

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

Utilisation des mesures de l'environnement pour évaluer les rejets atmosphériques émis lors d'un accident nucléaire. Application à l'accident de Fukushima

O.SAUNIER, A.MATHIEU, D.DIDIER, M.TOMBETTE,
D.QUELO, M.BOCQUET, V.WINIAREK

Anne.mathieu@irsn.fr



■ Rôle de l'IRSN en cas d'urgence radiologique

- Estimer les risques induits par la situation accidentelle
- Fournir une expertise technique aux autorités

■ Devoirs

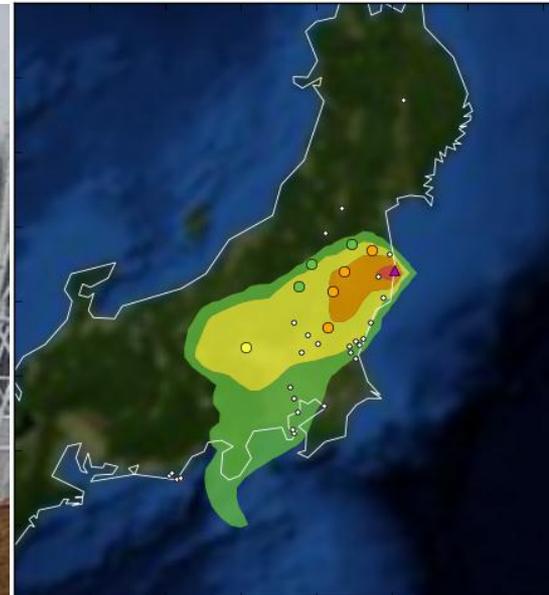
- Evaluer l'état des réacteurs, les rejets à l'atmosphère
- Estimer les conséquences radiologiques (doses, dépôts)
- Analyser les mesures dans l'environnement

Modèle de dispersion atmosphérique en mode direct

Diagnostic-Pronostic des conséquences d'un accident *Opérationnelle*

Données d'entrée

- Champs météorologiques
- Le terme source (TS) : Pour chaque radionucléide, évolution temporelle des quantités émises

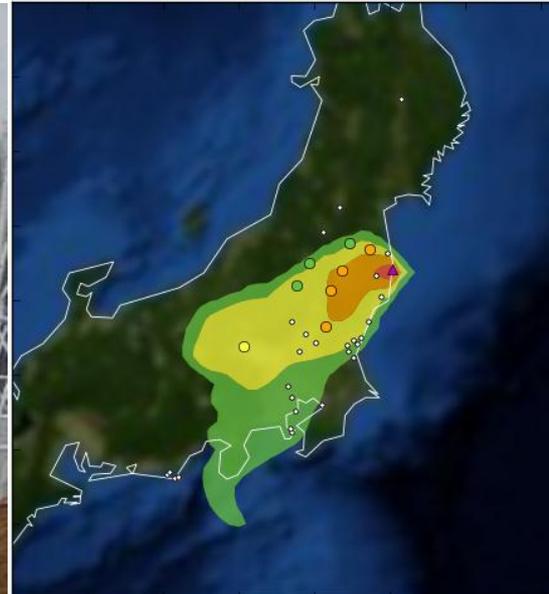


Une trop grande incertitude sur les rejets limite la compréhension du scénario de contamination et l'estimation de l'impact sur les populations.

Modèle de dispersion atmosphérique pour la modélisation inverse

Techniques développées depuis Tchernobyl: *combine modélisation de la dispersion atmosphérique et mesures dans l'environnement pour estimer des paramètres inconnus*

- ❑ Reconstruction du TS *Quasi-opérationnelle*
- ❑ Reconstruction du TS et de la position de la source *Recherche*
- ❑ Estimation des paramètres physiques *Recherche*



Le problème inverse

$$\text{Vecteur Erreur} \rightarrow \varepsilon = H\sigma - \mu \leftarrow \text{Vecteur Mesures}$$

\swarrow \nwarrow
 Matrice Source-Recepteur Estimateur du TS

Matrice Source-Recepteur

Calculé avec le modèle de dispersion atmosphérique (Abida et al. 2011)



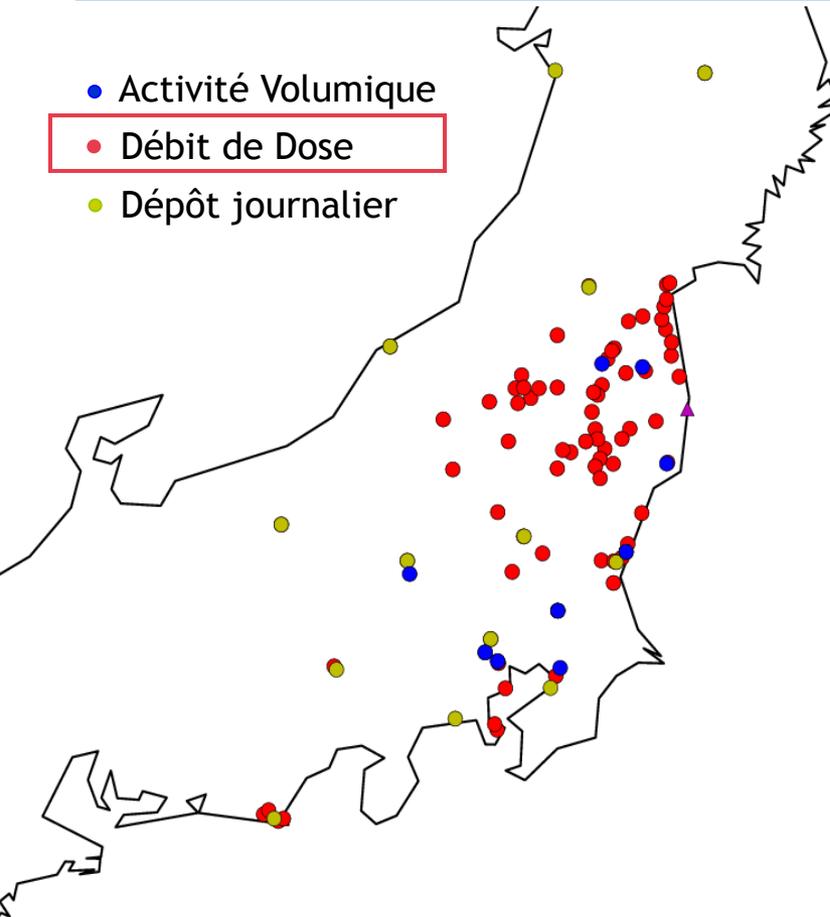
- Objectif : estimer le TS σ qui minimise l'erreur ε

