Une application de l'approche précédente à l'assimilation d'ensemble 4D-Var associée au système français global de prévision sera également présentée.

Y. MICHEL (yann.michel@meteo.fr)

Modélisation des corrélations d'erreurs par déformations spatiales

L'assimilation de données pour la météorologie et l'océanographie fait usage de modèles de corrélations pour représenter la structure statistique des erreurs de prévision, de modélisation et des observations. Ces modèles doivent être numériquement efficaces, mais aussi représenter le plus finement possible les propriétés des erreurs, comme leur caractère anisotrope et dépendant du flux en ce qui concerne les erreurs d'ébauche. Dans de nombreux systèmes d'assimilation, y-compris les systèmes de prévisions ARPEGE et AROME de Météo-France, les covariances d'erreurs d'ébauche sont homogènes et isotropes dans la direction horizontale. Une approche pour relâcher cette hypothèse consiste à introduire une déformation spatiale, qui prend la forme d'une simple interpolation dans le cas discret. Il est intéressant de pouvoir estimer objectivement la déformation à partir d'un ensemble afin de pouvoir extraire et représenter l'anisotropie réelle du système d'assimilation. Un algorithme reposant sur une transformation continue par ondelettes a été récemment proposé par M. Clerc (INRIA) dans le domaine de la vision par ordinateur. Il est également possible d'estimer la déformation à partir d'un diagnostic de longueur de corrélation locale. La déformation conserve les variances aux erreurs d'interpolation près, ce qui est un avantage important par rapport aux autres méthodes de modélisation. Enfin l'algorithme peut être appliqué à la modélisation des corrélations d'erreurs d'ébauche dans diverses géométries (1D et 2D) dans les systèmes ARPEGE et AROME. Les résultats montrent qu'il est possible de représenter une certaine anisotropie avec cette méthode.

P. ROUCHON (invité)

Observateurs et assimilation de données

O. CAUMONT et al. (olivier.caumont@meteo.fr)

Assimilation de nouveaux types de données télédéteectées dans Arome (projet Antydote)

L'amélioration de la prévision des phénomènes de petite échelle à fort impact sociétal (pluies intenses, brouillard, etc.) passe par une meilleure représentation de ces phénomènes dans les modèles de prévision numérique du temps. Ceci nécessite d'augmenter la résolution de ces modèles, et en parallèle d'utiliser pour leur initialisation et leur validation des observations fournissant des informations physiques pertinentes à des résolutions similaires. L'utilisation de ces nouvelles observations pose des questions spécifiques telles que le choix de la grandeur physique considérée, ou encore la spécification de l'opérateur d'observation et des erreurs de mesure. Ces questions ne peuvent être résolues que dans un cadre regroupant spécialistes des instruments concernés et experts en assimilation et modélisation atmosphérique. L'objectif du projet sur l'Assimilation de nouveaux types de données télédéteectées dans Arome (Antydote), financé par l'action interorganisme sur projets Lefe, était de fédérer les efforts de ces différentes communautés afin d'ouvrir et explorer de nouvelles pistes pour l'assimilation de données pertinentes aux échelles kilométrique et subkilométrique. Dans le cadre de ce projet, les efforts ont porté plus précisément sur l'assimilation des observations lidar vapeur d'eau, de paramètres thermodynamiques mesurés par les profilers de vent et les radiomètres au sol, des observations polarimétriques et de la réfractivité mesurée par les radars précipitation, ainsi que sur l'enrichissement de la couverture en observations satellitaires grâce à de nouvelles techniques d'assimilation des observations nuageuses et sur terre. La présentation illustrera les avancées obtenues dans le cadre du projet Antydote pour chacun de ces types d'observation.

B. MENETRIER, T. MONTMERLE, L. BERRE, Y. MICHEL (benjamin.menetrier@meteo.fr)

Utilisation de variances d'erreur d'ébauche dépendantes de la situation météorologique pour l'assimilation de données à méso-échelle

Il est désormais établi que la matrice des covariances d'erreur d'ébauche - un élément clé des systèmes variationnels - devrait être dépendante de la situation météorologique pour obtenir une assimilation optimale des observations dans les systèmes opérationnels de prévision du temps. Actuellement, l'estimation d'une "erreur du jour" repose principalement sur un ensemble de prévisions, à partir desquels sont déduites les propriétés statistiques de l'erreur de prévision. En raison du coût de calcul élevé des modèles opérationnels actuels, seuls des ensembles de petite taille peuvent être utilisés, ce qui introduit des erreurs de sous-échantillonnage significatives dans l'estimation des statistiques d'erreur de prévision. Notre travail porte sur le modèle AROME, opérationnel à Météo-France (résolution de 2,5 km, non-hydrostatique, cycle d'assimilation de 3h), pour lequel nous souhaiterions utiliser des cartes de variance d'erreur d'ébauche dépendantes de la situation météorologique, à la place d'une valeur moyenne climatologique utilisée actuellement. Une amélioration de l'assimilation des observations est attendue, en particulier à méso-échelle (ex : données radar). Dans un premier temps, nous avons tenté de moduler les variances d'erreur d'ébauche climatologiques par des cartes de variances provenant du système d'assimilation d'ensemble à l'échelle globale AEARP, opérationnel à Météo-France, mais sans succès. Nous travaillons donc maintenant sur le filtrage de cartes de variance extraites d'un petit ensemble AROME (moins de dix membres). La théorie de l'échantillonnage a montré que le bruit sur l'estimation d'une carte de variance était toujours hétérogène, ce qui rend les filtres spectraux sous-optimaux, bien qu'assez efficaces en pratique. Nous cherchons donc à développer des algorithmes adaptatifs ne reposant pas sur une hypothèse d'homogénéité du bruit et du signal pour filtrer les cartes de variance.

