

1 - Projet

Titre : ADOMENO
Type : Projet de recherche et de développement technologique
Durée : 2 années
Domaine : Mathématiques et leurs interactions

2 - Partenaires

Equipe Française		
Chef de projet Nom : Fonction :	Mme HERLIN ISABELLE Directeur de recherche	
Laboratoire Nom : Adresse : Code postal : Ville : Tél. : Télécopie : Mél :	CLIME (CLIME) INRIA DOMAINE DE VOLUCEAU BP105 78153 LE CHESNAY 0139635371 0139635880 Isabelle.Herlin@inria.fr	
Institution de Rattachement Directeur :	INRIA Mme HERLIN ISABELLE	

Equipes étrangères	RUSSIE	UKRAINE
Chef de projet Nom : Fonction :	M SHUTAYEV VICTOR Professeur	M KOROTAEV GENNADY Professeur
Laboratoire Nom : Adresse : Code postal : Ville : Tél. : Télécopie : Mél :	INSTITUT DE MATHEMATIQUES NUMERIQUES GSP-1, UL. GUBKINA, 8. 1 19991 MOSCOW GSP-1 0070959385706 007099381821 shutyaev@inl.ras.ru	INSTITUT D'HYDROPHYSIQUE MARINE 2, KAPITANSKAYA ST 99011 SEVASTOPOL 00380692540452 idpop@ukrcom.sebastopol.ua
Institution de Rattachement	ACADEMIE DES SCIENCES DE RUSSIE	ACADEMIE DES SCIENCES D'UKRAINE

Equipes étrangères	GEORGIE	
Chef de projet Nom : Fonction :	M KORDZADZE AVTANDIL Professeur	
Laboratoire Nom : Adresse : Code postal : Ville : Tél. : Télécopie : Mél :	MIKHEIL NODIA INSTITUTE OF GEOPHYSICS ALEXIDZE STR. 0193 TBILISI 0099532333814 0099532335934 avtokor@ig.acnet.ge	
Institution de Rattachement	ACASEMIE DES SCIENCES DE GEORGIE	

3 - Description détaillée de l'action

Objectif scientifique et/ou technologique de la collaboration

La proposition ADOMENO vise à étudier des méthodes innovantes d'assimilation de données afin d'améliorer la prévision environnementale. L'application portera sur l'étude de la Mer Noire.

Le terme "assimilation de données" regroupe un ensemble de méthodes visant à coupler les informations contenues dans un modèle d'évolution d'un système et les observations de ce système, afin de prédire "au mieux" l'évolution réelle.

La Mer Noire est un domaine d'expérimentation idéal :

- ses dimensions modestes facilitent la manipulation de modèles,
- la circulation océanique y présente des structures d'intérêt : un courant de grande échelle et deux tourbillons cycloniques plus petits,
- elle est relativement bien observée avec différents types d'instruments.

Cette proposition concerne les quatre axes suivants :

- Assimilation des structures observées sur les images satellite.
- Assimilation de données de type Lagrangien.
- Contrôle de l'erreur modèle.
- Quantification des incertitudes.

Assimilation d'Image

Les difficultés à appréhender pour réaliser l'assimilation des images satellite sont les suivantes :

- 1) Déterminer le lien entre la physique du modèle et l'information visible sur les images.
- 2) Etablir un Modèle Image, éventuellement tridimensionnel, pour lequel l'acquisition satellite sera considérée comme une coupe ou comme une projection. Les équations de ce Modèle Image sont des « simplifications » de celles du modèle de simulation initial.
- 3) Réaliser l'assimilation des acquisitions images dans le Modèle Image afin de déterminer des pseudo-observations, qui sont ensuite assimilées dans le modèle de prévision.

Assimilation de données Lagrangiennes

Dans le cadre du programme Argo, des flotteurs profileurs dérivants sont déployés dans la Mer Noire. Leurs trajectoires, qui sont des données de type Lagrangien, sont difficiles à assimiler, car le lien entre ces observations et les variables du modèle (vitesse, température, etc) n'est pas linéaire. Les travaux habituels sur ce type de données transforment les données lagrangiennes en vitesses et assimilent celles-ci, ou ajoutent les variables de position des flotteurs dans le vecteur d'état, ou encore réécrivent le modèle en coordonnées lagrangiennes. L'assimilation variationnelle 4D-Var permet de résoudre le problème directement grâce au choix d'un opérateur d'observation adapté. L'implémentation de cette méthode, pour une configuration réaliste de la mer Noire, sera réalisée au cours du projet.