Minimisation de la fonction de coût (utilisation algorithme L-BFGS-B)

$$J(\sigma) = \frac{1}{2}(\mu - H\sigma)^T R^{-1}(\mu - H\sigma) + \frac{1}{2}(\sigma - \sigma_b)^T B^{-1}(\sigma - \sigma_b)$$

- Hypothèses

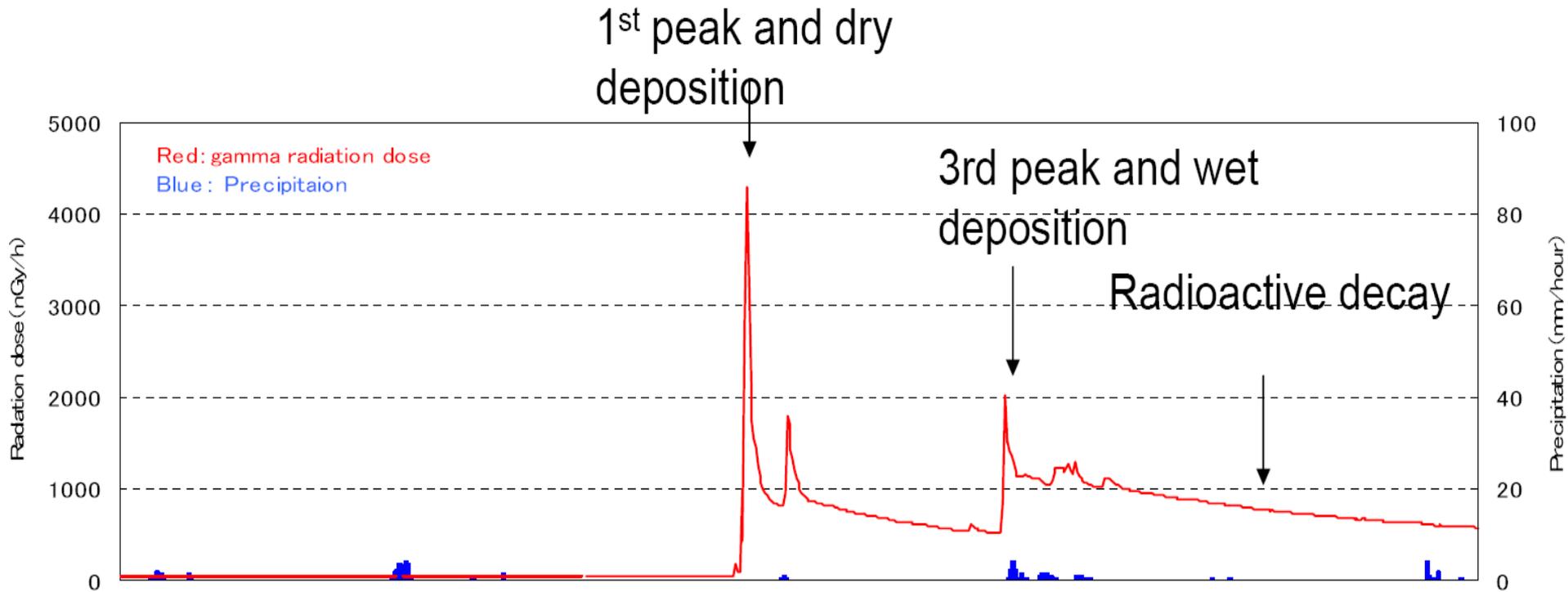
- Position de la source connue
- Nombre de mesures doit être suffisant par rapport au nombre d'inconnus



Obs.	+	-
Activité Volumique	Facile à utiliser (Paramètre du modèle & Composition Isotopique)	Nombre & Fréquence (Très peu de données & Moyennées sur une période de temps)
Dépôt	Facile à utiliser (Paramètre du modèle & Composition Isotopique)	Nombre & Fréquence (Très peu de données & Intégrées sur une période de temps)
Débit de dose	Nombre & Fréquence	Difficile à utiliser (Pas un paramètre du modèle & Agrège toutes les émissions gamma présentes au sol et dans l'air)

➔ **Originalité de l'approche : utilisation des mesures de débit de dose (70 stations pour le TS entre le 11 et le 27 mars).**

Mesures de débit de dose



Comment utiliser le signal ?

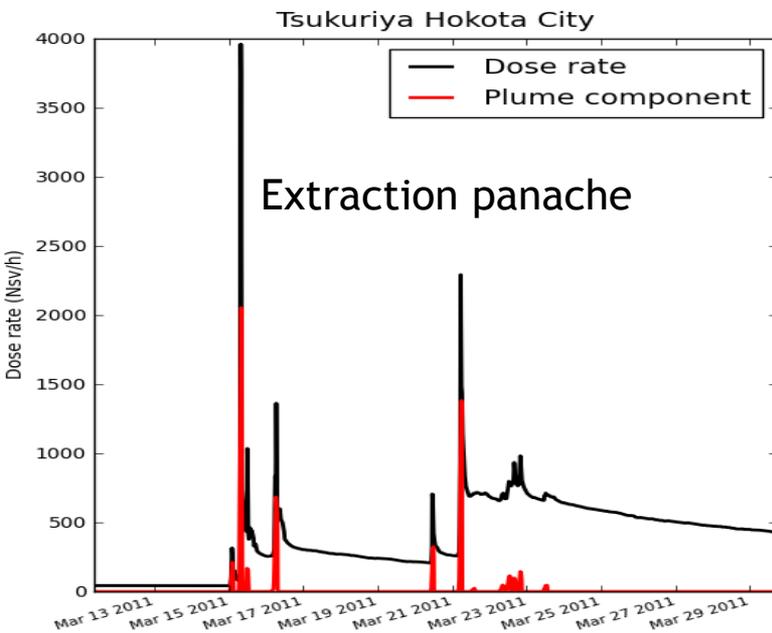
- ❑ Détection du panache qui passe sur une station → périodes de rejet.
- ❑ Pente due à la décroissance radioactive du dépôt → Composition isotopique
- ❑ Intensité du débit de dose → quantités rejetées.

