

Lors de la catastrophe de Fukushima, l'IRSN (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire) a activé son centre technique de crise, afin de répondre notamment aux demandes du gouvernement français, de l'ambassade française au Japon et des médias. Les outils opérationnels permettant d'estimer les conséquences d'un rejet accidentel reposent sur des modèles numériques de simulation de la dispersion atmosphérique à petite échelle (quelques kilomètres autour de la centrale nucléaire) et à grande échelle. La figure 1 illustre des calculs effectués en prévision opérationnelle pendant la crise.

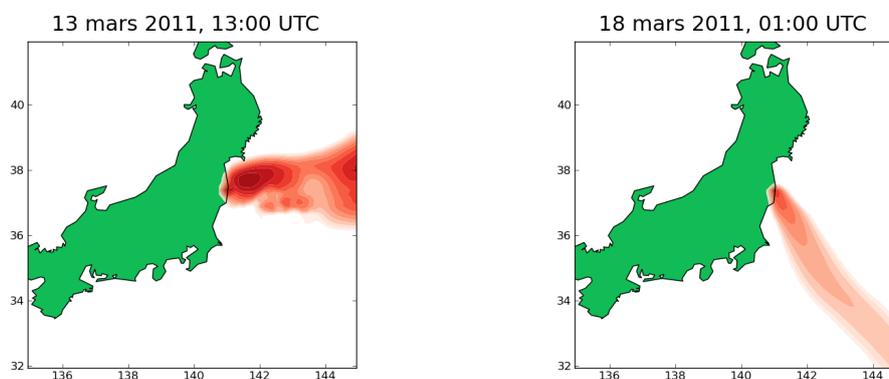


FIGURE 1 – Simulation de la dispersion de radionucléides à l'échelle du Japon lors de la catastrophe de Fukushima. Le nuage est simulé par un modèle de transport atmosphérique, ici au voisinage du sol, pour le césium 137 et pour deux échéances de temps.

Qu'il s'agisse de prévoir les conséquences des rejets ou d'effectuer une analyse a posteriori d'un accident nucléaire, les simulations numériques constituent un outil incontournable. Dans le cas de Fukushima, le nombre de mesures effectuées pendant la catastrophe a été limité, notamment du fait de l'indisponibilité de nombreux instruments de mesure, mis hors service par le tremblement de terre et le tsunami. Les mesures effectuées a posteriori ne permettent pas de reconstituer de façon satisfaisante la chronologie des événements, et donc d'évaluer de façon précise leur impact sanitaire et environnemental. Il est donc important de disposer de simulations numériques les plus précises possibles afin de reconstituer au mieux les phases de contamination.

Cependant, la qualité des résultats issus de modèles numériques est limitée par de fortes incertitudes dues à des données d'entrée imprécises (émissions, champs météorologiques), à une description imparfaite des phénomènes physiques et à des approximations numériques. À titre d'illustration, la figure 2 représente les prévisions de vitesse et de direction du vent à Fukushima telles que calculées par plusieurs modèles météorologiques. Pour évaluer au mieux les incertitudes associées aux simulations numériques, une stratégie est de reposer sur un ensemble de simulations qui échantillonne correctement les erreurs que peut commettre une simulation. Cet ensemble peut être généré par une approche Monte Carlo et utiliser plusieurs modèles de dispersion.

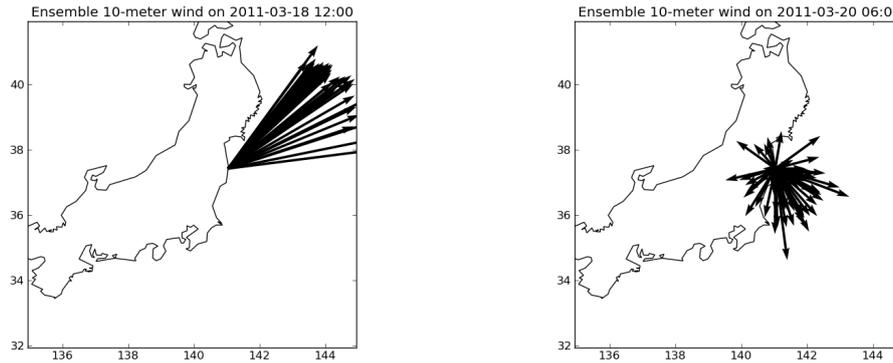


FIGURE 2 – Prévisions de la vitesse et de la direction du vent à 10 mètres par plusieurs modèles météorologiques issus de **TIGGE**. À gauche, une incertitude significative est observée (cas classique) ; à droite, l'incertitude est particulièrement élevée, ce qui conduit à de très fortes erreurs dans la simulation de la dispersion des radionucléides.

## Sujet du stage

Le stage visera à quantifier les incertitudes des simulations de la dispersion des radionucléides dans le cas de Fukushima, et en particulier les incertitudes dues aux champs météorologiques. Il s'agira de :

1. Récupérer l'ensemble des simulations météorologiques de l'**ECMWF**, centre européen de prévision ;
2. Générer des ensembles de simulations de la dispersion des radionucléides avec les modèles de dispersion de l'IRSN et en prenant en compte toutes les sources d'incertitude ;
3. Proposer des scores pertinents pour l'évaluation d'un ensemble de simulations : en utilisant les données d'observation, il s'agira d'évaluer la capacité de l'ensemble à représenter l'incertitude de simulation.

Le dernier point soulève plusieurs questions de recherche. Des scores sont déjà utilisés en météorologie (diagrammes de rang, score de Brier, ...), mais ils ne tiennent pas compte de la redondance spatiale et temporelle d'information entre les différentes observations.

## Contexte institutionnel

L'équipe-projet **CLIME** du centre **INRIA de Paris** travaille sur le couplage entre modèles et données d'observation pour la simulation environnementale, et en particulier sur la quantification des incertitudes en simulation de la dispersion atmosphérique. Les travaux s'inscriront dans la continuité de recherches effectuées en qualité de l'air et en dispersion de radionucléides sur le cas de Fukushima.

L'équipe de l'IRSN est en charge des calculs de dispersion atmosphérique en cas d'accident majeur. Elle développe des outils de modélisation à petite et grande échelle. Ces outils sont destinés à être exploités de manière opérationnelle lors d'une crise, tel que ce fut le cas lors de la catastrophe japonaise.

## Conditions et contacts

**Profil :** étudiant de niveau master 2 en mathématiques appliquées ou en physique atmosphérique, ayant un goût pour la simulation numérique ou les statistiques

**Début du stage :** flexible en 2016, en comptant un délai administratif de recrutement d'environ 2 mois

**Durée :** 5 à 6 mois

**Rémunération :** environ 530 euros nets par mois

**Localisation :** site INRIA de Paris, 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)

**Contacts :**

- Vivien Mallet, [vivien.mallet@inria.fr](mailto:vivien.mallet@inria.fr)
- Irène Korsakissok, [irene.korsakissok@irsn.fr](mailto:irene.korsakissok@irsn.fr)

Les conditions précédentes peuvent être aménagées.

Si toutes les parties le souhaitent, le stage pourra se prolonger par une thèse de doctorat dont le financement est déjà acquis.