

# Estimation d'état et modélisation inverse appliquées à la pollution sonore en milieu urbain



Vivien Mallet (INRIA) & Arnaud Can (IFSTTAR)

Sujet de thèse de doctorat, 2017

## 1 Résumé

L'estimation des niveaux de bruit dans une ville repose sur des modèles de propagation acoustique en milieu urbain et sur de nombreuses données urbaines décrivant notamment la géométrie de la ville et les sources d'émission dont le trafic routier. Les incertitudes, parfois élevées dans les données urbaines, limitent la précision des simulations. Des observations collectées dans les villes grâce à des sonomètres apportent par ailleurs une information supplémentaire. La thèse proposera des stratégies d'assimilation de ces observations pour améliorer les simulations par (1) *estimation d'état*, c'est-à-dire par fusion du champ de bruit simulé et des observations, et (2) *modélisation inverse*, c'est-à-dire par correction des données d'entrée du modèle de propagation acoustique. Ces travaux nécessiteront de *quantifier les incertitudes* propagées dans un modèle acoustique, en particulier par l'exploitation d'un métamodèle à construire. La question de l'*optimisation du réseau d'observation* sera aussi abordée.

## 2 Contexte et objectifs

Le développement de la ville connectée conduit à la collecte de masses de données sur l'environnement urbain. L'exploitation des observations de terrain et de simulations numériques complexes devient un défi scientifique dont les retombées peuvent être importantes dans de nombreux domaines. En particulier, la pollution sonore fait l'objet

d'une attention particulière tant le nombre de citoyens trop exposés et les coûts associés sont élevés. Par exemple, toutes les villes européennes de plus de 100 000 habitants ont l'obligation légale de produire une carte de bruit simulé, en moyenne annuelle (cf. figure 1) ; en même temps, des systèmes d'observation sont déployés et peuvent être utilisés pour améliorer les cartes de bruit simulé.



FIGURE 1 – Exemples de cartes annuelles de bruit urbain simulé par un modèle de propagation. L'objet de la thèse est de développer des méthodes pour améliorer ce type de carte grâce à l'assimilation d'observations du bruit issues d'un réseau de mesure. Crédits : Ville de Paris (agence d'écologie urbaine) et Ville de San Francisco.

Les cartes de bruit sont générées par des modèles de propagation du bruit. Ces derniers sont imparfaits et reposent sur des données incertaines, voire très incertaines. Par exemple, les émissions sonores du trafic automobile sont mal connues et beaucoup d'autres sources de bruit sont ignorées. Les niveaux de bruit simulés sont alors entachés de fortes incertitudes qu'il convient d'estimer et de réduire.

Il est aujourd'hui possible d'équiper une ville de sonomètres pour observer les niveaux de bruit réels. Le nombre de points d'observation reste limité et ne permet pas de substituer l'observation à la simulation. Cependant, les observations, par leur précision, sont une source précieuse d'information sur l'état réel de la pollution sonore. Le déploiement de réseaux de capteurs du bruit est amené à se développer davantage. Le projet ANR CENSE a précisément pour objet de déployer un réseau dense de capteurs à bas coût dans une partie de la ville de Lorient, avec pour objectif de caractériser précisément la pollution sonore, heure par heure, à la résolution de la rue sur l'ensemble de la zone couverte. La thèse se déroulera dans le cadre de ce projet ambitieux.

Un objectif important du projet CENSE est de déterminer comment combiner des simulations numériques du bruit, qui produisent des champs, et des observations ponctuelles du bruit. Un autre objectif est de définir un réseau d'observation optimal tel qu'il pourrait être déployé sur une autre ville. Il s'agit d'identifier le nombre de capteurs optimaux et leur meilleure répartition spatiale pour estimer au mieux les niveaux de bruit avec un coût de déploiement donné.

### 3 Méthodes envisagées

La thèse devra définir des méthodes d'assimilation des observations sonores. Le contenu du travail est ouvert et évoluera en fonction des résultats des premiers travaux. Cependant, on peut relever les points suivants.

1. Lors de la fusion entre les simulations et les observations, il est nécessaire de connaître la confiance accordée à chaque source d'information, afin de lui donner un poids adéquat. Il sera donc nécessaire de quantifier les incertitudes des simulations. Les méthodes de quantification des incertitudes étant coûteuses, la *méta-modélisation d'un modèle de propagation* sera employée et consistera en une *réduction de dimension* et une *émulation statistique* du modèle réduit.
2. L'écart entre simulation et observation sera analysé par des méthodes statistiques afin de *décomposer la variance* de cet écart entre celle due aux erreurs de simulation et celle due aux erreurs d'observation.
3. Des méthodes d'*estimation d'état* seront développées pour corriger les simulations grâce aux observations du bruit. L'objectif sera de construire un estimateur a posteriori sans biais et dont la variance de l'erreur sera minimale.
4. Des méthodes de *modélisation inverse* seront proposées pour notamment corriger les émissions du trafic. Il s'agit d'un problème difficile car il faut éviter de corriger certains paramètres pour compenser des erreurs sur d'autres paramètres. Des méthodes d'*inférence bayésienne* seront développées autour du méta-modèle précédemment évoqué. Parmi les nombreuses questions de recherche soulevées se pose la quantification de l'information exploitable dans les observations.
5. L'*optimisation du réseau d'observation* est une question totalement ouverte aujourd'hui. Il s'agit ici de rechercher la disposition du réseau optimale pour que l'estimation d'état ou la modélisation inverse soient les plus efficaces.

Toutes ces méthodes se développent dans de nombreux domaines de l'environnement, et au-delà. Les résultats de la thèse pourront donc être valorisés dans de nombreux contextes.

### 4 Équipes de recherche impliquées

L'équipe d'accueil à l'**INRIA** (Institut national de recherche en informatique et en automatique) travaille sur le couplage entre modèles et données d'observation pour la simulation environnementale, et sur la quantification des incertitudes, en particulier pour les pollutions sonore et atmosphérique en milieu urbain. Elle bénéficie de nombreuses collaborations académiques et industrielles.

Le **laboratoire d'acoustique environnemental** (LAE) de l'**IFSTTAR** est un laboratoire de référence, national et international, sur la problématique du bruit dans l'environnement.

## 5 Conditions et contacts

**Profil recherché** : très bon niveau général, avec intérêt pour simulation numérique et la modélisation statistique

**Début de la thèse** : en 2017 (date indifférente)

**Durée** : 3 ans

**Rémunération** : 1577 euros nets par mois, les deux premières années; 1658 euros nets par mois, la troisième année

**Localisation** : **INRIA Paris**, au 41 rue du Charolais (12e arrondissement), accessible à pied depuis plusieurs stations dont gare de Lyon (RER A et D, métros 1 et 14), Montgallet (métro 8) et Dugommier (métro 6)

**Encadrement** : Vivien Mallet (INRIA), Arnaud Can (IFSTTAR)

**Contacts** :

— [Vivien.Mallet@inria.fr](mailto:Vivien.Mallet@inria.fr)—1 80 49 41 24

— [Arnaud.Can@ifsttar.fr](mailto:Arnaud.Can@ifsttar.fr)—2 40 84 58 53