

Centre d'enseignement
et de recherche sur
l'environnement atmosphérique

laboratoire commun

- Université Paris-Est/École des ponts
- EDF R&D

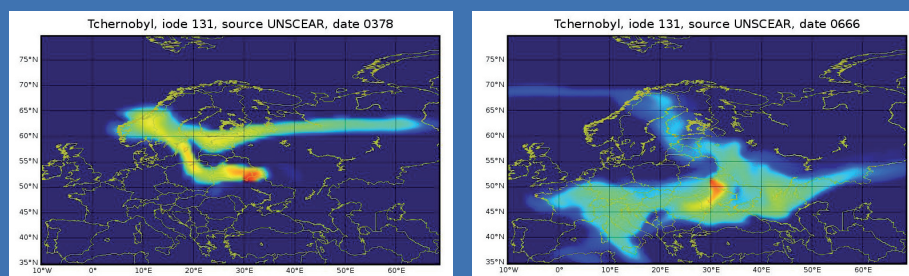


CEREA

Comment prévoir la dispersion d'un panache de polluant de source mal connue en cas d'accident nucléaire ou industriel ?

Marc Bocquet

Après l'accident de Tchernobyl, la communauté d'experts de la dispersion atmosphérique a compris qu'il fallait se doter d'outils de modélisation simulant le transport de polluant dans l'atmosphère (Fig. 1). Les centres de prévision des risques ont ainsi développé des modèles numériques simulant la dispersion d'un panache de polluant. Plus récemment, il est apparu que dans un contexte incertain, par exemple lorsque la source accidentelle n'est pas localisée ou que la quantité relâchée de polluant est indéterminée, il devait être fait appel aux techniques de l'assimilation de données et de la modélisation inverse. Il s'agit de coupler de façon optimale deux sources d'information : les mesures de concentration du polluant et le modèle numérique de dispersion (qui traduit notre connaissance de la physique du problème) ; le but étant d'identifier la source de polluant ou d'établir la meilleure prévision possible de l'évolution future du panache de polluant. Ce dossier donne un aperçu des progrès réalisés sur ce sujet au sein de l'équipe « Assimilation de données », désormais partie intégrante de l'équipe-projet CLIME (Chaînes Logicielles Intégrées pour la Modélisation en Environnement) du CEREA (projet commun de l'École des ponts et de l'INRIA).



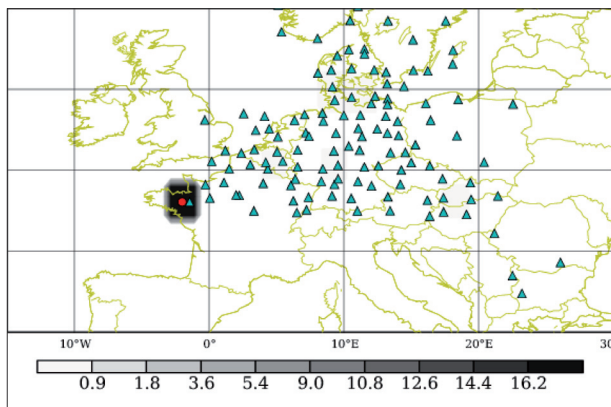
► [Fig. 1]
Dispersion du panache d'iode 131 lors de l'accident de Tchernobyl, simulée par le modèle Polair3D, développé au CEREA, 3 jours et 6 jours après le début de l'accident.



► La modélisation inverse d'une source accidentelle de polluant

Le CEREIA a développé et promu de nouvelles techniques, spécifiquement construites pour la modélisation inverse de source de polluants. Afin de remonter à la source d'un polluant, il s'agit, comme en assimilation de données géophysiques, de combiner de façon optimale les mesures et le modèle numérique. Sont également prises en compte des informations *a priori* précises sur l'état du système physique, dont la connaissance résulte souvent d'une prévision antérieure à la mesure (comme en météorologie). Malheureusement, dans un contexte de dispersion accidentelle de polluant, on ne dispose pas de telles informations : bien souvent la source n'est ni identifiée, ni quantifiée, ni localisée en temps et parfois même en espace. Les méthodes d'assimilation de données ici développées tiennent compte de cette incertitude et exploitent certaines propriétés de la source comme sa positivité (la source n'est pas un puits pour le polluant). Mathématiquement, les techniques utilisées sont fondamentalement non-gaussiennes et généralisent alors les approches fondées sur la minimisation d'un critère quadratique.