Contrôle de l'erreur modèle

Les techniques actuelles d'assimilation de données variationnelle font l'hypothèse que le modèle décrit fidèlement l'évolution du système réel. Ces dernières années, de nombreuses recherches ont été menées pour permettre la prise en compte partielle de l'erreur modèle. Au cours du projet, une nouvelle approche, dans laquelle le champ complet (3D spatial + temps) peut-être contrôlé, sera réalisée. Pour limiter le temps de calcul, la fenêtre d'observation est divisée en sous-fenêtres, et le contrôle est implémenté en parallèle sur chaque sous fenêtre.

Estimation de l'incertitude

L'incertitude est étudiée par des algorithmes numériques estimant la matrice de covariance d'erreurs du résultat à partir des matrices de covariance d'erreurs de l'observation et de l'ébauche, en s'appuyant sur le calcul du Hessien de la fonction de coût utilisée.

Le consortium est constitué de quatre instituts de recherche ayant des compétences complémentaires :

- INRIA : assimilation de données, traitement d'image, assimilation d'images.
- Institut de Mathématiques Numériques : assimilation de données variationnelle, estimation de qualité de prévision.
- MHI: océanographie opérationnelle, Mer Noire, modélisation océanographique.
- Institut de Géophysique M. Nodia : modélisation océanographique.

Liste des fichiers téléchargés par le candidat (cf.annexe)

Aucun fichier téléchargé par le candidat

Programme de travail détaillé et calendrier

Le programme de travail s'articule autour d'un ensemble de tâches principales, qui devront collaborer pour les tests applicatifs sur la prévision de la circulation de la Mer Noire :

Tâche 1: Mise en place d'une configuration commune de la Mer Noire en prenant soin du bon équilibre entre résolution (suffisante) et coût en calcul. Il faudra déterminer une période commune à étudier pour toutes les directions de recherche envisagées. Cette période devra présenter des phénomènes océaniques remarquables et suffisamment observés (observations satellites et in-situ).

Tâche 2: Détermination des types d'acquisition satellite permettant l'observation de structures méso-échelles, dont la détection et le suivi permettraient un meilleur contrôle du modèle de simulation. Etablissement des équations d'évolution à inclure dans un Modèle Image, en simplifiant le modèle de simulation initial et en conservant l'information physique sur les phénomènes visibles sur les images. Validation du Modèle Image par la synthèse d'acquisitions

satellite.

Tâche 3: Le processus d'assimilation des images doit être réalisé en deux étapes. (1) Assimilation des images satellite dans le Modèle Image pour la détermination de pseudo-observations des variables d'état du modèle de simulation océanique. (2) Assimilation des pseudo-observations. Cette tâche devra inclure les méthodologies développées dans les tâches 5 à 7 en les spécifiant pour le contexte particulier de l'acquisition satellitaire. Analyse de l'amélioration potentielle de la prédiction lors de l'utilisation de différents types d'images satellites et de différents types de structures associées à des Modèles Images différents, afin de définir quelles données et quelles structures permettent une meilleure connaissance de la circulation océanique.

Tâche 4: Etude des mesures d'incertitude obtenues lors de l'assimilation de différentes images et structures satellite. Cette tâche devra inclure les méthodologies développées en Tâche 7 en les spécifiant dans le contexte particulier de l'acquisition satellitaire.

Tâche 5: Une première phase travail à réaliser sur les données lagrangiennes est de comprendre l'impact de l'erreur de représentativité sur les trajectoires de flotteurs. Dans un premier temps, il sera nécessaire de travailler avec des données simulées par un modèle à haute résolution puis d'exprimer l'erreur de représentativité du modèle basse résolution vis-à-vis du modèle haute résolution. Une fois ce problème résolu, il faudra s'intéresser au problème de l'assimilation dans le modèle basse résolution, et modifier l'algorithme existant en fonction des résultats de l'étape précédente. Lorsque le code sera validé, des expériences de sensibilité (à la fréquence d'échantillonnage, au nombre de flotteurs, à leur profondeur de dérive) seront effectuées, afin de proposer un réseau d'observation optimal (network design).

Tâche 6 : Pour la prise en compte des erreurs modèle, la méthode d'assimilation de données variationnelle classique devra être découpée en sous-fenêtres et le calcul du gradient modifié pour prendre en compte le contrôle de l'ensemble des sous-fenêtres simultanément. Dans un premier temps, on utilisera la même approche multi-résolutions que dans la tâche 5 afin de calibrer la méthode, puis on travaillera sur les données réelles.