■ Une méthode en deux étapes

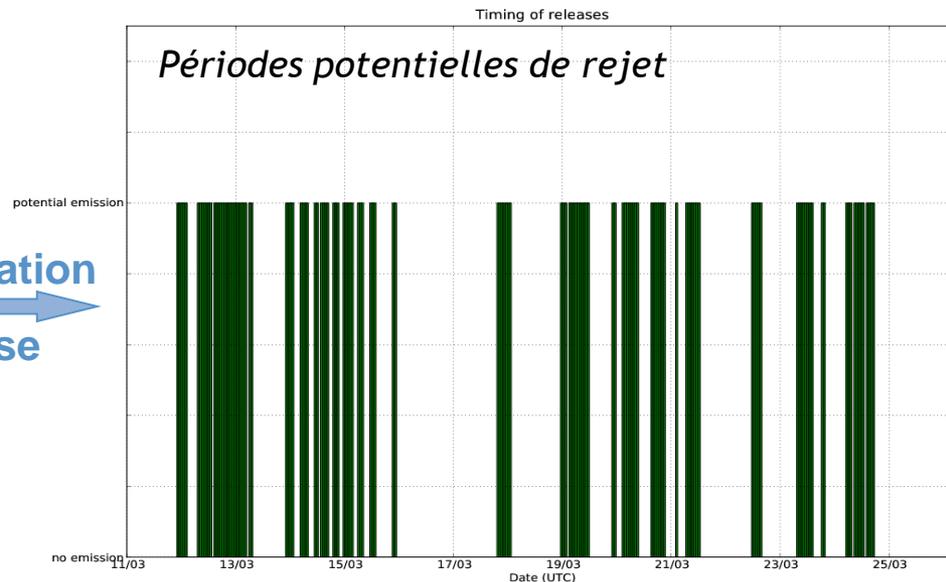
- ❑ Etape 1 : Estimation des périodes potentielles de rejet
- ❑ Etape 2 : Estimation des débits de rejets de chaque radionucléide sur les périodes identifiées en Etape 1.

Etape 1: Modélisation inverse pour estimer les périodes potentielles de rejet

Mesures: extraction panache de 70 stations de débit de dose



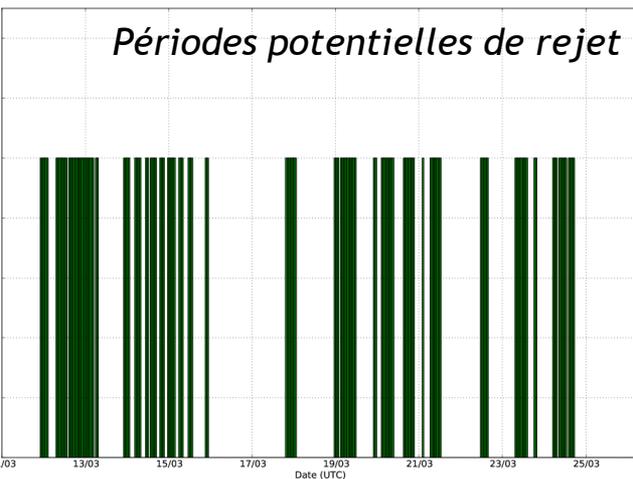
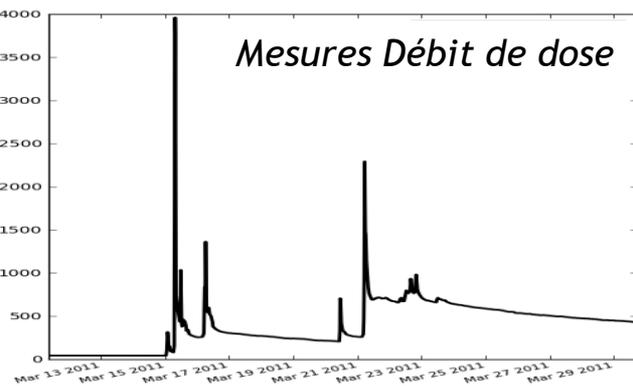
Modélisation
Inverse



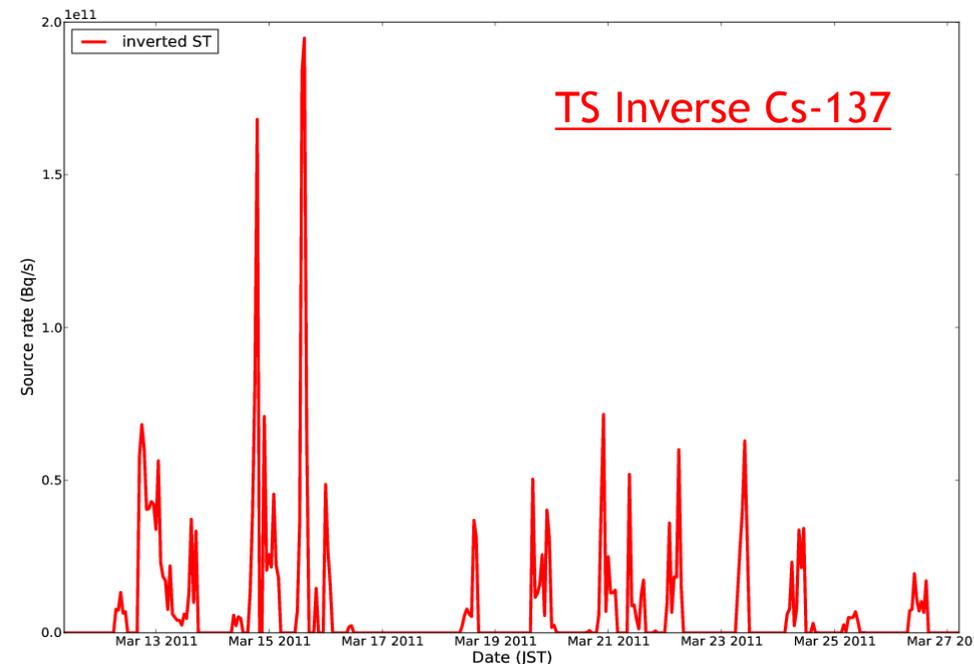
Etape 2: Modélisation inverse pour estimer les débits de rejet pendant les périodes identifiées Etape 1

