

Simulation numérique de la ville par couplage entre la modélisation et l'observation

Sujet de thèse



1 Contexte et objectifs

Les villes souhaitent aujourd'hui se munir d'outils de **surveillance** et d'**aide à la décision** dans de nombreux domaines de leur compétence. Ces outils peuvent reposer sur l'**observation** dans la ville ou sur la **modélisation numérique**. Ces deux approches sont complémentaires, et les futurs systèmes de gestion des villes devront faire un usage optimal et combiné des deux.

Le couplage entre la modélisation numérique et l'observation est réalisé par des méthodes d'**assimilation de données**. Elles permettent d'estimer au mieux l'état d'un système, d'améliorer des prévisions et de quantifier les incertitudes associées. Les techniques d'assimilation sont historiquement issues de la météorologie et ont énormément contribué à l'amélioration des prévisions. De nombreux domaines en environnement bénéficient de ces techniques. L'assimilation de données perçoit aujourd'hui en médecine et en biologie.

À l'échelle d'une ville, des modèles existent pour le trafic routier, pour l'exposition au bruit, pour la gestion des eaux, etc. Des observations, souvent issues de capteurs distribués dans la ville, apportent généralement une information ponctuelle mais précise. La question posée dans la thèse est de combiner de manière optimale modèles et observations pour la gestion d'une ville. Il s'agira de proposer une approche complète d'un système urbain fondée sur un ou plusieurs modèles de simulation et des données d'observation. Les objectifs scientifiques concerneront principalement l'**estimation d'état**, la **quantification d'incertitude** a priori et a posteriori (i.e., avant et après assimilation des observations) et l'**optimisation du réseau d'observation**.

Les travaux seront au moins déclinés autour de la **qualité de l'air**. La question de l'optimisation du réseau d'observation sera un aspect important du projet. On s'intéressera tout particulièrement aux données issues de capteurs mobiles (par exemple, installés sur des bus) pour lesquels la stratégie de collecte des données doit être optimisée. D'autres

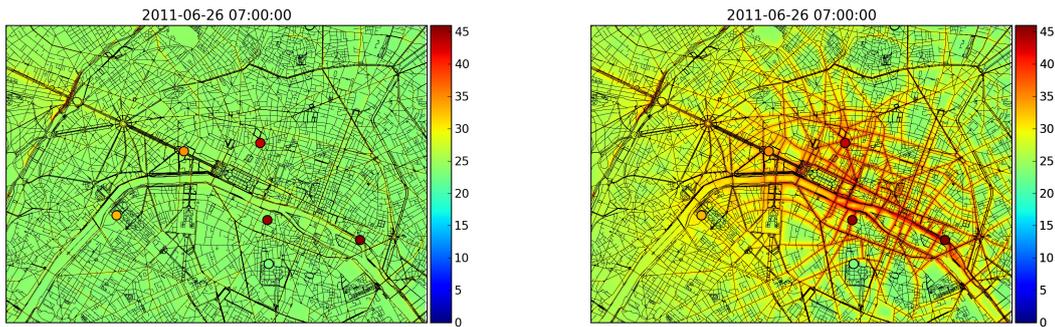


FIGURE 1: Cartes de concentration de NO_2 ($\mu\text{g m}^{-3}$) sur une partie de Paris pour le 26 juin 2011 à 7 heures : avant assimilation des observations repérées par les disques, à gauche, et après assimilation de ces observations, à droite. Dans ce cas, l'assimilation corrige fortement le résultat de simulation (à gauche). Ces résultats ont été obtenus dans le cadre du projet « Votre Air », avec la PME Numtech et l'association Airparif. L'une des questions de la thèse est l'assimilation d'un grand nombre d'observations recueillies par des capteurs mobiles.

applications pourront être envisagées, notamment autour du bruit, sur lequel deux des équipes de recherche impliquées commencent à travailler.