Tâche 7 : Pour l'ensemble des tâches précédentes, on portera une attention particulière à l'estimation des incertitudes. L'erreur d'analyse peut être estimée au moyen de la dérivation du Hessien de la fonction de coût à minimiser. Calculer le Hessien directement est particulièrement fastidieux, cependant les minimiseurs couramment utilisés fournissent une estimation raisonnable de celui-ci. On se propose également, dans ce cadre, d'étudier la sensibilité de la solution optimale aux erreurs d'observation spécifiées a priori.

Intérêt de l'action

L'amélioration de la prévision de la circulation océanique est un enjeu majeur pour la modélisation des changements climatiques. Ce projet y contribuera tant par la définition de nouvelles méthodes d'assimilation de données, que par la capacité à assimiler de nouveaux types de données telles que les images satellite et les données lagrangiennes.

Mieux comprendre et mieux simuler les processus dynamiques de méso-échelle de l'océan est une condition nécessaire pour que les modèles puissent être utilisés pour une prévision opérationnelle des circulations océaniques dans les domaines hauturiers et côtiers.

A plus long terme, l'analyse des caractéristiques physiques optimales devant être observées sur les images pourrait être utilisée lors de la conception des systèmes spatiaux d'observation de l'océan.

La nécessité d'utiliser des données satellites dans le contexte environnemental a donné lieu à de nombreuses initiatives internationales. Ainsi :

-le projet européen MERSEA (<http://www.mersea.eu.org>) s'intéresse à la modélisation physique et biochimique de l'océan et aux techniques d'assimilation séquentielle ; il s'appuie sur l'utilisation conjointe de mesures satellite et in situ pour améliorer les systèmes de prévision de l'état de l'océan. Etudier, dans cette proposition ECONET, l'apport des structures images et des données lagrangiennes est donc particulièrement innovant et intéressant pour les partenaires de MERSEA.

-Le projet Drakkar (<http://www.ifremer.fr/lpo/drakkar/>) a pour objectif l'étude de la circulation océanique dans l'océan Atlantique Nord et les mers nordiques, et de la variabilité intervenue dans ces régions lors des 50 dernières années. Ce projet vise à améliorer le paramétrage numérique et physique et étudier la sensibilité des champs de forçage et des conditions aux limites. Le forçage pourrait être amélioré par l'utilisation des structures satellite telle que proposée dans ADOMENO.

-Les projets Diadem (<http://diadem.nersc.no>) puis Topaz (<http://topaz.nersc.no>) ont permis de développer un système opérationnel d'assimilation de données dans un modèle couplé de prévision de la circulation océanique et de l'écosystème marin pour l'Atlantique Nord et les côtes européennes. Ce système s'appuie sur l'utilisation de mesures satellite telles que température de surface, altimétrie et couleur de l'océan, sans toutefois étudier l'apport des structures méso-échelles, visibles sur ces données.

-L'expérience internationale GODAE, Global Ocean Data Assimilation (<http://www.godae.org>), est une démonstration quasi-temps-réel de l'utilisation de l'assimilation de données permettant une description de l'océan à l'échelle globale en utilisant des observations spatiales, des mesures in situ et des modèles de prévision. A nouveau, les informations lagrangiennes et structurées ne sont pas utilisées, contrairement à cette proposition ADOMENO.

Parallèlement à cela, l'océanographie opérationnelle se développe, notamment au niveau européen avec le MCS (Marine Core Service <http://www.gmes.info/175.0.html>), composante océanique du GMES (Global Monitoring for Environment and Security) et son projet de recherche associé MyOcean. Ce dernier comporte même un volet sur la mise en place d'un système de prévision océanique pour la mer Noire. Les méthodes qu'on se propose d'étudier dans le cadre du projet ADOMENO sont plus expérimentales que celles envisagées dans le cadre de MyOcean, mais pourront à terme être proposées dans ce contexte.

Avantages de l'action pour le laboratoire français

Le partenaire français de cette proposition est l'INRIA (Institut National de Recherche en Informatique et Automatique) au moyen de deux équipes-projets : CLIME et MOISE.

CLIME est une équipe-projet commune INRIA-ENPC (Ecole Nationale des Ponts et Chaussées), représenté par le

laboratoire CERE (Centre d'Enseignement et de Recherche en Environnement Atmosphérique, laboratoire commun Ecole des Ponts - EDF R&D). CLIME s'intéresse aux applications environnementales avec deux directions de recherches principales : (1) l'assimilation de données, et la modélisation inverse et (2) le traitement des images satellites par assimilation de données. Plus précisément, la première direction s'intéresse à : l'optimisation de réseaux de mesures, aux méthodes permettant de quantifier et de mesurer la qualité de prévisions, et d'optimiser le choix des modèles de prédiction et leur paramétrisation. La seconde direction correspond à l'utilisation optimale des images satellite, à l'étude de la dynamique dans les séquences d'images et à sa description par des Modèles Images, et enfin à l'assimilation d'information issues des images dans les modèles de prévision.