M.C. ROCHOUX, J.M. BART, B. CUERNOT, S. RICCI, A. TROUVÉ (ricci@cerfacs.fr)

Towards Data-Driven Simulations of Wildfire Spread using Ensemble-based Data Assimilation

Real-time predictions of a propagating wildfire remain a challenging task because the problem involves both multi-physics and multi-scales. The propagation speed of wildfires, also called the rate of spread (ROS), is indeed determined by complex interactions between pyrolysis, combustion and flow dynamics, atmospheric dynamics occurring at vegetation, topographical and meteorological scales. As a wildfire generally features a front-like geometry at regional scales, current operational models simulate it as a propagating front at a ROS based on a semi-empirical model due to Rothermel. In these models, the ROS is treated as a simplified function of vegetation, topographical and meteorological properties. For the fire spread simulation to be predictive and compatible with operational applications, the uncertainty on the ROS model should be reduced. As recent progress made in remote sensing technology provides new ways to monitor the fire front position, a promising approach to overcome the difficulties found in wildfire spread simulations is to integrate fire modeling and fire sensing technologies using data assimilation (DA). For this purpose we have developed a prototype data-driven wildfire spread simulator in order to provide optimal estimates of poorly known model parameters [*]. The wildfire spread simulation capability is adapted for more realistic wildfire spread: it considers a regional-scale fire spread model that is informed by an assumed set of real-time observations of the fire front location. An Ensemble Kalman Filter algorithm based on a parallel computing platform (OpenPALM) was implemented in order to correct parameters of the ROS model that relate to vegetation, wind and topography. The EnKF algorithm shows its good ability to track a small-scale controlled grassland fire and ensures a good accounting for the sensitivity of the simulation outcomes to the control parameters. [*] Rochoux, M.C., Delmotte, B., Cuenot, B., Ricci, S., and Trouvé, A. (2012) "Regional-scale simulations of wildland fire spread informed by real-time flame front observations", Proc. Combust. Inst., 34, in press, <http://dx.doi.org/10.1016/j.proci.2012.06.090>

Programme CNA 2012

Y. WANG, K.N. SARTELET, M. BOCQUET, and P. CHAZETTE (yiguo.wang@cerea.enpc.fr)

Assimilation of surface versus lidar observations for PM10 forecasting

In air quality, aerosols have an impact on regional and globe climates as well as on ecological equilibrium and human health. Thus their accurate prediction is important. Data assimilation (DA) is an analysis technique which uses observations to reduce the uncertainties in input data of the model, and improve the forecast. In general, in situ surface measurements are assimilated. However, they do not provide information on the vertical profile. Thanks to the new generation of portable lidar systems developed over the past years, one can now carry out spatially denser observations of aerosol optical properties in the mid and lower troposphere. In order to investigate the potential impact of future ground-based lidar network LEONET (<http://leo-net.eu/>) on analysis and short-term forecasts of particulate matter with a diameter smaller than 10 μm (PM10), an Observing System Simulation Experiment (OSSE) is built for PM10 DA using optimal interpolation over Europe for one month in 2001. First, using a lidar network with 12 stations, we will introduce the estimation of the efficiency of assimilating the lidar network measurements in improving PM10 concentration analysis and forecast. It is compared to the efficiency of assimilating concentration measurements from the AirBase ground network, which includes about 500 stations in western Europe. We find that assimilating the lidar observations decreases by about 54% the root mean square error (RMSE) of PM10 concentrations after 12 hours of assimilation and during the first forecast day, against 59% for the assimilation of AirBase measurements. However, the assimilation of lidar observations leads to similar scores as AirBase's during the second forecast day. The RMSE of the second forecast day is improved on average over the summer month by 57% by the lidar DA, against 56% by the AirBase DA. Moreover, we find that the spatial and temporal influence of the assimilation of lidar observations is larger and longer. The results show a potentially powerful impact of the future lidar networks. Secondly, since a lidar is a costly instrument, we will introduce a sensitivity study on the number and location of required lidars to help defining an optimal lidar network for PM10 forecast. With 12 lidar stations, an efficient network in improving PM10 forecast over Europe is obtained by regularly spacing the lidars.

Y. ROUSTAN, V. WINIAREK, N. DUHANYAN, M. BOCQUET, N. TALERKO (roustan@cerea.enpc.fr)

Modélisation inverse du terme source de l'accident de Tchernobyl à l'aide des mesures de flux de dépôt de radionucléides

La modélisation inverse de sources accidentelles de traceurs exploitant les méthodes de l'assimilation de données est d'un intérêt malheureusement confirmé par l'actualité récente. Ces dernières années les travaux menés au CEREAS sur le sujet ont conduit à des développements méthodologiques exploitant des modèles de dispersion atmosphérique conjointement avec des observations de concentrations dans l'air. L'objectif du projet MIDAR était d'étendre l'utilisation de ces méthodes en intégrant des observations de dépôts au sol. Le cas d'étude initialement choisi correspondait à l'accident de Tchernobyl et au panache de radionucléides (Iode-131, Césium-134 et Césium-137) qu'il a généré. L'actualité a conduit à s'intéresser également au cas de l'accident de Fukushima. Les mesures de dépôt sont diverses, d'une part de dépôt humide journalier qui correspondent aux mesures effectuées par les réseaux météorologiques et d'autre part de mesures dans les sols représentant des cumuls de durées variables (de loin les plus nombreuses). La difficulté avec ces dernières mesures réside dans le fait qu'elles peuvent intégrer les dépôts passés en raison des temps de vie souvent considérables des isotopes radioactifs. Par ailleurs la modélisation directe des flux de dépôt étant plus complexe que celle des activités volumiques dans l'air, l'exploitation d'observations de dépôt soulève des difficultés supplémentaires. Les représentations sommaires habituellement utilisées avec ce type de polluants pour les processus microphysiques gouvernant le dépôt introduisent des incertitudes fortes. Une première approche a consisté à inverser les paramètres principaux de ces modélisations simples des processus de dépôt sur la base des observations d'activités dans l'air. Une deuxième approche a été d'explorer les avantages et inconvénients de paramétrisations plus détaillées, fournissant une meilleure variabilité spatiale et temporelle. La difficulté à représenter les précipitations dans le modèle météorologique fournissant les champs d'entrée du modèle de dispersion se répercute également sur le diagnostic des flux de dépôt humide.