- ❑ Mesures: Débit de dose complet des 70 stations
- ❑ Contraintes sur les rapports isotopiques

$$0.6 \leq \frac{\sigma_{132Te}}{\sigma_{134Cs}} \leq 16 \quad ; \quad 2 \leq \frac{\sigma_{131I}}{\sigma_{134Cs}} \leq 100 \quad ; \quad 0.1 \leq \frac{\sigma_{133Xe}}{\sigma_{134Cs}} \leq 10000 \quad ; \quad 0.1 \leq \frac{\sigma_{136Cs}}{\sigma_{134Cs}} \leq 0.5$$



Modélisation
Inverse



Comparisons avec d'autres TS

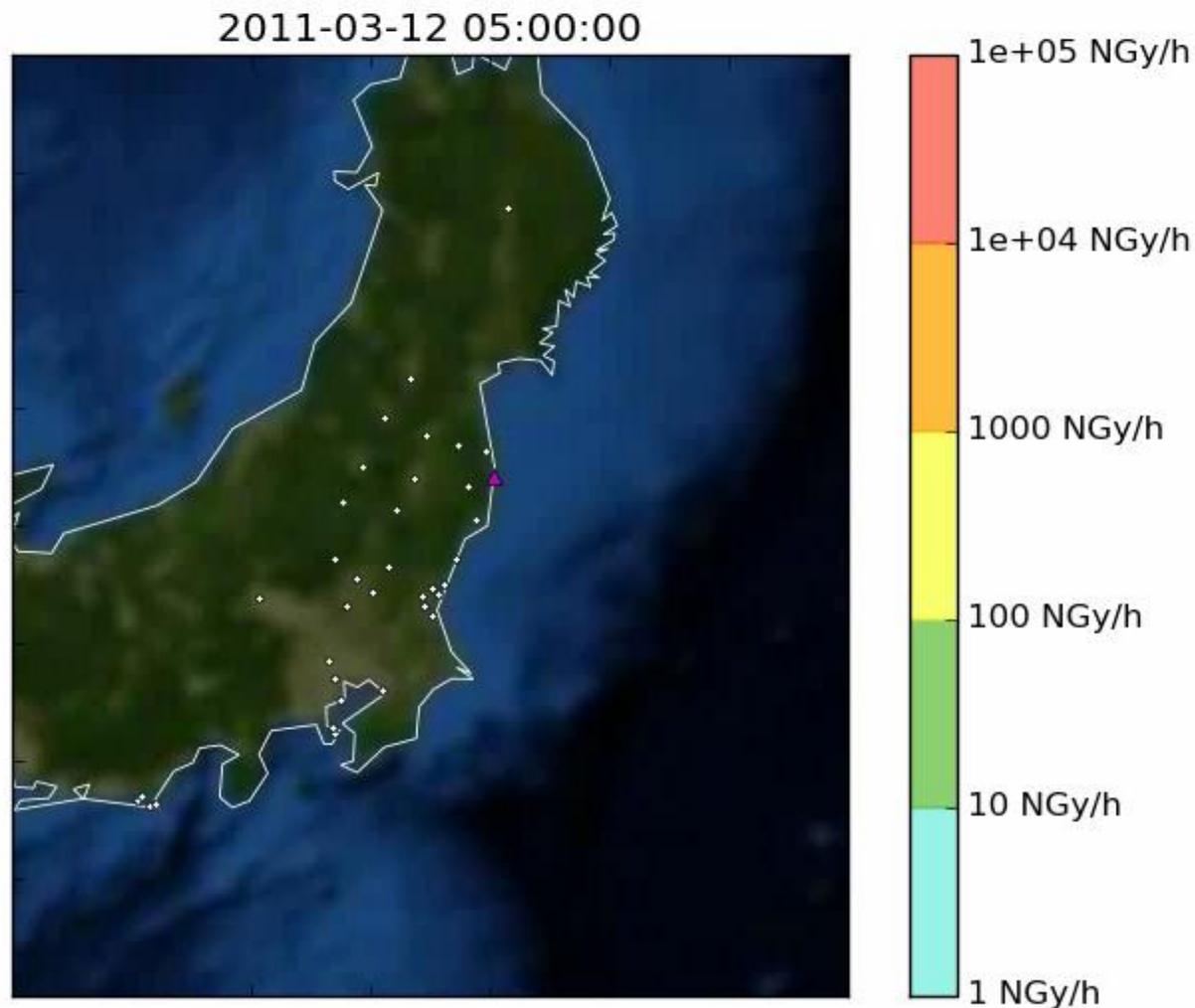
Terme source (PBq)	^{133}Xe	^{131}I	^{132}I	^{137}Cs	^{136}Cs
TS Inverse	12100	103	35.5	15.5	3.7
Mathieu et al. (2012)	5950	197	56.4	20.6	9.8
Winiarek et al. (2012)	-	190-380	-	12-19	-
Terada et al. (2012)	-	150	-	13	-
Stohl et al. (2012a)	13400-20000	-	-	23.3-50.1	-
TEPCO (2012)	500	500	-	10	-