MOISE est une équipe-projet commune INRIA-Université Joseph Fourier de Grenoble, représenté par le laboratoire de mathématiques appliquées Jean Kuntzmann. MOISE s'intéresse au développement de méthodologies pour l'assimilation de données. Plus précisément, ses thèmes de recherche sont la réalisation de système de prévision pour les phénomènes géophysiques, l'utilisation et le traitement de données hétérogènes et la quantification des incertitudes de prévision.

La collaboration de l'INRIA avec les autres partenaires du consortium permettra d'obtenir les connaissances et compétences nécessaires en océanographie et en assimilation de données opérationnelles :

-L' IMN (Institut de Mathématiques Numériques), dont les compétences en assimilation de données variationnelle sont internationalement reconnues, apporte une expertise forte dans les méthodes théorique d'estimation de la qualité des prévisions, ce qui est fondamental pour réaliser une mesure d'incertitude.

-Les partenaires ukrainiens du MHI apportent des compétences approfondies en modélisation océanographique, avec une grande expertise sur la Mer Noire, pour laquelle ils ont développés plusieurs modèles numériques de simulation. Le MHI mettra à disposition de l'INRIA les données provenant de campagnes de mesures in situ et les images acquises par la station de réception satellite dont ils disposent. Enfin, les modèles de simulation de la Mer Noire, développés au MHI, seront utilisés pour la réalisation des Tâches du projet ADOMENO.

-Le partenaire Géorgien représenté par l'institut de Géophysique M. Nodia est spécialisé en modélisation mathématique appliqué à l'océanographie. Il dispose également d'un modèle de simulation de la Mer Noire et développe actuellement un modèle de transfert-diffusion de polluant adapté à la même zone. Ces modèles seront utilisés pour la réalisation des travaux du projet

La possibilité de pouvoir utiliser plusieurs modèles de simulation de la Mer Noire va permettre de comparer ces modèles. Il sera alors possible de choisir le modèle le plus adapté pour chacune des Tâches de cette proposition ECONET. C'est-à-dire de définir : quel modèle ou quel type de modèle est plus adapté pour réaliser l'assimilation de données lagrangiennes ou l'assimilation d'informations issues des images, quel modèle est le mieux capable de permettre de contrôler les erreurs modèle, quel modèle permet d'obtenir les incertitudes de prévision les plus faibles ?

Avantages de l'action pour les laboratoires étrangers

L'IMN (Institut de Mathématiques Numériques) de l'Académie Russe des Sciences possède des compétences reconnues en assimilation de données variationnelle. En particulier, il est spécialisé dans l'estimation de la qualité de la prévision. Une collaboration forte existe, depuis longtemps, avec les chercheurs de l'équipe MOISE du partenaire français. Un travail commun a permis la définition de ce qui constitue les fondements des méthodes d'assimilation variationnelle. L'un des avantages du projet ADOMENO pour l'IMN est de pouvoir bénéficier du savoir-faire qui a été acquis par les équipes françaises au sujet de la quantification des incertitudes de prévision. En effet, il s'agit d'un thème de recherche fortement présent dans les deux équipes-projets CLIME et MOISE. En particulier, CLIME est une équipe-projet commune avec le CERE (Centre d'Enseignement et de Recherche en Environnement Atmosphérique), connu pour ses compétences sur ce sujet dans le domaine atmosphérique, compétences qui pourront être transférées pour l'application océanique. Un autre apport de ce projet ECONET pour l'IMN est de proposer une application pratique à la Mer Noire, grâce aux apports des partenaires géorgien et ukrainien.

Le MHI (Marine Hydrophysical Institut ou Institut d'Hydrophysique Marine) de l'Académie Ukrainienne des Sciences est spécialisé en océanographie opérationnelle. Ses chercheurs possèdent à la fois une expertise en modélisation océanographique (en particulier de la Mer Noire) et des compétences en assimilation de données opérationnelle. Pour cet institut, les avantages issus de cette collaboration seront de pouvoir bénéficier de l'expertise des partenaires français et russe dans le domaine de l'assimilation variationnelle et du traitement des images. Il aura accès à l'ensemble des méthodologies développées dans ce projet : techniques d'assimilation pour des données de haut niveau (lagrangiennes et images), méthodes avancées d'assimilation prenant en compte le contrôle de l'erreur modèle, estimation de l'incertitude des prédictions. Le MHI pourra in fine bénéficier d'un prototype, spécifiquement adapté à la Mer Noire, permettant d'assimiler l'ensemble des données disponibles au sein de cet institut (mesures réalisées lors de campagne d'observation, trajectoires issues de bouées dérivantes et informations contenues dans les images de l'océan) afin de proposer de meilleurs simulations et prévisions de l'état de la Mer Noire et d'en quantifier la qualité.