POSTERS

- N. AYOUB, P. DE MEY, J. LAMOUREUX, C. DE NICOLA, P. MARSALEIX**
Assimilation de données par filtrage d'ensemble dans le Golfe de Gascogne
- J. BALLABRERA, J. VERRON, G. RUGGIERO**
Assimilation of SWOT-type altimetry in a high-resolution ocean model
- S. BEYOU, É. MÉMIN, S. RAYNAUD**
Assimilation de vitesse de surface en mer d'Iroise par filtrage de Kalman d'ensemble pondéré
- P.-A. BOUTTIER, E. BLAYO, J. VERRON**
Impact of Non-Linearities on Incremental 4D-VAR Data Assimilation Method in A High Resolution Ocean Model
- G. CANDILLE, M. FARGE, O. TALAGRAND**
Assimilation variationnelle d'un modèle adaptatif filtré en ondelettes
- V. CHABOT, M. NODET, N. PAPADAKIS, A. VIDARD**
Assimilation directe de séquences d'images bruitées
- A. A. CHARANTONIS**
Utilisation des Chaînes de Markov cachées dans l'assimilation des données.
- E. COSME, X. MEUNIER, J.-M. BRANKART, M. LÉVY, P. BRASSEUR, J. VERRON**
Prolégomènes à l'assimilation multi-échelles de données océaniques avec les filtres d'ensemble
- F. COUDERC, R. MADEC, J. MONNIER, J.-P. VILA, D. DARTUS**
Shallow water river flows: finite volume schemes, sensitivity analysis, data assimilation.
- B. GAUBERT, A. COMAN, G. FORET, M. BEEKMANN**
Assimilation de l'ozone troposphérique
- L. GAULTIER, J. VERRON, P. BRASSEUR, J.-M. BRANKART**
On the inversion of high resolution tracer image for the control of ocean circulations emerging from altimetric data
- S. GUROL, A. WEAVER, S. GRATTON, A. MOORE, A. PIACENTINI, H. ARANGO**
B-Preconditioned Minimization Algorithms for Variational Data Assimilation with the Dual Formulation
- N. HOAREAU, M. UMBERT, J. MARTINEZ, A. TURIEL, J. BALLABRERA**
Assimilation de la Salinité de Surface de l'océan (SMOS) dans un modèle océanique.
- N. MARTIN, J. MONNIER**
Sensitivity analysis and variational data assimilation for ice flow - Application to the Mertz ice-tongue
- R. MECHRI, C. OTTLÉ, O. PANNEKOUCKE, A. KALLEL, A. BEN HAMIDA**
Sub-pixel temperatures estimation based on the assimilation of coarse resolution Thermal Infrared data using particle filtering
- E. NEVEU, A. MOORE, C. EDWARDS, J. FIECHTER, E. NUSS**
An Historical Analysis of the California Current using ROMS 4D-Var: 1980-2010
- M. NODET, B. BONAN, C. RITZ**
Quelques problèmes inverses en glaciologie
- C. ROBINSON, Y. YANG, D. HEITZ, E. MEMIN**
Evaluation of an ensemble based 4D Var assimilation
- C.E. TESTUT, G. GARRIC, L. PARENT, E. GREINER, J.-M. BRANKART**
Récent développement du système d'analyse Mercator-Océan : Application du système d'analyse au modèle de glace de mer

Programme CNA 2012

N. AYOUB, P. DE MEY, J. LAMOUREUX, C. DE NICOLA, P. MARSALEIX (nadia.ayoub@legos.obs-mip.fr)

Assimilation de données par filtrage d'ensemble dans le Golfe de Gascogne

L'objectif de ce poster est de présenter un système d'assimilation en cours de développement dans le Golfe de Gascogne. Ce système doit permettre de contraindre un modèle de circulation régional-côtier dans un premier temps, par des observations satellite altimétriques et des données de température de surface océanique à haute résolution, et, dans un second temps, par des mesures in situ. Notre objectif est de mieux comprendre la contrainte apportée par les deux jeux d'observations sur des processus physiques caractéristiques du Golfe de Gascogne. Notre approche initiale repose sur l'hypothèse que la principale source d'erreur du modèle sur les échelles de temps qui nous intéressent (variabilité de la journée à la saison) est due aux incertitudes sur le vent. Néanmoins, même si l'assimilation n'est pas destinée (dans un premier temps) à corriger les échelles de temps infra-journalières ni les marées, elle doit opérer en leur présence dans le modèle. Nous nous intéressons principalement aux processus de surface, dans l'océan profond, sur le plateau et aux échanges plateau-large. Le système repose sur le code d'océan Symphonie (Marsaleix et al., 2009), en configuration réaliste avec une résolution de 3 km et avec un forçage par la marée. La méthode est un filtre de Kalman d'Ensemble Asynchrone (AEnKF), telle qu'implémentée dans le code SEQUOIA (De Mey, 2007). Les simulations se font sur des plates-formes de type « cluster ». Afin de vérifier la performance du système et de tester différents paramètres nous opérons dans un premier temps des expériences jumelles où les pseudo-observations assimilées sont issues d'un run perturbé. Les tests portent principalement sur les paramètres de sélection des observations (bulle d'influence, longueur de la fenêtre d'assimilation, etc.) et sur l'échantillonnage des observations. Un de nos objectifs est de pouvoir utiliser cette maquette dans le cadre de la préparation de la mission altimétrique SWOT.

