



## Sujet de thèse

# Modélisation inverse du terme source et estimation des erreurs pour la modélisation de la dispersion atmosphérique des radionucléides lors de l'accident de Fukushima-Daiichi

### Deux équipes d'accueil

Centre d'Enseignement et de Recherche en Environnement Atmosphérique (Cerea), Laboratoire Commun EdF R&D et École des Ponts. École des Ponts ParisTech. Champs-sur-Marne, 77 455 Marne la Vallée, France.

Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), PRP-CRI, SESUC, BMTA, Fontenay-aux-Roses, 92262, France.

Ces deux équipes travaillent depuis plus de 10 ans ensemble et sont conjointement leader mondial sur le sujet de la modélisation inverse du terme source pour la dispersion atmosphérique accidentelle des radionucléides.

### Contexte scientifique

L'assimilation de données en sciences géophysiques est la discipline permettant de combiner de façon mathématiquement optimale des observations du système physique (atmosphère, océan, etc.) et des modèles numériques simulant le système physique. Elle permet notamment, en exercice de prévision, d'initialiser efficacement les modèles météorologiques, océanographiques ou de chimie atmosphérique.

Ces techniques sont depuis quelques années appliquées à la dispersion atmosphérique des radionucléides en cas d'accident. Elles permettent notamment à partir des observations et d'un modèle numérique 3D de dispersion atmosphérique d'estimer les émissions de radionucléides lors de l'accident. L'intérêt de ces méthodes est désormais reconnu et elles sont mises en œuvre par les centres de crise, et notamment en France par l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire.

Les premières inversions étaient fondées sur des techniques d'assimilation de données relativement simples, ainsi que sur des modèles avec une physique simplifiée. Mais il était difficile d'estimer leur fiabilité. La démonstration de la faisabilité et de l'intérêt de la modélisation inverse ayant été faite, il est désormais envisagé de tenir compte de facteurs plus complexes, comme la nature multi-échelle des observations et des simulations, et de l'erreur de modélisation. On doit notamment être capable d'assimiler des observations très disparates et d'estimer les erreurs commises dans cette estimation de façon objective et rigoureuse. Cela requiert l'utilisation de méthodes d'assimilation de données mathématiquement avancées et de modèles numériques 3D plus élaborés.

## Objectif

Le but de cette thèse est de : (i) développer des techniques d'assimilation multi-échelles pour la dispersion accidentelle, (ii) de proposer le calcul objectif des erreurs de l'estimation, (iii) et pour cela de tenir compte des erreurs de modélisation de façon mathématiquement rigoureuse.

Les méthodes développées seront systématiquement mises en œuvre sur le cas de l'accident de Fukushima-Daiichi. Il sera également possible de les tester sur d'autres cas, comme l'accident de Tchernobyl.

## Mots clés

Assimilation de données, Modélisation inverse, Erreur modèle, Radionucléides, Accident de Fukushima-Daiichi.

## Compétences requises

Très bon niveau général requis. Goût pour les mathématiques, l'informatique, le calcul scientifique, et la modélisation en géosciences (atmosphère, transport et chimie atmosphérique).

## Bibliographie

Bocquet, M. (2014), An introduction to inverse modelling and parameter estimation for atmosphere and ocean sciences, in É. Blayo; M. Bocquet; E. Cosme & L. F. Cugliandolo, ed., 'Advanced data assimilation for geosciences', Oxford University Press, Les Houches school of physics, p. 461-493.

Bocquet, M. (2012), 'Parameter field estimation for atmospheric dispersion: Application to the Chernobyl accident using 4D-Var', *Q. J. R. Meteorol. Soc.* **138**, 664-681.

Saunier, O.; Mathieu, A.; Didier, D.; Tombette, M.; Quélo, D.; Winiarek, V. & Bocquet, M. (2013), 'An inverse modeling method to assess the source term of the Fukushima nuclear power plant accident using gamma dose rate observations', *Atmos. Chem. Phys.* **13**, 11403-11421.

Winiarek, V.; Bocquet, M.; Duhanyan, N.; Roustan, Y.; Saunier, O. & Mathieu, A. (2014), 'Estimation of the caesium-137 source term from the Fukushima Daiichi nuclear power plant using a consistent joint assimilation of air concentration and deposition observations', *Atmos. Env.* **82**, 268-279.

Winiarek, V.; Bocquet, M.; Saunier, O. & Mathieu, A. (2012), 'Estimation of Errors in the Inverse Modeling of Accidental Release of Atmospheric Pollutant: Application to the Reconstruction of the Cesium-137 and Iodine-131 Source Terms from the Fukushima Daiichi Power Plant', *J. Geophys. Res.* **117**, D05122.

## Modalités

Financement de l'IRSN. Salaire 1650 euros net/mois. Le déroulement de la thèse sera bilocalisé entre Fontenay-Aux-Roses (IRSN) et Champs-sur-Marne (École des Ponts ParisTech). Modalités à discuter. Début de la thèse : 1<sup>er</sup> octobre 2017.

## Encadrants

**Marc Bocquet** (École des Ponts ParisTech, <http://cerea.enpc.fr/HomePages/bocquet/>)

**Anne Mathieu** (IRSN)

et en collaboration avec : Yelva Roustan (Cerea), Olivier Saunier (IRSN), et Damien Didier (IRSN).

## Contact

Marc Bocquet, [marc.bocquet@enpc.fr](mailto:marc.bocquet@enpc.fr)