

---

ASSIMILATION DE DONNÉES  
POUR L'ESTIMATION DE STRUCTURES 2D ET 3D  
DANS DES SÉQUENCES D'IMAGES

Thèse de mathématiques appliquées aux géosciences – Grenoble, France

---

## Directeurs de thèse

Arthur Vidard, [arthur.vidard@imag.fr](mailto:arthur.vidard@imag.fr)

Maëlle Nodet, [maelle.nodet@inria.fr](mailto:maelle.nodet@inria.fr)

INRIA, LJK (Laboratoire Jean Kuntzmann)

Equipe MOISE de l'INRIA

51 rue des Mathématiques, Campus Universitaire de Saint Martin d'Hères, Grenoble

<http://www-ljk.imag.fr/MOISE>

Ecole doctorale :

Mathématiques et informatique (Université Joseph Fourier Grenoble I)

<http://edmstii.ujf-grenoble.fr>

Cette thèse est financée par l'ANR Geo-FLUIDS.

## Contexte géophysique

Dans les années à venir, un nombre croissant de missions d'observation de la terre viendront compléter les systèmes d'observations déjà en place, et concourront ainsi à fournir un nombre record de mesures de l'océan et de l'atmosphère. Par conséquent, il est crucial d'accélérer le développement de stratégies de traitement robustes et adaptées de ces données, grâce à des méthodes d'assimilation de données sophistiquées, afin d'utiliser au mieux ces nouvelles possibilités d'observation.

Les écoulements dynamiques et non-linéaires abondent dans la nature. Dans les sciences de l'environnement, comme l'océanographie et la météorologie, les écoulements contrôlent le transport d'énergie et de matière dans l'atmosphère, l'océan et sur terre. La dynamique de ces écoulements est régie par des interactions physiques complexes, il est presque impossibles de les décrire complètement dans les modèles si on veut conserver des coûts de calcul raisonnables. Ces écoulements sont caractérisés par des conditions aux limites complexes, des fluides multiphasiques en interaction, et de la turbulence complètement développée.

Notre capacité à analyser en détails de tels écoulements a des répercussions importantes dans de nombreux domaines scientifiques à forts impacts sociétaux, comme par exemple les prévisions météorologiques.

## Contexte mathématique

Utilisés indépendamment, les modèles et les observations ne permettent pas de reconstruire de manière déterministe les écoulements géophysiques réels. Ainsi, il est nécessaire d'utiliser *conjointement* ces deux sources d'information, hétérogènes mais complémentaires, grâce à ce que l'on appelle des méthodes d'assimilation de données. Il s'agit de techniques de modélisation inverses basées sur les théories mathématiques de l'estimation statistique et/ou du contrôle optimal. Leur objectif est de combiner les informations provenant des observations et celles provenant des équations physiques discrétisées (modèles), en prenant en compte leurs statistiques d'erreur respectives, de sorte que l'estimation ainsi obtenue est meilleure que ces deux sources d'information prises séparément. En assimilation de données variationnelle, le *problème d'analyse* consiste à minimiser une fonction coût qui mesure l'écart (au sens des moindres carrés pondérés par les informations statistiques) entre les observations et leurs équivalents données par le modèle. Cette fonction coût est minimisée par rapport aux variables de contrôle, de manière itérative en utilisant une méthode de descente grâce au gradient.

Ce type d'application recouvre un large spectre des mathématiques appliquées, depuis le calcul scientifique, les ondelettes et les curvelettes, jusqu'au contrôle optimal des équations aux dérivées partielles, en passant par le transport optimal et l'assimilation de données...

## Description du travail

Un point crucial pour effectuer de l'assimilation de données est notre capacité à pouvoir comparer les sorties du modèle avec les observations, grâce à l'*opérateur d'observation*. Pour l'assimilation directe de séquences d'images, une des principales difficultés est de définir un espace et une norme avec lesquels effectuer cette comparaison. Une telle comparaison peut avoir lieu soit pixel à pixel, soit après analyse de l'image. Dans le premier cas, une pseudo-image est générée à partir des sorties du modèles, elle est ensuite comparée pixel à pixel avec l'image observée. Dans le dernier cas, on compare les structures obtenues par l'analyse des images issues du modèle et des observations. Dans cette thèse, nous voudrions étudier de nouvelles façons de construire l'opérateur d'observation, en utilisant des normes sophistiquées pour les images, ainsi qu'étendre les techniques d'assimilation d'images à de nouveaux modèles d'écoulements géophysiques.

Les directions de recherche suivantes pourraient être explorées :

1. Nouvelles distances basées sur la théorie du contrôle optimal. L'objectif de ce travail est d'explorer de nouvelles façons de définir une distance entre deux images, en vue de faire de l'assimilation directe d'images. La théorie du transport optimal définit le meilleur (en un sens à préciser) champ de vitesse qui transporte l'intensité lumineuse d'une image à une autre. Ce champ de vitesse pourrait être utilisé pour définir une meilleure notion de distance entre deux

images, qui tiendrait mieux compte du déplacement des structures, et ainsi améliorerait l'opérateur d'observation et donc les résultats de l'assimilation. On comparera cette approche aux techniques déjà implémentées d'assimilation d'images.

2. Méthodes d'assimilation pour le suivi de structures. Le but de ce travail est de fournir des techniques d'assimilation robustes et efficaces pour le suivi d'éléments géométriques (comme des courbes ou des fronts transportés par l'océan ou l'atmosphère) dans des images satellites. On cherchera aussi à trouver une façon adéquate de modéliser ces structures, par exemple en utilisant les surfaces implicites, curvelettes, ondelettes complexes biorthogonales... Il faudra également tenir compte du problème de suivi de structures en présence d'occlusions (par exemple lorsque la couverture nuageuse cache une partie de l'image de l'océan).

## Environnement de travail

La personne recrutée bénéficiera du statut de doctorant de l'INRIA (voir <http://www.inria.fr/travailler>) et fera partie de l'ANR Geo-FLUIDS. Elle pourra ainsi assister à des cours doctoraux régionaux (par le biais de l'école doctorale), tout comme des écoles d'été nationales ou internationales, ainsi que de conférences, et aura accès à des moyens de calcul substantiels (ordinateur personnel, accès aux ressources informatiques locales, régionales et nationales).

## Profil recherché

Nous recherchons une personne titulaire d'un master en mathématiques pures ou appliquées, avec un intérêt marqué pour le calcul scientifique et les équations aux dérivées partielles. Les candidatures excellentes en provenance de masters comportant une forte composante en calcul scientifique nous intéressent également. La personne devra également être motivée par les applications en géophysique et géosciences. La maîtrise du fortran ou d'un langage de programmation scientifique serait vivement appréciée.