



Département Informatique et Mathématiques Appliquées  
Rapport de stage 1A

## **Modélisation et prise en compte des corrélations d'erreur d'observation IASI**

17 juin - 09 août 2013

Sous l'encadrement de M.Guidard et Mme.Fourrié

Numéro d'étudiant : 20121014

Nom : SOURISSEAU

Prénom : Adrien

Type de stage : conventionné

Justificatif présenté au service des stages : Convention de stage



# 1 Présentation du Centre National de Recherche Météorologiques

Le CNRM<sup>1</sup> coordonne les activités de recherche au sein de Météo-France. Il s'est associé au CNRS<sup>2</sup> pour former l'unité mixte de recherche GAME<sup>3</sup>. Il regroupe toutes les activités des sites toulousains et grenoblois du CNRM. Le Centre de Toulouse, situé à la Météopole, est constitué de plusieurs services qui contribuent à classer le CNRM parmi les leader mondiaux de la recherche météorologique. Les axes de recherches comprennent entre autres l'étude de l'atmosphère et de ses interfaces (sol, végétation) et le développement des modèles de modélisation et de la simulation de l'atmosphère. Il s'agit d'étudier l'évolution du climat, effectuer des prévisions météorologiques et de prévenir des dangers potentiels. En conséquence, le CNRM se divise en huit unités de recherche. Le site toulousain représente 80 % de la recherche du CNRM répartie à travers différents services qui se focalisent sur l'étude du climat et du changement climatique, le cycle de l'eau, l'étude des échanges océan-atmosphères, la physico-chimie atmosphérique et météorologie urbaine, l'assimilation et la modélisation pour la prévision numérique du temps, les développements instrumentaux et la micro-structure du manteau neigeux.

J'ai effectué mon stage au sein du Groupe de Modélisation et d'Assimilation pour la Prévision (GMAP). Ce service est en charge de la recherche et du développement des modèles numériques opérationnels servant à la prévision météorologique. Cela prend en compte à la fois la dynamique, les paramètres physiques et l'assimilation de données. Le GMAP a développé trois modèles opérationnels en collaboration avec des partenaires européens qui servent à la prévision météorologique : le modèle global ARPEGE<sup>4</sup> hydrostatique, le modèle fine échelle AROME<sup>5</sup> non hydrostatique, à une résolution de 2,5 km et couvre en particulier la France, il permet l'étude des orages, des brouillards et des phénomènes de convection ; le modèle ALADIN<sup>6</sup> hydrostatique est également un modèle à aire limitée, dont une version tourne sur chacun des domaines couvrant La Réunion, La Nouvelle Calédonie, Les Antilles et La Guyanne et la Polynésie française. Les données combinées de ces trois modèles permettent aux prévisionnistes d'émettre les alertes nécessaires sur certaines régions du pays ainsi que d'effectuer les bulletins météorologiques. De nombreuses applications tournent en aval de ces modèles.

---

1. Centre National de Recherches Météorologiques
2. Centre National de Recherches Scientifiques
3. Groupe de'Etude de l'Atmosphère Météorologique
4. Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle
5. Application de la Recherche à l'Opérationnel à Mésoéchelle
6. Aire Limitée Adaptation Dynamique Développement International

## 2 Travail effectué durant le stage

Ce stage porte sur la caractérisation des covariances inter-canaux des erreurs d'observation pour l'instrument IASI<sup>1</sup>. IASI est un sondeur satellitaire infrarouge à haute résolution spectrale développé par le CNES<sup>2</sup> en association avec EUMETSAT<sup>3</sup> pour répondre aux besoins de la météorologie opérationnelle. Ce sondeur est embarqué sur deux satellites d'observations Européens (MetopA et MetopB). Plus exactement, IASI est un interféromètre de Michelson qui permet de sonder les 20 premiers kilomètres de l'atmosphère. Le rayonnement infrarouge émis par l'atmosphère sera ici décomposé en plus de 8400 longueurs d'ondes ou canaux spectraux ce qui lui permet d'apporter de l'information sur les profils verticaux de température et de taux d'humidité dans l'atmosphère et sur la composition atmosphérique.

### 2.1 Contexte Général

Il est nécessaire pour avoir une prévision météorologique fiable d'avoir un état de l'atmosphère aussi fidèle que possible de la réalité appelé analyse. L'assimilation de données permet de prendre en compte plusieurs sources d'information afin d'obtenir cette analyse. Les sources d'information utilisées sont d'une part des observations de nombreux types et d'autre part une prévision du modèle venant de la précédente analyse, appelée ébauche. Parmi les hypothèses faites dans l'assimilation de données, les erreurs des sources d'information doivent avoir des covariances connues. Il s'agit des matrices  $B$  et  $R$  pour les covariances d'erreurs d'ébauche et d'observation respectivement. Pour le moment, on considère que les erreurs d'observation pour les différents canaux de IASI ne sont pas corrélées entre elles. La matrice  $R$  correspondante est donc pour le moment diagonale et ses coefficients ont été établis de manière empirique. Nous nous intéresserons donc dans un premier temps à estimer les éléments diagonaux de la matrice  $R$  pour ensuite évaluer la corrélation des erreurs d'observation inter-canaux. Le but ultime étant d'intégrer ces valeurs numériques sur la chaîne opérationnelle.