Les modélisateurs de la dispersion atmosphérique ont eu l'opportunité de valider leur modèle sur les données de l'expérience *European Tracer EXperiment* (ETEX) : 340 kg d'un polluant inerte et sans danger ont été rejetés à Monterfil, près de Rennes,



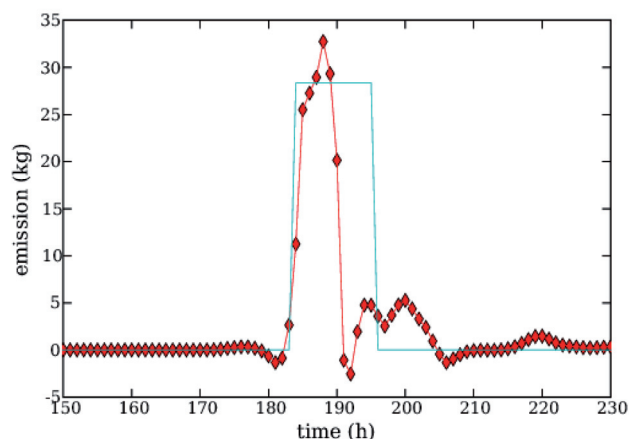
► [Fig. 2a]

Reconstruction de la source d'ETEX-I. La source est intégrée en temps pour chaque maille spatiale du domaine (les unités sont en kilogrammes).

en octobre 1994. À travers toute l'Europe, 168 stations de mesure de l'organisation mondiale de la météorologie ont alors mesuré les concentrations du panache résultant. Ces données ont permis de valider nos méthodes inverses et, pour la première fois, de reconstruire la source de l'expérience ETEX-I de manière satisfaisante à quelques kg près (Fig. 2a et 2b).

► De la théorie aux applications : ETEX-I, ETEX-II, Algésiras et Tchernobyl

Les techniques ont été appliquées à ETEX, au travers des deux campagnes ETEX-I et II mais aussi sur les données réelles de deux accidents de dispersion de radionucléides dans l'atmosphère : Algésiras et Tchernobyl. Dans le cas de Tchernobyl, le site identifié a été supposé mais pas les quantités de radionucléides rejetées dans l'atmosphère, ni la chronique temporelle, ni l'altitude effective du rejet. Ont notamment été étudiés l'iode 131 ainsi que les césiums 134 et 137 qui ont une durée de vie significative. Ces radionucléides sont transportés sur de longues distances et ont un impact sur la santé des populations. Par le biais des techniques précédemment décrites, ont été combinés optimalement le modèle de dispersion Polair3D et la base de mesure européenne REM de concentrations de radioactivité pour les isotopes de l'iode et du césium. Pour la première fois, le terme source de l'accident de Tcher-



► [Fig. 2b]

Reconstruction de la source d'ETEX-I. Profil reconstruit dans la maille spatiale où a eu lieu le rejet (en trait fin le profil véritable).

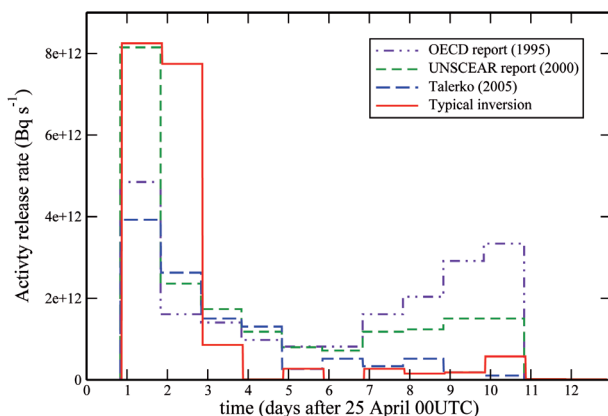
CEREA

nobyl a été reconstruit par le biais de l'assimilation de données, c'est-à-dire à partir des mesures seules et non d'un inventaire de cœur reconstitué par des modèles de physique nucléaire (Fig. 3).