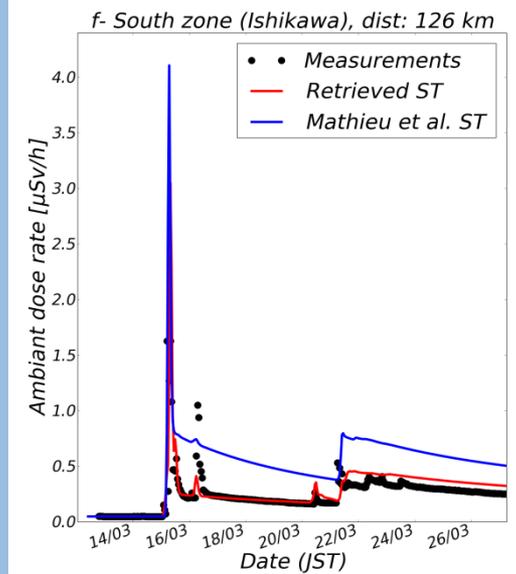
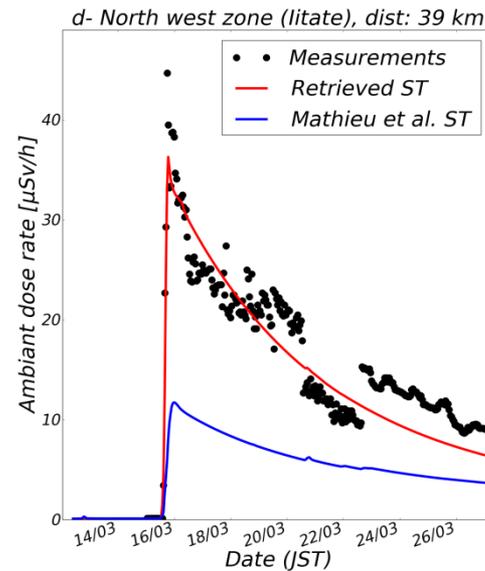
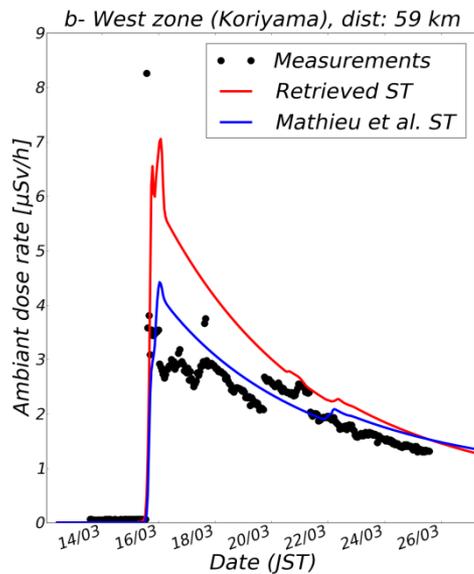
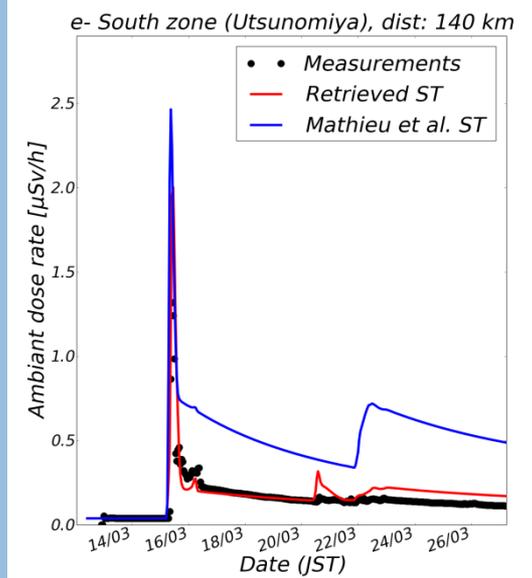
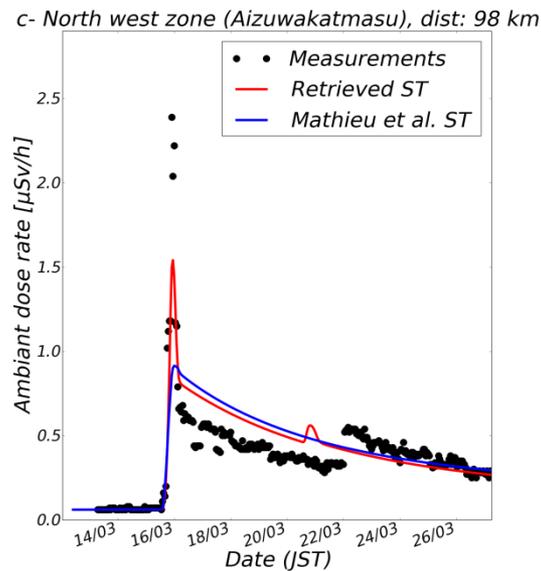
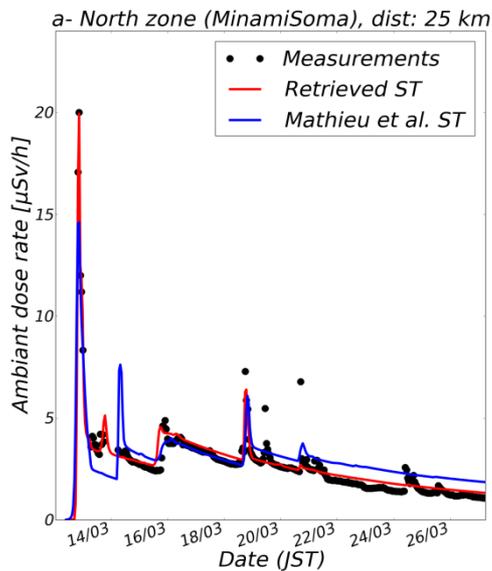
Consistant avec les autres TS.

