HAL
open science

Modélisation numérique de la dispersion atmosphérique accidentelle des radionucléides : l'état de l'art de la recherche

Marc Bocquet

To cite this version:

Marc Bocquet. Modélisation numérique de la dispersion atmosphérique accidentelle des radionucléides : l'état de l'art de la recherche. Revue du Centre de Défense NBC, 2013, 3, pp.47-49. hal-00933947

HAL Id: hal-00933947

https://inria.hal.science/hal-00933947v1

Submitted on 24 Jan 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Modélisation numérique de la dispersion atmosphérique accidentelle des radionucléides : l'état de l'art dans la recherche.

Marc Bocquet
(1) Université Paris-Est, CEREA laboratoire commun École des Ponts ParisTech et EdF R&D
(2) INRIA, Centre de recherche de Rocquencourt

Contexte

Dans la nuit du 25 au 26 avril 1986, les ingénieurs de la centrale de Tchernobyl, près de la ville de Pripyat en Ukraine, ont conduit un test technique sur le nouveau système de refroidissement du réacteur 4. Le réacteur était en régime lent, difficile à contrôler. Une série d'erreurs, dont la violation de plusieurs protocoles et des réactions inappropriées ont conduit à l'emballement du réacteur. La couverture du réacteur a été soufflée et le graphite s'est enflammé au contact de l'air. L'incendie n'a pu être totalement étouffé qu'au bout de dix jours, pendant lesquels de nombreux radionucléides ont été relâchés dans l'atmosphère. Les plus lourds et souvent nocifs (comme le plutonium) sont restés à quelques dizaines de mètres du réacteur. Les plus légers et inertes comme les isotopes du xénon, ont diffusé à grande échelle dans l'atmosphère globale. D'autres radionucléides, comme les césiums 134 et 137, et l'iode 131, ont été transportés et déposés à grande distance. L'iode a une demi-vie de 10 jours mais est émis en grande quantité. L'iode est bio-accumulé et a conduit à un excès de plusieurs milliers de cancers de la thyroïde en Ukraine et Biélorussie, et peut-être dans le reste de l'Europe. Les césium 134 et 137 ont été émis en moindre quantité mais ont une durée de vie de 2 et 30 ans, conduisant à une contamination durable et une zone d'exclusion de 30 kilomètres autour de la centrale incluant Pripyat.

Il est à cette occasion apparu nécessaire de disposer de moyens de modélisation numérique de la dispersion du panache de radionucléides. Les mesures (alors constituées par le réseau REM en Europe de l'Ouest) de concentrations d'activité dans l'air sont rares, ne sont pas disponibles en temps réel, ou tout simplement censurées, et par dessus tout ne permettent pas de prédire l'évolution du panache. En novembre 1986, l'Agence Internationale pour l'Énergie Atomique et l'Organisation Mondiale de la Météorologie ont ainsi mobilisé la communauté scientifique afin de tester et inter-comparer les modèles numériques de la dispersion atmosphérique en rejouant fictivement la dispersion accidentelle de Tchernobyl.

Quelques années plus tard une campagne de mesure (ETEX) d'un traceur inerte inoffensif dispersé (depuis Rennes) sur l'Europe a été conduite et a permis d'engendrer une base de données contre laquelle ont été et sont parfois encore confrontés les modèles numériques.

Ces modèles numériques sont aujourd'hui utilisés pour des études académiques, ou pour de l'analyse et de la prévision en temps de crise. Ils ont été amplement utilisés dans l'analyse de la dispersion accidentelle de Fukushima-Daiichi, de l'échelle locale à l'échelle globale.

Modélisation numérique du transport et de la transformation des radionucléides dans l'atmosphère

Un modèle numérique de transport atmosphérique (ATM) des radionucléides consiste à résoudre une équation aux dérivées partielles portant sur les concentrations d'activité radiologique et décrivant l'advection par le vent, la diffusion turbulente verticale, la filiation/décroissance

radioactive et l'injection d'un terme source. Les champs météorologiques (vents, diagnostic de la turbulence) sont donnés en entrée du modèle par un modèle de prévision du temps. À tout cela s'ajoutent des processus physiques de dépôt. Ils sont plus difficiles à modéliser car ils dépendent de la nature et de la microphysique des radio-éléments dans l'atmosphère, mais sont essentiels car ils contrôlent la quantité déposée au sol et l'appauvrissement du panache. On distingue le dépôt sec lorsque la base du panache se dépose par rugosité du sol, et le dépôt humide (ou lessivage) lorsque la pluie lessive les radionucléides présents dans le nuage. Le lessivage humide est complexe à modéliser. Par exemple on doit tenir compte de l'interaction des nuages et du panache lorsque les radionucléides sont transférées aux gouttelettes d'eau puis éventuellement précipitées. Les figures 1 et 2 illustrent le calcul des dépôts de césium 137 sur les cas de Tchernobyl et de Fukushima-Daiichi.