► Prévoir la dispersion d'un panache accidentel en situation de crise

En cas de crise, c'est-à-dire lors d'un hypothétique accident nucléaire sur l'une des centrales du parc européen, l'IRSN (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire) doit renseigner au mieux l'ASN (Autorité de Sûreté Nucléaire) sur le risque présent et à venir et ce, en temps réel.

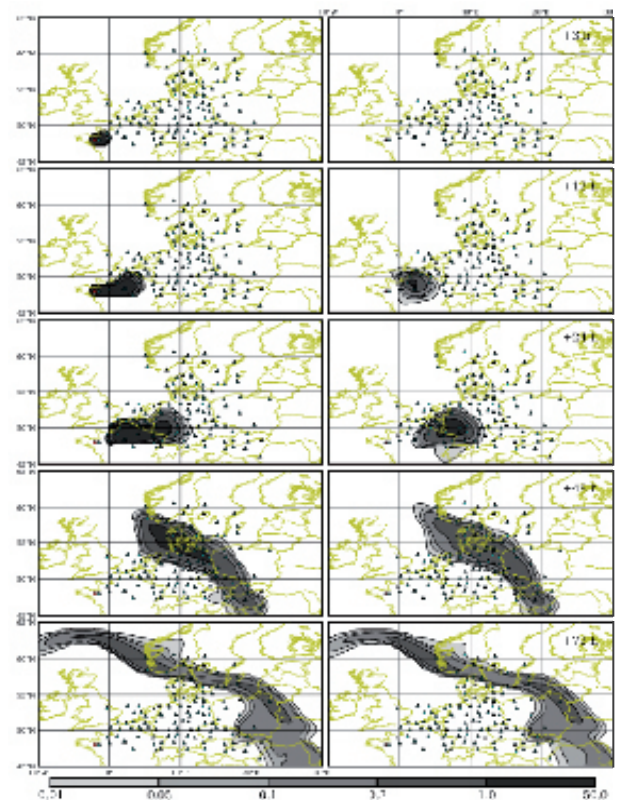
Les techniques de modélisation inverse précédentes peuvent être utilisées pour prédire la dispersion du panache qui est une conséquence du rejet du polluant dans l'atmosphère. De fait, la principale source d'incertitude dans la prévision d'un panache accidentel est la connaissance précise de la source. À tout instant, après avoir accumulé toutes les mesures disponibles, la modélisation inverse peut être utilisée pour identifier la source qui, dans le plus complexe des cas, est un objet tridimensionnel (deux pour l'espace au sol et une pour le temps). Puis le modèle - contraint par des champs de vent résultant d'une prévision météorologique - est appliqué à la source optimale ainsi reconstruite. La simulation se déroule en temps fictif du début de l'accident jusqu'au temps actuel, et au-delà, en établissant une prévision pour l'évolution du panache.



► [Fig. 3] Reconstruction du terme source d'iode 131 (en rouge) pour Tchernobyl. L'inversion typique est comparée aux estimations officielles (OCDE, ONU et N. Talerko).

L'équipe a appliqué cette technique à l'expérience ETEX-I et imaginé quelle serait la prévision dans un tel contexte en situation de crise. Lors d'ETEX, les mesures ont été effectuées toutes les trois heures, sur quatre jours. Aussi, toutes les trois heures (en temps simulé), une prévision de l'évolution future du panache a été calculée. Au total, 911 mesures ont été utilisées (toutes les mesures positives) lors d'ETEX-I, ce qui est faible au regard des capacités de mesure actuelles en cas de dispersion accidentelle d'origine nucléaire.