L'institut de Géophysique M. Nodia de l'Académie Géorgienne des Sciences est spécialisé dans la modélisation mathématique appliquée à l'océanographie. Cet institut collabore de longue date avec le MHI. Ces deux instituts ont des intérêts communs en ce qui concerne la modélisation de la Mer Noire. L'institut Nodia dispose également d'un modèle de simulation de la Mer Noire, ce qui permettra la comparaison théorique et applicative des différents modèles disponibles. Il s'intéresse à l'utilisation de l'assimilation variationnelle de données dans ce modèle pour le suivi de substances polluantes. Outre une collaboration fructueuse avec le partenaire ukrainien, les avantages de ce projet pour cet institut est de pouvoir bénéficier de l'expertise des partenaires français et russe dans le domaine de l'assimilation des images. Grâce aux techniques d'assimilation avancées développées dans ADOMENO, il pourra améliorer son modèle de simulation en assimilant des informations issues des images (vitesse de circulation de surface, position d'un polluant, trajectoire d'un polluant) pour identifier, par modélisation inverse, la source de pollution et quantifier la qualité des résultats obtenus.

4 - Moyens disponibles

Equipements disponibles pour la réalisation de l'action

France :

Outre les moyens de calcul et de stockage traditionnels disponibles à l'INRIA, ce projet pourra s'appuyer sur le cluster de calcul disponible sur le Centre de Recherche INRIA Paris-Rocquencourt. Ce cluster est une pile de PC composée de 18 unités centrales bi-processeurs. L'INRIA dispose de différents logiciels :

-Traitement d'image, dont le logiciel libre de manipulation et visualisation d'images INRIMAGE et le logiciel d'analyse d'images de télédétection ENVI.

-Systèmes d'Information Géographique (SIG) tel que le logiciel ARCGIS.

-Logiciels d'assimilation de données.

-Différenciation automatique (dont le logiciel TAPENADE développé à l'INRIA) qui peut être utilisé dans le cadre de l'assimilation variationnelle pour le calcul du modèle adjoint.

-Bibliothèques de minimisation, dont l'environnement Libopt et la collection de logiciels Modulopt. Cette collection contient les routines N1CV2, N1CG1 et M1QN3 utilisées de manière opérationnelle par les météorologues prévisionnistes.

L'INRIA, grâce à son implication dans le projet ADDISA, travaille en collaboration avec les chercheurs de la plateforme Coriolis appartenant au LEGI (Laboratoire des Ecoulements Géophysiques Industriels). Grâce à cette collaboration l'INRIA, sera en mesure de fournir, à ses partenaires du consortium ADOMENO, des données réalistes réalisées sur la plateforme Coriolis. Ces données permettront de valider les méthodes développées au sein de ce projet ECONET en les appliquant à des expériences de laboratoire parfaitement contrôlées.

Grâce à sa double tutelle l'équipe-projet INRIA MOISE peut également bénéficier de l'infrastructure de calcul mise à disposition par l'Université Joseph Fourier de Grenoble. Dans ce cadre le laboratoire de modélisation et de calcul met à disposition des partenaires du consortium ADOMENO la plateforme MIRAGE, dotée d'un serveur quadri-processeurs et de deux calculateurs parallèles de 16 microprocesseurs chacun.

Pays partenaires :

Russie

L'IMN (Institut de Mathématiques Numériques) dispose d'un cluster de calcul composé de 16 machines bi-processeurs. Les logiciels utilisés sont les bibliothèques d'algèbre linéaire : BLAS, LAPACK et SCALAPACK. L'IMN a développé un modèle numérique de simulation de l'hydro-thermodynamique de l'océan global et dispose de l'adjoint de ce modèle pour quelques configurations océaniques (Océan Indien et Mer d'Okhotsk).

Ukraine

L'Institut d'Hydrophysique Marine de l'Académie des Sciences d'Ukraine dispose d'une station de réception NOAA, qui constitue une source de données satellite privilégiée pour ce projet. Il met également à disposition un modèle de simulation Shallow-Water pour la Mer Noire basée sur une représentation 2,5D de l'océan. Ce modèle est utilisable pour faire de la prévision, en assimilant des données altimétriques par une approche séquentielle.