TS Inverse : probablement trop de gaz rares et pas assez d' ^{132}I

Comparaison modèle-mesures

Débit de dose - composante panache

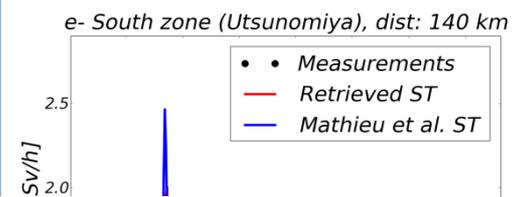
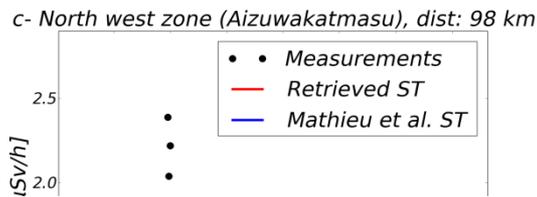
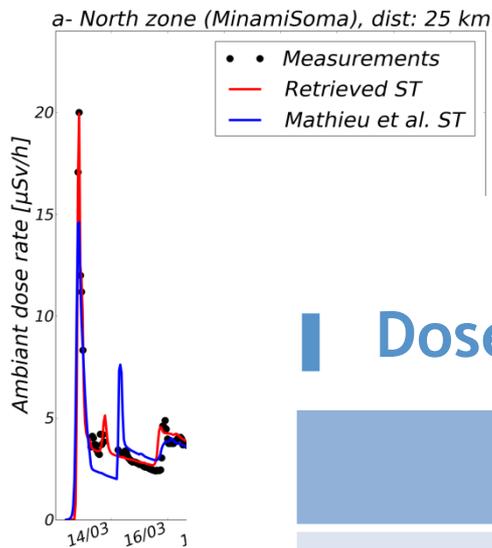




Bon accord modèle-mesures.

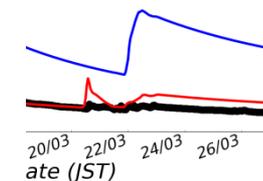
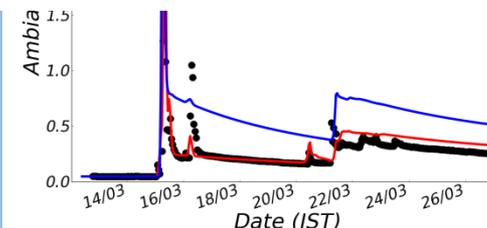
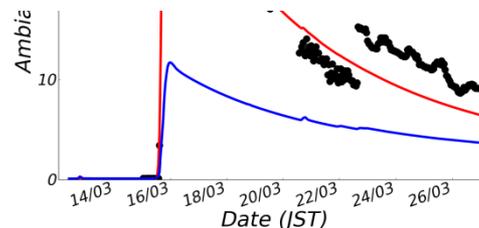
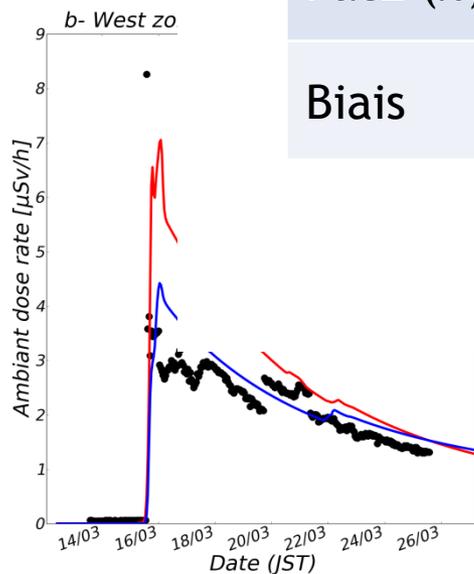
Des pics supplémentaires sont identifiés par la méthode inverse.

Les écarts aux mesures sont principalement dus aux erreurs dans les données météo.