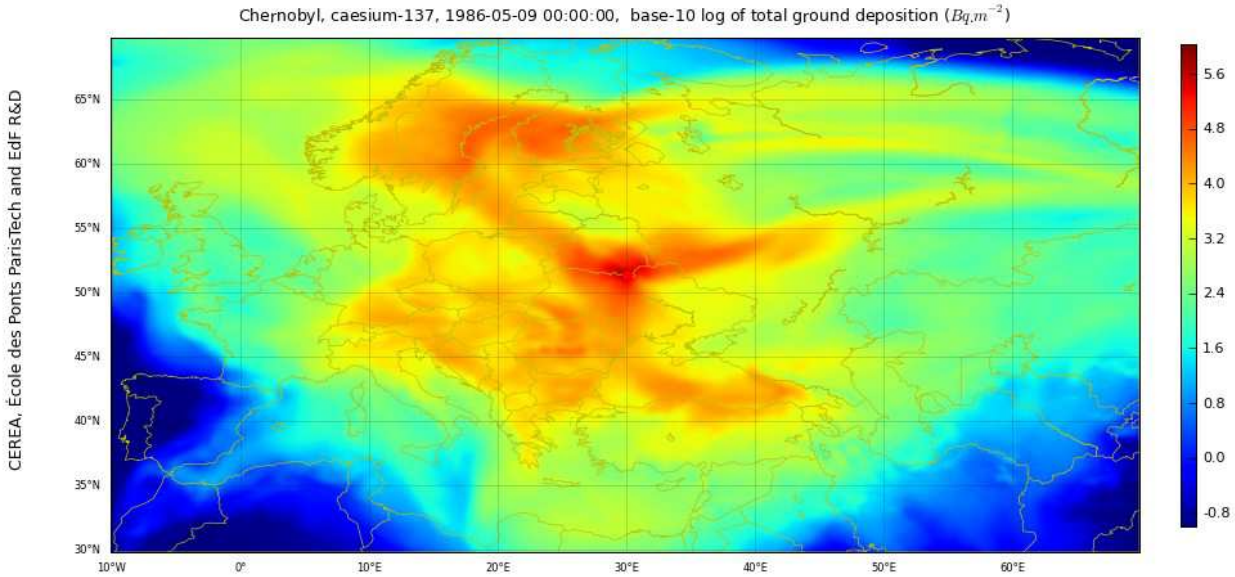

Figure 1 : Carte des dépôts en césium 137, suite à l'accident de Tchernobyl, tels que modélisés par le modèle Polair3D de la plateforme Polyphemus.

L'intégration numérique des équations de l'ATM peut être réalisée grâce à leur discrétisation sur un maillage de l'atmosphère : on parle de modèles eulériens, ou bien en suivant le transport et la transformation d'un très grand nombre de points matériels dont le nuage représente le panache : on parle alors de modèles lagrangiens. Les deux type de modèles sont utilisés en pratique.

Les radionucléides peuvent se trouver dans différents états : sous forme de gaz, ou sous forme de particules/aérosols. Par exemple les césiums sont émis sous forme de particules. L'iode 131 est émis sous forme de gaz mais se mue en aérosol au bout de quelques jours, ce qui complique sa modélisation mais aussi sa mesure. Les processus de dépôts peuvent dépendre de la taille des particules et il peut donc être nécessaire de modéliser toute une famille de taille d'un radionucléide, ce qui conduit à l'intégration numérique d'une équation de transport pour chaque classe de taille.

La difficulté de la modélisation des radionucléides ne tient cependant pas tant à la complexité de modélisation physique, mais plutôt à l'absence de campagne de mesure (on imagine bien pourquoi) permettant de valider ces modèles, ainsi qu'à la difficulté d'estimer le terme source. Elle tient aussi à la nature de la dispersion accidentelle : les bords du panache présentent de fort gradients de concentration, si bien que les erreurs de modèle peuvent aisément conduire à de fortes erreurs de prévision sur ces zones frontières.