### 2.2 Ecart type des erreurs d'observations IASI

Le calcul de la matrice de covariance des erreurs intercanaux suit la méthode établie dans l'article de Desroziers et al. (2005). Cette formule permet de calculer la matrice  $R$  à partir des données issues d'assimilations. La méthode de Desroziers est donc une méthode d'estimation a posteriori. Pour cela, on suppose que le vecteur des erreurs d'observation est gaussien. Cette méthode permet de déterminer la matrice  $R$  sans avoir besoin de l'état réel de l'atmosphère mais simplement à partir des observations, de l'ébauche et de l'analyse.

Le calcul de la matrice  $R$  a été effectué sur une assimilation issue de la chaîne opérationnelle, du modèle global ARPEGE. Les premiers écarts types d'erreurs d'observation obtenus sur l'ensemble des données assimilées montrent une différence notable en comparaison des actuels coefficients diagonaux de la matrice  $R$ . Plus tard, nous comparerons les éléments diagonaux de  $R$  à ceux obtenus sur une assimilation

---

1. Interféromètre Atmosphérique de Sondage Infrarouge  
2. Centre National d'Etudes Spatiales  
3. European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites

non cyclée et une assimilation cyclée. Une assimilation non cyclée ne prend pas en compte les résultats de l'analyse précédente pour le cycle d'assimilation suivant. A contrario, une assimilation cyclée prend en compte les résultats issus de chaque cycle d'assimilation.

Cette comparaison a pour but d'analyser l'impact des écarts types calculés lorsque ceux-ci sont implantés dans le modèle de prévision opérationnel. On vérifie en particulier la bonne convergence du modèle.

Différentes réunions avec mon tuteur de stage ont permis de porter notre attention dans un second temps sur la qualification des écarts types d'erreurs d'observations selon différents paramètres pour les deux satellites et en séparant les données sur mer et sur terre. Nous avons alors sélectionné une partie des canaux assimilés situés à différents niveaux de l'atmosphère. Ainsi, il s'avère qu'il n'y a pas de variation notable de l'écart type en fonction de l'angle de visée pour les deux satellites que ce soit sur terre ou sur mer. Les résultats montrent des écarts types d'erreurs d'observation plus faible pour MetopB que pour MetopA en raison de leurs dates de mise en service (2012 pour MetopB et 2006 pour MetopA), cependant il n'y a pas de différence flagrante entre les deux satellites.

Nous avons alors poursuivi notre étude en se focalisant uniquement sur MetopA. L'instrument IASI dispose de canaux sensibles à différentes variables et à différentes altitudes. Les canaux sélectionnés permettent de séparer l'atmosphère en différents niveaux et d'avoir un regard sur la vapeur d'eau et sur la température séparément. Par la suite, nous avons pu également apprécier la variabilité de l'écart type en fonction de la localisation sur le globe à l'égard de certains canaux en traçant des cartes afin de visualiser la variation géographique.

## 2.3 Corrélation Inter-canaux des erreurs d'observation IASI

Nous avons travaillé jusqu'à présent uniquement sur les éléments diagonaux de la matrice  $R$ . A ce stade du stage, il devient intéressant d'étudier les corrélations d'erreurs d'observation inter-canaux. En effet, il est important de prendre en compte ces corrélations dans l'assimilation. Le calcul de la matrice de covariance complète des erreurs d'observation permet de dégager les canaux qui sont corrélés entre eux de manière plus ou moins flagrante. Nous en avons déduit la matrice de corrélation, utilisée pour sélectionner les listes de canaux corrélés entre eux en ayant définis un seuil de corrélation au préalable. Il en ressort notamment que les canaux de la vapeur d'eau sont fortement corrélés.

Ensuite, dans le souci de mieux comprendre la matrice  $R$  diagnostiquée, nous l'avons diagonalisée. L'obtention des vecteurs propres, avec leur valeur propre associée, permet de déterminer les combinaisons linéaires des canaux qui ont des erreurs d'observation non corrélées. Par ailleurs, il est nécessaire d'assurer une stabilité de la matrice  $R$  complète pour une éventuelle implantation sur le modèle opérationnel. En conséquence nous avons utilisé une méthode de reconditionnement de la matrice avec un nombre de conditionnement préconisé. Cette méthode permet de définir une valeur d'incrémentement commune pour toutes les valeurs propres. Une fois la matrice reconditionnée, nous avons reconstruit la matrice de  $R$  et évalué sa matrice de corrélation. La matrice  $R$  reconstruite présente alors l'avantage d'avoir des corrélations plus faibles. Cela permet, en outre, de conserver une structure diagonale afin de favoriser l'inversion matricielle.

### 3 Conclusion du stage

J'ai été très bien accueilli par l'ensemble des équipes du GMAP. Je tiens d'ailleurs à remercier Mme.Fourrié et M.Guidard pour leur disponibilité et leur encadrement pendant mon stage.

Le GMAP est un service très convivial composé de postes permanents mais il incorpore également dans ses effectifs des doctorants, post-doctorants et stagiaires. J'ai été bien accompagné et encadré tout au long de mon stage afin de m'adapter à l'environnement de la météo. Ce stage a été l'occasion de mettre à profit l'ensemble de mes connaissances acquises au cours de cette première année, en contribuant à un axe de recherche intéressant et dans un domaine qui m'était auparavant inconnu. J'ai pu en particulier apprendre à me servir de logiciels spécifiques utiles pour le traitement de données météorologiques et de poursuivre mon expérience dans des langages de programmation déjà vus cette année. De plus, mes travaux vont servir de base à une future version de l'assimilation de IASI dans les chaînes opérationnelles à Météo-France.