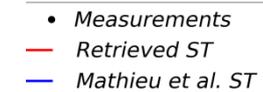


Dose rate

	TS inverse	Mathieu et al. TS
Fac2 (%)	79.8	60.0
Biais	0.42	0.59



shikawa), dist: 126 km

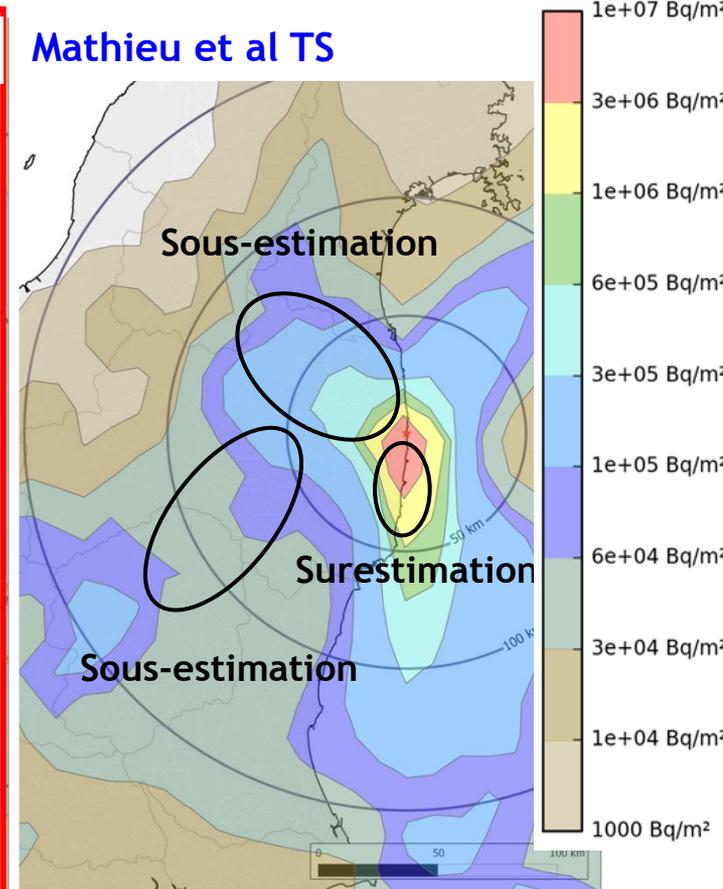
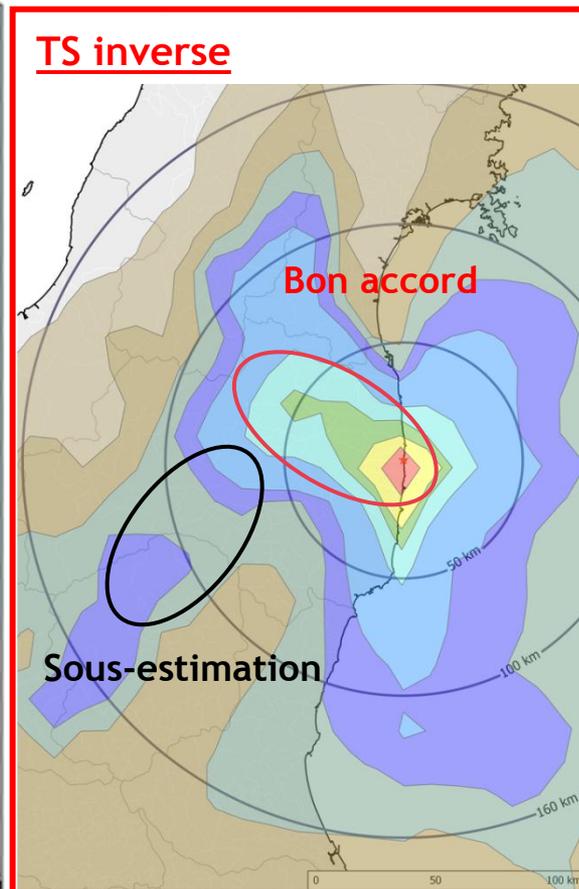
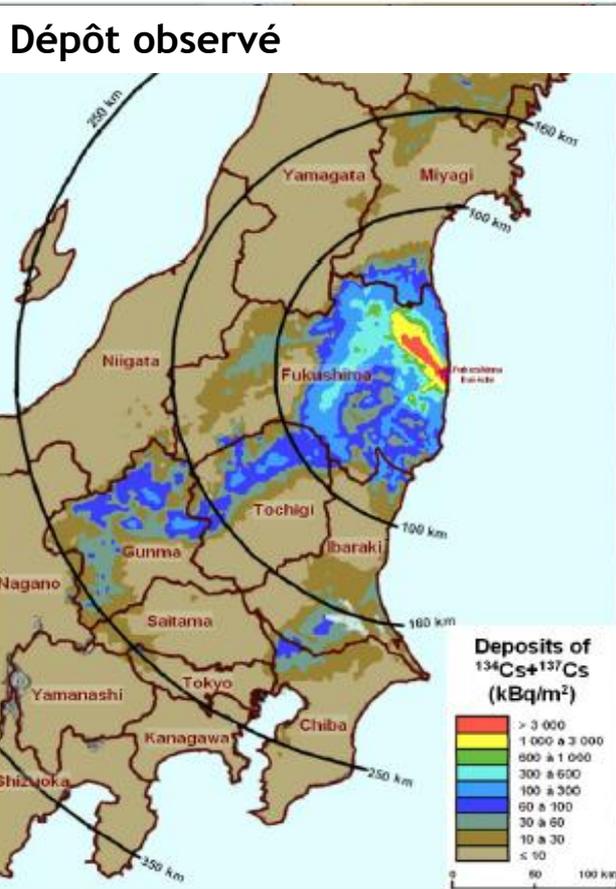


Bon accord modèle-mesures.

Des pics supplémentaires sont identifiés par la méthode inverse.

Les écarts aux mesures sont principalement dûs aux erreurs dans les données météo.

Dépôt total Cs-137+ Cs-134 (non utilisé dans l'inversion)



Lobe NW : le TS permet de le reconstituer.

Accord loin d'être parfait localement (Tochigi et à l'ouest de la préfecture Fukushima).

Les écarts sont principalement dus aux erreurs dans les champs météo (précipitations, vent) et aux modèles de dépôt mis en œuvre.

■ **Méthode inédite pour estimer le terme source d'un accident à partir des mesures de débit de dose**

■ **Performances** Bons résultats obtenus sur le cas de l'accident de Fukushima

■ Limitations

- ❑ Nécessite une bonne couverture spatio-temporelle du territoire par les mesures - des mesures de qualité disponibles rapidement
- ❑ Très dépendant de la qualité des données météo
- ❑ Ne renseigne pas un rejet si il n'est pas mesuré (cf. rejet vers la mer)

■ Utilisation

- ❑ Méthode parfaitement adaptée à la gestion de crise

■ Perspectives

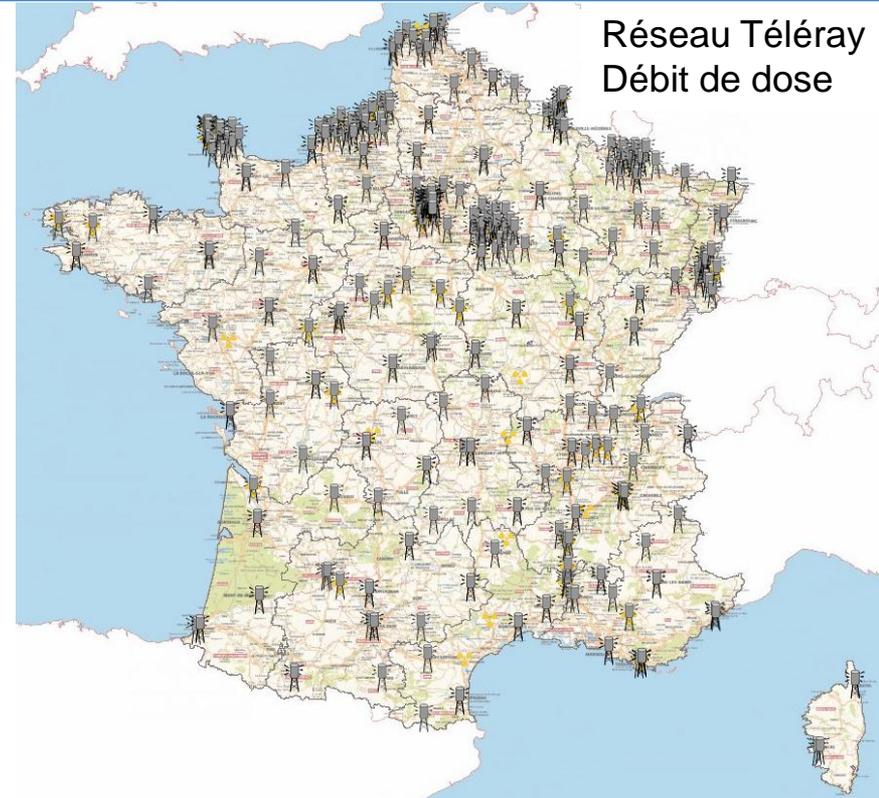
- ❑ Utilisation conjointe d'autres types de mesure (activités volumiques, dépôt).
- ❑ Extension de la méthode au multi-échelles : du local à l'hémisphérique.