J. BALLABRERA, J. VERRON, and G. RUGGIERO (joaquim@cmima.csic.es)

Assimilation of SWOT-type altimetry in a high-resolution ocean model

One of the most successful components of the ocean observing system is satellite altimetry. Since its beginning, altimetry has been a rich source of information about a wide set of temporal and spatial scales of climate interest. Altimeter data is currently being assimilated in operational oceanography. A foreseeable new technology to further improve our knowledge about the sea surface topography is the Surface Water Ocean Topography (SWOT) mission, a cooperative effort between NASA and CNES. By its ability to provide maps of the sea topography at scales below 10 km, SWOT will become the first altimetry mission able to capture sub-mesoscale features. The capacity of continuously monitoring this new range of scales will allow a better comprehension about the kinetic energy of the ocean circulation, the role of small-scale processes in the transport of tracers (as temperature, salinity or carbon), coastal tides, and even internal tides, which have not been well sampled by traditional altimetry. It can be expected that the amount of information that data assimilation will be able to infer from this new stream of data will be directly linked to the ability of the numerical models to represent sub-mesoscale features. However, the computational cost of models with a horizontal resolution fine enough (1 to 10 km) to permit sub-mesoscale variability, the use of the most advanced data assimilation methods (variational or ensemble-based methods) could reach prohibitive computational costs, except when applied to small domains. This work aims to investigate the use of new data assimilation approaches in which the model is used as a dynamical interpolator, both forward in time and backwards (as the Backward and Forward Nudging, BFN), in non-linear simulations. Although the backward integration of a numerical model has been shown to be useful in both variational (replacing the adjoint model) and nudging approaches, the actual ability of the backward simulation to constrain the initial and final states of the model is investigated as a function of the dynamical regime of the flow, the length of the assimilation period, the parameters being observed, and the nature of the observational noise (amplitude and presence of unresolved processes). The data assimilation experiments are going to be carried out in two simulations using the NEMO-OPA ocean model. In a first instance, an idealized subtropical gyre (Square Box SQB model) is being used to investigate the ability of the BF to constrain surface variability from a sampling simulating the swath characteristics of SWOT (120 km wide, and 22-day repeat orbit). The second set of experiments will use a regional simulation of the Solomon Sea.

S. BEYOU, E. MÉMIN, S. RAYNAUD (sebastien.beyou@inria.fr)

Assimilation de vitesse de surface en mer d'Iroise par filtrage de Kalman d'ensemble pondéré

Dans ce travail nous présentons l'application d'une technique de filtrage stochastique à l'assimilation de vitesse de courant de surface en mer d'Iroise à partir de données de radars côtiers. Dans cette application en mer d'Iroise, deux radars situés au nord et au sud de Brest donnent la vitesse de surface de l'océan sur une partie de la géographie considérée (et variable au cours du temps) ; le modèle océanique utilisé est construit à partir de simulations ROMS et de perturbations de la surface océanique par un champ aléatoire homogène isotrope ayant les mêmes caractéristiques spectrales que les observations de vitesse. La méthode de filtrage employée est définie comme un filtre particulière dont la fonction de proposition est donnée par un filtre de Kalman de transformation d'ensemble (ETKF). Elle allie à la fois les avantages du filtre particulière (la convergence théorique vers la loi a posteriori grâce à l'étape de pondération des particules) et l'efficacité du filtre de Kalman d'ensemble dans le cadre de problème de grande dimension et d'un faible nombre d'échantillon. Des résultats de ce filtre sont en premier lieu analysés sur des exemples synthétiques de turbulence 2D visualisé au moyen d'une séquence d'images représentant le transport d'un scalaire passif. Nous illustrerons en particulier l'influence du bruit dynamique. Nous montrerons en particulier que des bruits ayant une caractéristique spectrale identique à la solution recherchée permet d'améliorer sensiblement les résultats. Nous monterons également que en comparaison d'un filtre de Kalman d'ensemble classique, les petites échelles de l'écoulement sont mieux reconstruites par ce filtre pondéré. Dans le cas particulier de l'assimilation de données radar les résultats de ce filtre sont analysés en terme d'écart aux observations et comparés à un mode prédictif pur.

P.-A. BOUTTIER, E. BLAYO, J. VERRON (Pierre-Antoine.bouttier@imag.fr)

Impact of Non-Linearities on Incremental 4D-VAR Data Assimilation Method in A High Resolution Ocean Model

The purpose of this poster is to explore the behaviour of variational data assimilation methods in a non-linear ocean model. In an eddy-permitting or eddy-resolving ocean model, controlling mesoscale eddies activity is crucial for data assimilation methods. Our goal is to highlight the impact of these non-linearities on the assimilation system. To illustrate this, test experiments are performed with a double-gyre NEMO configuration at different resolutions (1/4°, 1/12°) which mimics Gulfstream-like behaviour in term of eddy system and an incremental 4D-VAR formulation for the assimilation system. First, we are mainly interested in observing the impact of the length of assimilation window on the quality of the analyzed trajectory. Twin experiments are performed with the 1/4° model, using simulated altimeter data, for different lengths of the assimilation window. Helped by diagnoses on error scales, we also attempt to link the non-linear phenomena with error structures observed after assimilation quantitatively and qualitatively. Then, by increasing the model resolution and consequently the mesoscale eddy activity, we bring to light the sensitivity of our assimilation system to non-linearity by repeating the same types of experiments and diagnoses. To conclude, we suggest different assimilation strategies to reduce the error in the analyzed trajectory due to the mesoscale eddy activity.