La participation des partenaires Ukrainien et Géorgien au projet Black Sea SCENE permet aux scientifiques du consortium de cette proposition ECONET de bénéficier de l'infrastructure logicielle développée pour Black Sea SCENE. En effet, ce projet européen développe et met à disposition, un portail virtuel pour l'accès aux données et métadonnées de la Mer Noire détenues par les 35 organismes participant à Black Sea SCENE.

Géorgie

L'Institut de Géophysique M. Nodia dispose :

-d'un modèle baroclinique de la prévision de la dynamique de la Mer Noire, basé sur les équations de l'hydrothermodynamique de l'océan ;

-d'un modèle de transfert-diffusion de polluants permettant d'identifier, par modélisation inverse, la source de pollutions dans la Mer Noire ;

-de nombreux ensembles de données d'observation de la Mer Noire, régulièrement partagés avec les centres de données mondiaux.

Publications significatives en rapport avec le projet (5 maximum)

France :

1.E. Huot, T. Isambert, I. Herlin, J.-P Berroir, and G. Korotaev. Data Assimilation of Satellite Images within an Oceanographic Circulation Model. In Proceedings of ICASSP (International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing), Toulouse, France, May, 14-19 2006.

2.V. Mallet and B. Sportisse. Uncertainty in chemistry-transport models due to physical parameterizations and numerical approximations: an ensemble approach. In Journal of Geophysical Research, 2006.

3.F.-X. Le Dimet, V. Shutyaev. On Deterministic Error Analysis in Data Assimilation, In Nonlinear Processes in Geophysics, 2005, vol. 12, p. 481-490.

4.A. Vidard, D. L. T. Anderson, and M. Balmaseda, Impact of Ocean Observation Systems on Ocean Analysis and Seasonal Forecasts, In Monthly Weather Review, 2006. DOI: 10.1175/MWR3310.1.

5.M. Nodet. Variational assimilation of Lagrangian data in oceanography, In Inverse Problems, 2006, vol. 22, p. 245-263.

Pays partenaires :

1. F.-X. Le Dimet, V. Shutyaev. On deterministic error analysis in variational data assimilation. In *Nonlinear Processes in Geophysics*, 12, 481-490, 2005.
2. G. Korotaev, E. Huot, F.-X. Le Dimet, I. Herlin, S.V. Stanichny, D.M. Solovyev, L. Wu. Retrieving Ocean Surface Current by 4-D Variational Assimilation of Sea Surface Temperature Images. In *Special Issue on Data Assimilation of the journal Remote Sensing of Environment*, à paraître.
3. G. Korotaev, O. Saenko, C. Koblinsky, S. Demyshev, V. Knysh. An accuracy estimation, methodology and Some results of assimilation of the TOPEX/POSEIDON altimeter data into the Black Sea general circulation model. In *Journal Earth Research Space*, N 5, (en russe), 1998.
4. A. Kiknadze, A. Kordzadze, D. Demetrshvili, A. Surmava, G. Kacharava. Simulation of diffusion and sedimentation of the Rioni river alluvium in the Georgian Black Sea coast (water area of Poti city). In *Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences*. vol. 173, N 3, 2006, pp. 504-506.
5. A. Kordzadze, D. Demetrashvili, A. Surmava A. Numerical modeling of hydrophysical fields in the Black Sea in conditions of alternation of atmospheric circulation processes, In *Atmospheric and Oceanic Physics*, N 1, 2008 (à paraître, en russe).

Rappel du contexte de la coopération et des relations existantes

Cinq équipes, appartenant à quatre laboratoires, font partie du consortium de partenaires de cette proposition ECONET : ADOMENO.

Les deux équipes de recherche appartenant au laboratoire français sont les Equipes-Projets INRIA (EPI) CLIME et MOISE. Ces deux équipes collaborent intensivement sur leurs problématiques scientifiques communes : méthodes avancées d'assimilation de données (méthodes stochastiques, prévision d'ensemble), assimilation de structures images. Depuis le début de l'année 2007, CLIME et MOISE participent au projet ADDISA (Assimilation de Données Distribuées et Images Satellite : <http://addisa.gforge.inria.fr/>) du programme de recherche "Masse de données et Connaissances Ambiantes" financé par l'ANR (Agence Nationale de la Recherche). Les travaux réalisés dans le cadre d'ADDISA pourront être partiellement utilisés pour ce projet ECONET. De plus, le Professeur Korotaev, de l'institut d'Hydrophysique Marine de l'Académie des Sciences d'Ukraine, intervient comme consultant auprès des partenaires du consortium ADDISA. Les chercheurs de CLIME et MOISE avaient auparavant collaboré, dans le cadre de l'ACI (Action Concertée Incitative) ASSIMAGE (ASSimilation de données IMAGES : <http://www-rocq.inria.fr/clime/assimage>), afin de définir les difficultés théorique de l'assimilation de données structurées.