2 Méthodes envisagées et programme de travail

Les méthodes de quantification d'incertitude sont souvent très coûteuses en temps de calcul. Une première étape consistera donc à construire un modèle réduit, par **émulation statistique** (processus gaussiens). Le modèle réduit devra préserver l'information essentielle calculée par le modèle complet. En particulier, il devra permettre de prévoir, aussi bien que le modèle complet, les valeurs observées par un capteur mobile le long de son déplacement.

Les incertitudes dans les données d'entrée (pour la qualité de l'air : principalement les conditions météorologiques et les émissions) seront propagées par des simulations Monte Carlo. Ces simulations seront calibrées grâce aux observations, afin qu'elles représentent effectivement les incertitudes du modèle. Cette **calibration** pourra se faire soit pour estimer l'**incertitude a priori**, soit l'**incertitude a posteriori** (après assimilation des données d'observation). L'estimation d'incertitude a posteriori reposera sur l'**inférence bayésienne**. L'approche envisagée utilisera les méthodes de Monte Carlo par chaînes de Markov.

L'assimilation de données permettra ensuite de **réduire les incertitudes**. L'**assimilation d'observations issues de capteurs mobiles** sera étudiée. Les questions sont multi-

ples : combien de capteurs mobiles sont nécessaires, quelle quantité minimale d'information faut-il extraire (afin de minimiser le coût d'accès aux observations), quelle précision de mesure est requise, quel est l'impact d'éventuelles corrélations entre les erreurs des mesures, par quelles observations fixes faut-il compléter les observations mobiles, etc. Les méthodes mathématiques les plus appropriées devront être identifiées et adaptées pour répondre à ces questions.

On veillera à ce que l'ensemble des méthodes développées restent cohérentes. Elles jetteront les bases d'un **système d'aide à la décision** qui devra être accessible aux acteurs opérationnels et devra présenter une certaine unité dans son utilisation. Il est probable qu'un système s'articulant autour de modèles réduits permettra de remplir ces objectifs.

3 Équipes de recherche impliquées

L'équipe-projet Inria d'accueil, **Clime**, est spécialisée dans l'assimilation de données en environnement. Elle est insérée dans le **Centre d'enseignement et de recherche en environnement atmosphérique** (CEREA) dont l'activité principale concerne la qualité de l'air (voir la figure 1). Clime collabore notamment avec l'**INERIS**, l'association agréée de surveillance de la qualité de l'air pour l'Île-de-France **Airparif** et l'entreprise **Numtech** pour la qualité de l'air à l'échelle urbaine. Clime développe la bibliothèque d'assimilation de données **Verdandi**.

L'équipe-projet **Urbanet** travaille sur le déploiement de réseaux capillaires en environnement urbain. Urbanet s'intéresse aux capteurs mobiles et en particulier aux conditions de remontée des mesures pour minimiser les coûts de transmission sur le réseau. Urbanet exploite des données de mobilité qui permettront d'étudier l'impact potentiel de mesures embarquées sur des bus ou automobiles.

L'équipe-projet **ARLES-MiMove** développe les architectures logicielles pour les systèmes distribués dans des réseaux hybrides (par exemple, avec différents capteurs). ARLES-MiMove s'intéresse notamment à la participation des citoyens dans ces réseaux, par exemple, pour la mesure du bruit ambiant par les citoyens avec leur téléphone portable.

4 Conditions et contacts

Début de la thèse : octobre 2014 (négociable)

Durée : 3 ans

Rémunération : 1596 euros nets par mois les deux premières années; 1679 euros nets par mois lors de la troisième année

Localisation : Inria Paris-Rocquencourt (à Rocquencourt, près de Versailles, aussi accessible depuis Paris), dans l'équipe-projet Clime

Encadrement : Vivien Mallet (Clime), Hervé Rivano (Urbanet), Valérie Issarny (ARLES-MiMove)

Contacts :

- Vivien.Mallet@inria.fr – 1 39 63 55 76
- Herve.Rivano@inria.fr
- Valerie.Issarny@inria.fr