Programme CNA 2012

G. CANDILLE, M. FARGE et O. TALAGRAND. (guillem.candille@legi.grenoble-inp.fr)

Assimilation variationnelle d'un modèle adaptatif filtré en ondelettes.

Les modèles filtrés en ondelettes ont montré leur capacité à simuler et prévoir des écoulements turbulents. Implanter de tels filtrages dans un modèle de prévisions météorologiques et/ou de simulations océanographiques comprend entre autre leur introduction dans un processus d'assimilation. Une méthode d'assimilation variationnelle est ici étudiée sur un modèle de résolution de l'équation de Burger-1D non visqueuse (2DVar), ce modèle étant adaptativement filtré à chaque pas de temps de l'intégration par des ondelettes orthogonales. Le caractère adaptatif du filtrage entraîne de très fortes non-linéarités, surtout dans les zones de singularités (chocs ou forts gradients), induites par le fait que le sous-espace de résolution de l'équation sélectionné par le filtre en ondelettes change à chaque pas de temps. Ces non-linéarités sont telles que les variations spatiales du gradient (et les éventuelles discontinuités) peuvent être suffisamment grandes pour compromettre la minimisation. Cela entraîne ainsi de sévères restrictions sur la taille de la fenêtre d'assimilation où l'analyse optimale ne peut être atteinte. Une approche variationnelle quasi-statique est alors introduite. Elle permet d'obtenir une minimisation optimale quand l'approche variationnelle classique est en échec, même si l'efficacité de cette méthode quasi-statique est fortement dépendante de la densité du réseau d'observations.

V. CHABOT, M. NODET, N. PAPADAKIS, A. VIDARD (vincent.chabot@imag.fr)

Assimilation directe de séquences d'images bruitées

Les dernières décennies ont vu croître en quantité et en qualité les données satellitiques. Depuis quelques années, au sein de l'équipe MOISE, nous nous intéressons à l'utilisation de séquences d'images satellitiques dans le processus d'assimilation de données. En effet, ces séquences, pouvant fournir de nombreuses informations sur la dynamique des systèmes océanique et atmosphérique, sont actuellement sous exploitées en assimilation. Dans cette étude, nous portons notre attention sur l'utilisation d'observations indirectes de l'état du modèle (des séquences d'images de concentration de traceur) dans le but de contrôler l'état du modèle (vitesse zonale, méridienne et hauteur d'eau) en utilisant un processus d'assimilation variationnelle. L'influence du bruit sur les séquences d'images et son impact sur l'assimilation lors de l'utilisation de différents opérateurs d'observation est présenté dans ce poster. La faisabilité de l'approche proposée est démontrée sur des expériences jumelles réalisées avec un modèle shallow-water 2D.

A. A. CHARANTONIS (aaclod@locean-ipsl.upmc.fr)

Utilisation des Chaînes de Markov cachées dans l'assimilation des données.

Les Chaînes de Markov cachées sont un outil thématiquement proche de l'assimilation de données. Elles peuvent décrire de façon statistique un modèle dynamique finement discrétisé en états types, et le faire concorder à des observations. Étant donné leur bonne performances et faible coût d'implémentation (la discrétisation des états étant automatisée par des cartes auto-organisées) nous présentons comme une alternative à l'assimilation ainsi que un bon générateur d'états initiaux de modèles d'assimilation.

E. COSME, X. MEUNIER, J.-M. BRANKART, M. LÉVY, P. BRASSEUR, J. VERRON (Emmanuel.Cosme@legi.grenoble-inp.fr)

Prolégomènes à l'assimilation multi-échelles de données océaniques avec les filtres d'ensemble

Les observations de l'océan sont très hétérogènes en nature et en représentativité. L'altimétrie satellitaire actuelle (Jason, Envisat) fournit des observations à des résolutions spatiales d'environ 10 km le long de la trace. Au contraire, la mesure effectuée par un profileur ARGO est très locale. Enfin, le modèle numérique dans lequel ces observations sont assimilées possède sa propre résolution spatiale, qui peut être différente. Ces disparités conduisent à devoir affecter à l'erreur d'observation une erreur additionnelle de représentativité, souvent déterminée de façon arbitraire. D'autre part, la résolution des modèles numériques de l'état de l'air rend ceux-ci si coûteux que l'assimilation d'ensemble est en pratique impossible. Pour tirer profit d'une assimilation d'ensemble, par exemple pour fournir des incertitudes, il faut utiliser un modèle de résolution dégradée. Ces deux problèmes peuvent trouver leur solution dans une approche multi-échelles de l'assimilation. Les membres de l'ensemble sont propagés avec le modèle à une résolution basse. A chaque étape d'analyse, les observations sont assimilées sur une grille de résolution adaptée à leur représentativité. L'information des observations est transportée dans la hiérarchie de grilles par un lisseur de Rauch-Tung-Striebel. A la fin du processus, la totalité des informations (ensemble initial à basse résolution, observations multi-échelles, information sur la dynamique haute résolution fournie par des ensembles statiques adéquats) sont synthétisés sur les différentes grilles en jeu. Nous décrivons la méthodologie et des expériences préliminaires qui suggèrent que la méthode est prometteuse.