➔ *Saunier et al., ACPD 2013 (Disponible en ligne)*

Réseau OPERA-AIR
Activité volumique



Réseau Téléray
Débit de dose



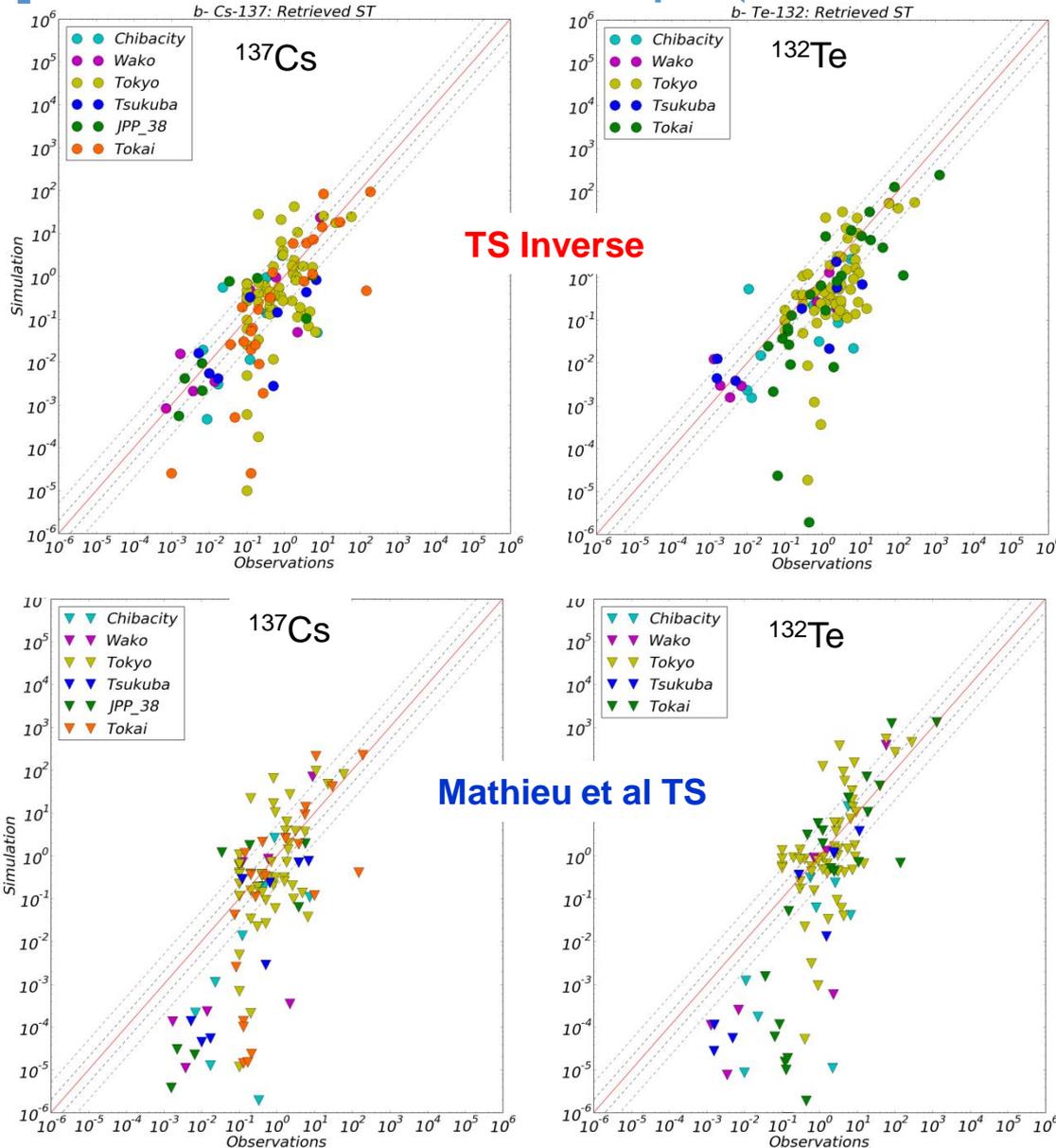
➤ **Méthode pour estimer les émissions à partir des mesures d'activité volumique**

- ❑ 2011-2012 Détection par plusieurs pays d'Europe Centrale d' ^{131}I à l'état de trace provenant de Hongrie (usine de production d'isotopes)
- ❑ 2013 Détection d'une élévation anormale de ^{137}Cs en Scandinavie provenant de Russie

➤ **Méthode pour estimer les émissions à partir des débit de dose**

Merci

Mesures d'activité volumique (non utilisées dans l'inversion)



- Accord modèle-mesure acceptable
- Composition isotopique réaliste mais
- Sous-estimation ^{132}Te

	Inverse Fac10 (%)	Mathieu Fac10 (%)
^{136}Cs	57,8	57,9
^{137}Cs	69,4	63,9
^{131}I	56,1	40,6
^{132}Te	75,4	63,1