Au début de l'expérience, peu de données sont disponibles et elles ne permettent pas une évaluation cohérente de la source et du panache. Aussi, l'algorithme préfère considérer ces données comme du bruit et prédit un panache négligeable. Cependant, au bout de 15 heures, l'algorithme identifie une source et prédit le panache. De manière remarquable, au bout de quatre jours, la corrélation entre le panache prédit et le panache simulé (connaissant exactement la source), est quasi parfaite (Fig. 4).



► [Fig. 4] Reconstruction séquentielle du panache de dispersion de l'expérience ETEX-I. Sur la gauche se trouvent les instantanés du panache de référence (connaissant la source) à 3h, 12h, 24h, 48h et 72h après le début du rejet (les concentrations sont en nanogrammes par mètre cube). Sur la droite, se trouvent les instantanés résultant de l'assimilation séquentielle (sans connaître la source).

► Perspectives

D'un point de vue applicatif, il est souhaitable que de telles techniques trouvent un débouché opérationnel. Dans cette optique, une collaboration démarre entre le CEREa et l'IRSN sur la réalisation pré-opérationnelle d'un tel système de prévision en situation d'urgence, avec les moyens du centre technique de crise de l'IRSN. Le financement post-doctoral associé a notamment fait l'objet d'une labellisation de l'Institut national des sciences de l'univers (action LEFE-ASSIM).

D'un point de vue plus fondamental, des travaux d'extension de ces méthodes sont envisagés. Ces techniques reposent notamment sur la linéarité des processus physiques des traceurs et radionucléides permettant de recourir à des techniques d'analyse convexe non linéaire dans la construction des algorithmes. De manière préliminaire, il a été montré que ces approches d'assimilation de données non gaussiennes pouvaient être généralisées à des processus non linéaires (comme la chimie de l'ozone). Ceci ouvre la voie à de nouvelles applications de cette approche, comme la modélisation inverse des émissions des précurseurs de l'ozone.

► Remerciements

L'auteur remercie Monika Krysta, Xavier Davoine et Denis Quélo qui ont notablement contribué à ces travaux.

Ce DOSSIER RECHERCHE est dédié à Bruno Sportisse, directeur du CEREa de 2002 à 2007, actuellement directeur du transfert et de l'innovation à l'INRIA.

Université Paris-Est / CEREa
École des ponts
6/8 av. Blaise Pascal
Cité Descartes - Champs-sur-Marne
77455 Marne-la-Vallée cedex 2
contact : Marc Bocquet / 01 64 15 21 51
bocquet@cerea.enpc.fr

Pour en savoir plus

<http://cerea.enpc.fr>
www-rocq.inria.fr/clime

Marc Bocquet. Modélisation inverse et assimilation de données non gaussiennes pour les traceurs atmosphériques. Application à ETEX, Algésiras et Tchernobyl. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, 2007.

Xavier Davoine et Marc Bocquet. *Inverse modelling-based reconstruction of the Chernobyl source term available for long-range transport*. In: *Atmos. Chem. Phys.*, 2007, vol. 7, pp. 1549-1564
<http://www.atmos-chem-phys.net/7/1549/acp-7-1549-2007.html>

► Le CEREa

Centre de recherche commun à l'École des ponts et EDF R&D, le CEREa a une activité centrée autour de la modélisation numérique de la dispersion et de la chimie atmosphérique, notamment aux échelles locale, régionale et continentale, essentiellement dans la couche limite atmosphérique.

Au sein du CEREa, l'équipe CLIME, projet commun École des ponts-INRIA, s'intéresse :

- à l'assimilation de données,
- à la modélisation inverse,
- au calcul d'incertitude,
- à la prévision d'ensemble,
- à la construction optimale de réseaux de mesure,
- à l'analyse des données satellitaires.

- Personnel permanent : 25
- Doctorants, post-doctorants et stagiaires : 15