F. COUDERC, R. MADEC, J. MONNIER., J.-P. VILA, D. DARTUS

Shallow water river flows: finite volume schemes, sensitivity analysis, data assimilation.

We investigate the numerical resolution of shallow water equations with bed slope and friction source terms in context of river flood flows with real data, in sense of sharp variations of bathymetry and wet/dry fronts. Several test cases are carried out to study the behavior difference between first- and second-order numerical schemes and particularly in the very shallow flood plain areas potentially inhabited. Main interest is to develop and provide an efficient numerical tool in order to perform sensitivity analysis or complete 4D-var data assimilation processes. So, we present afterwards sensitivity analysis using adjoint solver generated by automatic differentiation in view of better understanding the river flood flow modeling mechanisms. Then, after connecting our adjoint solver a minimization routine, data assimilation experiments are performed, in the context of twin experiments, in order to calibrate parameters such as the Manning's roughness coefficients or the inflow discharge.

B. GAUBERT, A. COMAN, G. FORET, M. BEEKMANN (foret@lisa.u-pec.fr)

Assimilation de l'ozone troposphérique

Nous présentons ici la plateforme CHIMERE-EnKF qui couple un modèle régional de chimie-transport (CHIMERE) et un filtre de Kalman d'ensemble. Plus particulièrement, nous nous intéressons aux performances du système pour assimiler les observations d'ozone de surface dans le contexte particulier de la surveillance de la qualité de l'air opérationnelle. Un point important de la présente étude porte sur la sensibilité du système à la formulation des matrices de covariance d'erreurs du modèle et des observations. Dans le cas du filtre de Kalman d'ensemble on s'intéresse notamment à la façon de construire l'ensemble de simulation qui permet l'estimation des erreurs modèles. D'autre part, nous avons testé comment la formulation de la matrice d'erreur d'observation pouvait varier au regard du type d'observations assimilées (notamment la représentativité spatio-temporelle des stations de surface) et quel impact cela pouvait avoir sur les performances du système.

Lucile GAULTIER, Jacques VERRON, Pierre BRASSEUR, Jean-Michel BRANKART (lucile.gaultier@hmg.inpg.fr)

On the inversion of high resolution tracer image for the control of ocean circulations emerging from altimetric data

During the past 20 years, altimetric satellites have revealed the turbulent ocean dynamics at the mesoscale. Additionally, high resolution sensors of tracers such as the Sea Surface Temperature or the Ocean Color reveal even smaller structures at the submesoscale, which are not detected by altimetry. Therefore, the two types of complementary observations are expected to refine the estimation of the ocean circulation. The goal of this study is to explore the feasibility of inverting tracer information to possibly control ocean dynamics emerging from altimeter data analysis. To do so, we choose an image data assimilation strategy in which a cost-function is built that aims at minimizing the misfits between some image of submesoscale flow structure and tracer images. In the present work, we have explored the extent to which the Finite-Size Lyapunov Exponents (FSLE) can be considered as a proxy characterizing the submesoscale flow structure. A prerequisite to the study is the investigation of the sensitivity of FSLE horizontal patterns to velocity errors. Indeed, the misfit between a FSLE derived from a velocity with errors, and the FSLE derived from an error free velocity is successfully minimized. The next step is the inversion of tracer information using real data. The ocean dynamical variable to be corrected is the mesoscale altimetric velocity (from AVISO) using a high resolution tracer image (from MODIS). The cost function measures the misfit between the FSLE derived from the altimetric velocity and the high resolution tracer image. Several test cases have been studied and show the feasibility of the inversion of tracer information to correct altimetric data. The error made on the solution of the inversion process is further investigated using a model.

S. GUROL, A. WEAVER, S. GRATTON, A. MOORE, A. PIACENTINI, H. ARANGO (weaver@cerfacs.fr)

B-Preconditioned Minimization Algorithms for Variational Data Assimilation with the Dual Formulation

Variational data assimilation problems in meteorology and oceanography require the solution of a regularized nonlinear least-squares problem. Practical solution algorithms are based on the incremental approach, which involves the iterative solution of a sequence of linear least-squares (quadratic minimization) sub-problems. Each sub-problem can be solved using a primal approach, where the minimization is performed in a space spanned by vectors of the size of the model control vector, or a dual approach, where the minimization is performed in a space spanned by vectors of the size of the observation vector. The dual formulation can be advantageous for two reasons. First, the dimension of the minimization problem with the dual formulation does not increase when additional control variables, such as those accounting for model error in a weak-constraint formulation, are considered. Second, whenever the dimension of observation space is significantly smaller than that of the model control space, the dual formulation can reduce both memory usage and computational cost. This presentation describes recent work in developing the dual approach for two operational ocean data assimilation systems: NEMOVAR and ROMS 4D-Var. NEMOVAR employs the Restricted B-preconditioned Conjugate Gradient (RBCG) method, while ROMS 4D-Var employs the B-preconditioned Lanczos (RBLanczos) method. RBCG and RBLanczos, and the corresponding B-preconditioned Conjugate Gradient and Lanczos algorithms used in the primal approach, generate mathematically equivalent iterates. All these algorithms can be implemented without the need for a square-root factorization of the background-error covariance matrix (B). Numerical results comparing the dual and primal algorithms in NEMOVAR and ROMS 4D-Var will be presented.

N. HOAREAU ; M. UMBERT ; J. MARTINEZ ; A. TURIEL ; J. BALLABRERA (nhoareau@icm.csic.es)

Assimilation de la Salinité de Surface de l'océan (SMOS) dans un modèle océanique.