Par ailleurs, François-Xavier Le Dimet, chercheur dans l'équipe-projet MOISE et anciennement responsable scientifique du projet INRIA IDOPT a coordonné, sur la période 2005-2007, un projet ECONET, appelé ADIMO. L'Institut de Mathématiques Numériques (Russie), l'Institut d'Hydrophysique Marine (Ukraine) étaient également partenaires d'ADIMO. ADIMO concernait l'assimilation de données images issues de la télédétection spatiale pour la prévision de la circulation océanographique. ADOMENO a donc défini des objectifs plus ambitieux, dans un consortium plus large, en utilisant les acquis théoriques obtenus grâce à ADIMO.

Le MHI et l'Institut de Géophysique M. Nodia de l'Académie des Sciences de Géorgie sont partenaires du projet Black Sea SCENE (<http://www.blackseascene.net>) supporté par l'Union Européenne dans le cadre du 6th Framework program RICA (Research Infrastructures Coordination Action). L'un des objectifs de ce projet est de déterminer la qualité des données disponibles sur le site de la Mer Noire. Lier le projet ADOMENO au projet Black Sea SCENE permettra donc de disposer de l'ensemble des bases de données disponibles auprès des instituts partenaires en Bulgarie, Géorgie, Roumanie, Russie, Turquie et Ukraine. C'est donc une opportunité exceptionnelle de réaliser des tests et des validations des méthodes développées.

Formation par la recherche en France et à l'étranger

Deux thèses sont en cours sur des sujets proches de la proposition ECONET à l'INRIA :

-Innocent Souppgui (codirigé par A. Vidard et F.-X. Le Dimet) et Emilie Neveu (codirigée par L. Debreu et F.-X. Le Dimet) travaillent sur l'assimilation d'informations images dans un modèle de simulation du comportement d'un fluide. Ces travaux s'effectuent en utilisant une plateforme expérimentale, simulant la force de Coriolis (le projet ADOMENO aura libre accès aux simulations effectuées sur la plateforme Coriolis située à Grenoble : <http://www.coriolis-legi.org>).

Un contrat postdoctoral s'effectue dans le cadre du projet ADDISA (Assimilation de Données Distribuées et Images Satellite) :

-Olivier Titaud travaille sur l'assimilation directe d'images dans un modèle de circulation océanographique simplifié (modèle shallow-water bidimensionnel).

De plus, deux stagiaires seront accueillis pour une durée de 6 mois au sein des équipes françaises sur les budgets propres des EPI INRIA :

-Assimilation variationnelle de pseudo-observations de vitesses dans un modèle shallow-water de la Mer Noire.

-Estimation de vitesses apparentes dans une séquence d'images par assimilation de données variationnelle dans un Modèle Image prenant en compte la physique du phénomène observé. Application à la plateforme Coriolis.

A l'étranger :

Les étudiants russes, ukrainiens et géorgiens, qui travailleront dans le cadre de ce projet, seront accueillis simultanément pour un séjour d'un mois à l'INRIA. Lors de leur visite, des présentations scientifiques et des formations seront organisées afin qu'ils puissent utiliser, dans leur laboratoires d'origine, les logiciels disponibles dans les EPI INRIA partenaires.

Résultats attendus

Cinq niveaux de résultats méthodologiques et applicatifs sont escomptés :

1. La proposition doit permettre de définir des méthodes d'assimilation pour des données dites de haut-niveau, telles que les trajectoires lagrangiennes de points, les structures observées dans les images satellites, le suivi temporel de ces structures sur la séquence d'images.

2. Une méthode avancée d'assimilation de données, permettant le contrôle de l'erreur modèle, sera définie pour laquelle le champ complet (3D spatial + temps) devra être contrôlé.

3. Une méthode d'estimation systématique des incertitudes sera proposée et permettra de quantifier la qualité des prévisions.

4. Une implémentation parallèle sera proposée pour implémenter les méthodes de contrôle d'erreurs de manière opérationnelle.

5. Un prototype spécifiquement adapté à la Mer Noire sera développé afin d'implémenter les quatre points précédents. Il permettra d'assimiler l'ensemble des données disponibles (mesures réalisées in situ, trajectoires lagrangiennes et informations contenues dans les images de l'océan) afin de proposer de meilleures simulations et prévisions de l'état de la Mer Noire et d'en quantifier la qualité.

Diffusion de résultats

Les résultats obtenus dans le cadre de ce projet feront, comme classiquement, l'objet de publications dans des revues internationales et de présentations dans les conférences des domaines suivants : assimilation de données, océanographie, traitement d'image et télédétection.