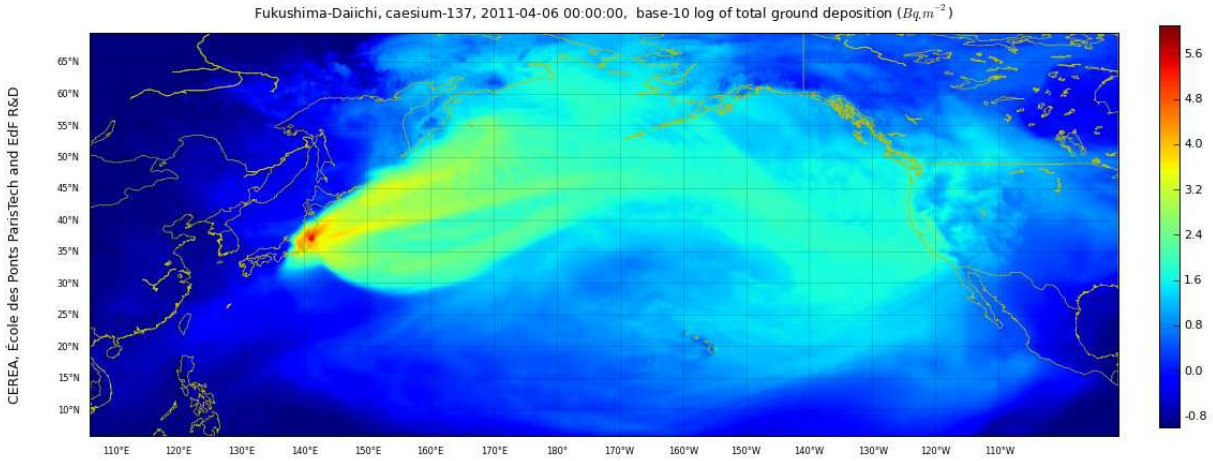

Figure 2 : Carte de dépôts intégrés en césium 137 suite à l'accident de la centrale de Fukushima-Daiichi, tels que modélisés par le modèle Polair3D de la plateforme Polyphemus.

De la recherche académique à l'opérationnel civil : modélisation numérique en situation de crise

La conduite de situation de crise peut aujourd'hui s'appuyer sur ces modèles. Par exemple, le service des Situations d'Urgence et d'Organisation de Crise de l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire met en œuvre une plateforme, ldX, dérivée du modèle académique Polair3D, qu'il peut utiliser pour prédire l'évolution du panache. C'est ainsi qu'on a pu prédire avec plus ou moins de succès l'arrivée du panache de Fukushima-Daiichi sur les côtes nord-américaines puis sur l'Europe.

Identification du terme source à l'aide de mesures et d'un modèle

Un point clé en situation d'urgence, mais aussi lors de l'analyse rétrospective dans la recherche académique d'un événement de dispersion, est l'estimation du terme source (activité relâchée, distribution temporelle), qui reste souvent très incertain. Ces dernières années, l'assimilation de données, qui combine de façon mathématiquement optimale mesures et modèles numériques de transport complexes, a permis l'estimation objective du terme source et de l'incertitude attachée à cette estimation. Puisqu'il s'agit de remonter des mesures au terme source à l'aide d'un ATM, on parle de modélisation inverse, même si l'on utilise pas à proprement parler d'inverse du modèle (qui n'est mathématiquement pas bien défini).

Aujourd'hui, la recherche académique est suffisamment mûre pour envisager la construction d'outils opérationnels de modélisation inverse en appui de la situation de crise (civile ou militaire).

<u>Quelques références:</u>

Quélo, D., M. Krysta, M. Bocquet, O. Isnard, Y. Minier et B. Sportisse, 2007. Validation of the Polyphemus platform on the ETEX, Chernobyl and Algeciras cases, Atmos. Env., 41, 5300-5315.

M. Bocquet, 2010. Modélisation inverse des sources de pollution atmosphérique accidentelle : progrès récents, Pollution Atmosphérique, numéro spécial septembre 2010, 151-160.

Winiarek, V., M. Bocquet, O. Saunier et A. Mathieu, 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. Atmospheres, 117, D05122.