Le satellite SMOS (Soil Moisture Ocean salinity, ESA mission) permet, depuis son lancement en novembre 2009, d'obtenir des mesures de salinité de surface de l'océan (SSS) et de l'humidité des sols, deux variables clés pour une meilleure compréhension du cycle de l'eau. La SSS est une variable océanique fondamentale car elle contribue, avec la SST, à la densité de surface de l'océan, où à lieu l'interaction océan-atmosphère. Malgré son importance, la salinité a souvent été moins étudiée, si on compare avec les efforts déployés pour observer la SST ou la SSH. Cependant, au cours de ces dernières années la communauté scientifique a commencé à mettre en évidence l'importance d'une bonne connaissance de la salinité pour mieux comprendre l'évolution du climat. L'estimation de la SSS par satellite est possible grâce à la relation de proportionnalité entre la température physique et l'émission thermique de l'océan aux basses fréquences. Ce coefficient de proportionnalité, l'émissivité, est une fonction de la constante diélectrique qui dépend de sa conductivité, i.e. sa salinité. Le satellite SMOS mesure la SSS à partir de la température de brillance (Tb) sur bande-L (1.4GHz). Néanmoins, il est devenu clair que la faible sensibilité de la Tb aux variables géophysiques de l'océan, combinée avec l'imperfection des schémas de reconstruction d'image, créent des données de SMOS très bruitées. De ce fait, l'assimilation de ces données dans des modèles océaniques reste un challenge. L'objectif de cette étude est de rechercher le potentiel de l'assimilation de données pour filtrer l'erreur présente dans les données SMOS; mais aussi, d'étudier l'impact d'assimiler la SSS dans un modèle océanique régional. La nécessité, ou non, d'un pré-traitement de ces données avant l'étape d'assimilation, est étudiée ici. Les expériences sont réalisées dans une configuration régionale de l'océan Atlantique Nord-Oriental. Le modèle océanique utilisé est NEMO-OPA. Et la méthode d'assimilation est le nudging ou relaxation de Newton. La validation des résultats se fait en comparant avec des données in-situ (données Argo).

N. MARTIN, J. MONNIER

Sensitivity Analysis and Variational Data Assimilation for ice-flow – Application to the Mertz ice-tongue.

To be confident in the accuracy of the modelling of ice flows requires to confront numerical experiments to actual observations. This type of flows is strongly sensitive to their input parameters and boundary conditions such as rheological parameters or the friction at bottom. Then, using optimal control theory, we build a global 4D-Var algorithm using direct and adjoint model of the variational problem thus providing local sensitivity analysis and data assimilation. In order to compute approximation of these flows, one consider the velocity-pressure Stokes system described using mixed finite element method. The treatment of the free surface is performed using an Arbitrary Lagrangian Eulerian description with robust elastic deformation and the adjoint method is constructed by algorithmic differentiation of the direct code using Tapenade software (INRIA). We lean on prior developments of the software DassFlow. One of the major question for inverse methods in glaciology is to infer the friction coefficient at bottom through data assimilation because it cannot be measured. In other respect, our first results based on real data shows that the rheological exponent and/or the thermal coefficient of the constitutive law (distributed parameter) has the same type of influence and can be inferred as well.

Programme CNA 2012

R. MECHRI, C. OTTLÉ, O. PANNEKOUCKE, A. KALLEL, A. BEN HAMIDA (rmechri@lsce.ipsl.fr)

Sub-pixel temperatures estimation based on the assimilation of coarse resolution Thermal Infrared data using particle filtering

Thermal infrared (TIR) data is efficiently used for surface fluxes estimation giving the possibility to assess energy budgets through surface temperature. However, an accurate knowledge of such data at high spatial/temporal resolution is not possible considering the present instruments on board satellites. In fact, available instruments allow either the high spatial resolution versus a low temporal one (e.g. ASTER: repeat cycle of 16 days/spatial resolution of 15m to 90 m) or the high temporal resolution with a coarse spatial one (e.g. SEVIRI: repeat cycle of 15 min/spatial resolution of 3km). Then, it is necessary to develop methodologies to combine these multi-scale and multi-temporal data to better monitor fluxes at appropriate scale. Our approach consists in the development of a new downscaling method based on particle filtering to extract sub-pixel variables from large scale data measurements. This methodology consists in constraining surface temperatures trajectories simulated by a dynamic model and aggregated at the scale of the observations. It is based on the use of the SETHYS land surface model (Coudert et al., 2006) and was developed on a synthetic database based on the French "La Crau" region landscape and climate. First step is to generate ensemble of end-members temperatures (first guess temperature of each land cover class present in the TIR pixel). Second step is to aggregate the temperature for each ensemble member given a high resolution land cover mapping which results in a new ensemble containing random coarse spatial resolution temperatures. Last step consists in the selection of the optimal large scale temperature estimations that fit the observed temperatures using the particle filter. In this way, we can get for each end-member present in the TIR pixel, the best estimates of sub-pixel temperatures. Firstly, a sensitivity analysis has been performed to extract for each land cover class the most sensible model parameters on the surface temperature. Secondly, the new downscaling approach will be presented and its performances will be analyzed in terms of errors on the model and on the observations. Finally the performances and robustness of our approach will be tested on actual data and compared to classical Bayesian inversions.