Un site internet permettant la dissémination des résultats sera créé. Ce site permettra également d'informer sur les événements organisés par le consortium : colloques, écoles d'été.

L'implication du partenaire français dans le projet ADDISA (Assimilation de Données Distribuées et Images Satellite) permettra de diffuser les travaux issus du projet ADOMENO sur le site internet d'ADDISA et ainsi d'informer les partenaires d'ADDISA et la communauté scientifique de l'Agence Nationale de la Recherche des avancées méthodologiques réalisées.

De même, l'implication des partenaires ukrainiens et géorgiens dans le projet européen Black Sea SCENE permettra un transfert des méthodologies développées et une dissémination des résultats auprès des 33 autres partenaires du consortium. Les moyens de diffusion mis en place dans le cadre de Black Sea SCENE (site internet, liste de diffusion) seront utilisés pour informer les scientifiques intéressés des résultats obtenus dans le cadre de ce projet ECONET. Les travaux d'ADOMENO seront présentés (posters et présentation orale) au workshop organisé en novembre 2008 dans le cadre de Black Sea SCENE.

L'INRIA étant un des partenaires du réseau européen ERCIM (European Research Consortium for Informatics and Mathematics) les résultats du projet pourront être publiés dans la revue trimestrielle ERCIM-News, diffusée à plus de 10000 exemplaires à travers le monde, afin de disposer d'un plus large public pour diffuser la démarche et les résultats du projet.

D'autre part, la participation aux événements organisés par les réseaux européens et internationaux, tels que les écoles d'été du projet MERSEA ou les colloques organisés dans le cadre de l'expérience GODAE, permettra une présentation de ce travail à la communauté scientifique intéressée.

Perspectives européennes

Le partenaire français doit soumettre en 2008, un projet européen FET-Open sur la modélisation des précurseurs en météorologie et en océanographie à partir des modèles conceptuels définis par les spécialistes. Ce projet FET-Open, s'il est accepté, permettra d'établir un réseau européen de spécialistes en océanographie et météorologie. Ce sera une opportunité pour permettre une meilleure étude du couplage des informations visibles sur les images, et représentées par les modèles conceptuels, avec les modèles de prévision environnementale.

Autres perspectives internationales

Non applicable.

Perspectives industrielles actuelles ou attendues

Le partenaire français collabore étroitement, sur les thèmes présentés, avec la Florida State University. Cette collaboration sera mise à profit dans le cadre de ce projet pour un meilleur transfert de connaissances et une diffusion plus large des résultats.

6 – Récapitulatif des moyens demandés pour la réalisation du projet en 2008

FRANCE

Missions à l'étranger :		
Bénéficiaires	Détails	
Mme Herlin Isabelle	7 jours, 1 voyage	
M Le Dimet François-Xavier	7 jours, 1 voyage	
M Huot Etienne	7 jours, 1 voyage	
M Vidard Arthur	7 jours, 1 voyage	
Invitations en France :		
Bénéficiaires	Détails	
M SHUTYAEV Victor	28 jours, 1 voyage	
M KOROTAEV Gennady	28 jours, 1 voyage	
M KORDZADZE Avtandil	28 jours, 1 voyage	
Invitations entre pays partenaires :		
Bénéficiaires	Détails	
M SHUTYAEV Victor	7 jours, 1 voyage	
M KOROTAEV Gennady	7 jours, 1 voyage	
M KORDZADZE Avtandil	7 jours, 1 voyage	
M KOROTAEV Gennady	7 jours, 1 voyage	
Stages en France :		
Bénéficiaires	Détails	
Organisation de réunions, séminaires, ateliers, écoles d'été :		
Description des dépenses		
Montant	0,00 €	
Récapitulatif des moyens français :		
Missions à l'étranger :	4 personnes, 28 jours, 4 voyages	6 380,00 €
Invitations en France :	3 personnes, 84 jours, 3 voyages	11 740,00 €
Invitations entre pays partenaires :	4 personnes, 28 jours, 4 voyages	7 080,00 €
Stages en France :	0 personne, 0 jour, 0 voyage	0,00 €
Organisation de réunions, séminaires, ateliers, écoles d'été :		0,00 €
	TOTAL	25 200,00 €
Cofinancements apportés à l'action en 2008 :		
Agence Nationale de la Recherche		80 000,00 €
Le cofinancement correspond au budget attribué au projet ADDISA, programme de recherche "Masse de données et Connaissances Ambiantes" financé par l'Agence Nationale de la Recherche. Le projet ADDISA est coordonné par l'INRIA.		
	TOTAL	80 000,00 €