E. NEVEU, A. MOORE, C. EDWARDS, J. FIECHTER, E. NUSS (eneveu@ucsc.edu)

An Historical Analysis of the California Current using ROMS 4D-Var: 1980-2010

Nous utilisons le modèle océan ROMS (Regional Ocean Modeling System) implémenté avec un système d'assimilation variationnelle de données, ROMS 4D-VAR, pour simuler 31 années du California Current System (CCS) de 1980 à 2010. Toutes les données in-situ et satellites disponibles pour cette période ont été assimilées au modèle. Nous présentons certains détails de la configuration du modèle ainsi que du système d'assimilation, tels les ébauches et les statistiques d'erreurs utilisées pour le vecteur de contrôle. Celui-ci est composé de l'état initial, des conditions de surface et des conditions ouvertes aux bords. Nous montrons, à l'aide de divers diagnostics, la performance et l'efficacité du système d'assimilation. Enfin, nous proposons les premiers résultats d'analyse et de variabilité de la circulation. Les analyses historiques du CCS sont distribuées gratuitement à la communauté océanographique via un serveur OpenDap, et représente une importante et pratique ressource communautaire.

M. NODET, B. BONAN, C. RITZ (maelle.nodet@inria.fr)

Quelques problèmes inverses en glaciologie

Ce travail fera le point sur plusieurs problèmes inverses récemment étudiés en glaciologie. Le premier problème concerne la paléoclimatologie et s'énonce ainsi : comment estimer un scénario climatique (ie comment retrouver les températures polaires passées) à partir d'observations du volume englacé au cours du temps ? Des travaux antérieurs utilisent une méthode très simple, de type nudging. On étudie ici l'efficacité de la méthode adjointe pour répondre à ce problème, en utilisant un modèle de glace simplifié mais représentatif des modèles grande échelle. Le deuxième problème part de la question suivante : comment calculer la contribution de l'Antarctique et du Groenland au changement de niveau des mers d'ici la fin du siècle ? Pour ce faire, on utilise toutes les observations disponibles (principalement de surface : altitude, vitesses) afin d'estimer par assimilation de données les paramètres les plus sensibles, qui sont les coefficients de frottement basal, l'altitude du socle rocheux, l'épaisseur de glace actuelle, etc. On présentera les résultats obtenus pour le Groenland avec plusieurs méthodes inverses.

C. ROBINSON, Y. YANG, D. HEITZ, E. MEMIN (cordelia.robinson@inria.fr)

Evaluation of an ensemble based 4D Var assimilation

In this study, we compare an ensemble based variational method (En4DVar) proposed by Liu et al, 2008 [1] with a classic strong and weak dynamic constraint 4DVar assimilations. The En4DVar aims at combining the respective advantages of ensemble Kalman filters (EnKF) and 4DVar. In the same way as 4DVar, it is formulated as the minimization of an objective function, but introduces an empirical ensemble-based background-error covariance similarly as EnKF. Thus it functions in a off-line smoothing mode rather than as a sequential filter. In the meantime, the En4DVar avoids the use of tangent linear and adjoint model, which are necessary for standard 4DVar. As the background error covariance matrix plays a key role in the variational process, our study particularly focuses on the generation of the analysis ensemble state with localization techniques. The latter En4DVar technique is then compared to a reference 4DVar technique partially built by an Automatic Differentiation tool. Eventually, we can push the comparison further by considering, in the classic 4DVar technique, the same ensemble-based background-error covariance as defined in the En4DVar framework. We carry out the En4DVar comparison by using a 2D shallow water model. We consider a rectangular shaped tank that we initially tilt then put back in the horizontal position. Our goal is to reconstruct the free surface height and velocity by applying both methods. The comparisons are at first lead with synthetic data, which provide height and velocity observations of the free surface. Both methods are then compared with experimental data of the free surface height observations supplied by a depth sensor camera (Kinect). Two discrete schemes of the Shallow water are also compared in this study. In particular, we examine the ability of weak dynamic constraint 4DVar to cope with a simple centered and strongly diffusive dynamics scheme. References [1] C. Liu, Q. Xiao, and B. Wang. An Ensemble-Based Four-Dimensional Variational Data Assimilation Scheme. Part I: Technical Formulation and Preliminary Test. Monthly Weather Review, 136(9):3363–3373, September 2008.

C.E. TESTUT, G. GARRIC, L. PARENT, E. GREINER et J.-M. BRANKART (ctestut@mercator-ocean.fr)

Récent développement du système d'analyse Mercator-Océan : Application du système d'analyse au modèle de glace de mer

Depuis le début des années 2000, Mercator-Océan développe une hiérarchie de systèmes d'analyse et de prévision de l'océan pour simuler la circulation globale à différentes résolutions (du 1/4° au 1/12°). Ces systèmes d'analyse sont actuellement basés sur le modèle d'océan NEMO (Nucleus for European Models of the Ocean) couplé au modèle de glace de mer LIM2_EVP et sur le système d'assimilation SAM2 (Système d'Assimilation Mercator V2). Cet outil d'analyse est construit autour d'un filtre de Kalman de rang réduit dérivé du noyau du filtre SEEK développé initialement au LEGI/CNRS. Les covariances de l'erreur d'ébauche de cet algorithme sont notamment représentées par des sous-espaces d'erreurs modélisés par un ensemble de modes d'erreurs multivariés. Actuellement, seule la composante océanique de des systèmes Mercator-océan est contrôlée via l'assimilation de données de type profils InSitu (Température et salinité), température de surface satellitaires et anomalies altimétrique le long de la trace. Dans le contexte du projet européen MyOcean2, Mercator-Océan planifie d'étendre le contrôle de l'assimilation à la composante glace de mer via l'assimilation de données de concentration de glace de mer. Dans une première étape, le système d'assimilation utilise une double analyse indépendante (océan et glace de mer). Nous présentons ici à la fois la méthode utilisée ainsi que les résultats préliminaires dans le contexte d'une application à la composante glace de mer des systèmes de réanalyse de Mercator-Océan avec un focus sur les zones arctiques.