

CARTOGRAPHIE DU DEPOT DE ^{137}Cs PAR SPECTROMETRIE GAMMA AEROPORTEE DANS LA REGION DE FUKUSHIMA : SENSIBILITE A LA DISTANCE ENTRE LES LIGNES DE VOL

Pedram MASOUDI¹, Mathieu LE COZ¹, Marc-André GONZE², Charlotte CAZALA¹

¹ IRSN, PSE-ENV/SEDRE
31 avenue de la Division Leclerc, 92260 Fontenay-aux-Roses

² IRSN, PSE-ENV/SEREN
13115 St Paul-lez-Durance

Introduction

Dans les situations post-accidentelles, la spectrométrie gamma aéroportée permet une reconnaissance rapide de la contamination environnementale par des radionucléides à l'échelle régionale. La répétition des campagnes aéroportées permet ensuite d'appréhender l'évolution temporelle de cette contamination. Cependant, divers facteurs (logistiques, économiques, technico-scientifiques) induisent des modifications des plans de vol entre les campagnes successives, en particulier de la distance entre les lignes de vol, pouvant affecter la qualité de l'interprétation des données associées (Sanderson et al., 2008).

L'accident nucléaire de la centrale de Fukushima Daiichi (Mars 2011) a entraîné un rejet massif de substances radioactives dans l'atmosphère. Leur dispersion puis leur dépôt ont conduit à une contamination de la surface continentale, très significative quoique spatialement hétérogène dans un rayon de 80 km autour de la centrale (Masoudi et al., 2018). Afin de reconnaître puis de caractériser ces territoires contaminés, des campagnes de mesure par spectrométrie gamma aéroportée sont réalisées périodiquement depuis 2011, avec une distance entre les lignes de vol variable dans l'espace et dans le temps, comprise entre 600 m et 2 km.

Dans l'optique d'une analyse de l'évolution spatio-temporelle de la contamination en radiocésium dans la région de Fukushima, l'étude présentée vise à quantifier l'influence de la distance entre les lignes de vol sur la cartographie du dépôt de ^{137}Cs déduite des campagnes de mesure correspondantes. Pour cela, des erreurs d'estimation sont calculées en considérant une diminution progressive du nombre de lignes de vol (et donc une augmentation de leur espacement).

Données et Méthode

La campagne de mesure #8, réalisée par le MEXT (Ministère japonais des sciences et technologies) en novembre 2013, est celle qui présente la plus grande densité de données, avec une distance minimale entre les lignes de vol de 600 m. Cette campagne est donc utilisée comme référence pour générer des jeux de données moins denses, par retrait régulier de lignes de vol (1 ligne / 2 ; 2 lignes / 3 ; etc.). Les dépôts de ^{137}Cs associés à la campagne de référence et aux jeux de données appauvris sont ensuite interpolés par krigeage (Chilès et Delfiner, 2012) sur six tuiles de 20 km x 20 km représentatives de la zone contaminée en termes de géomorphologie, d'occupation du sol et de niveau de contamination (Figure 1).

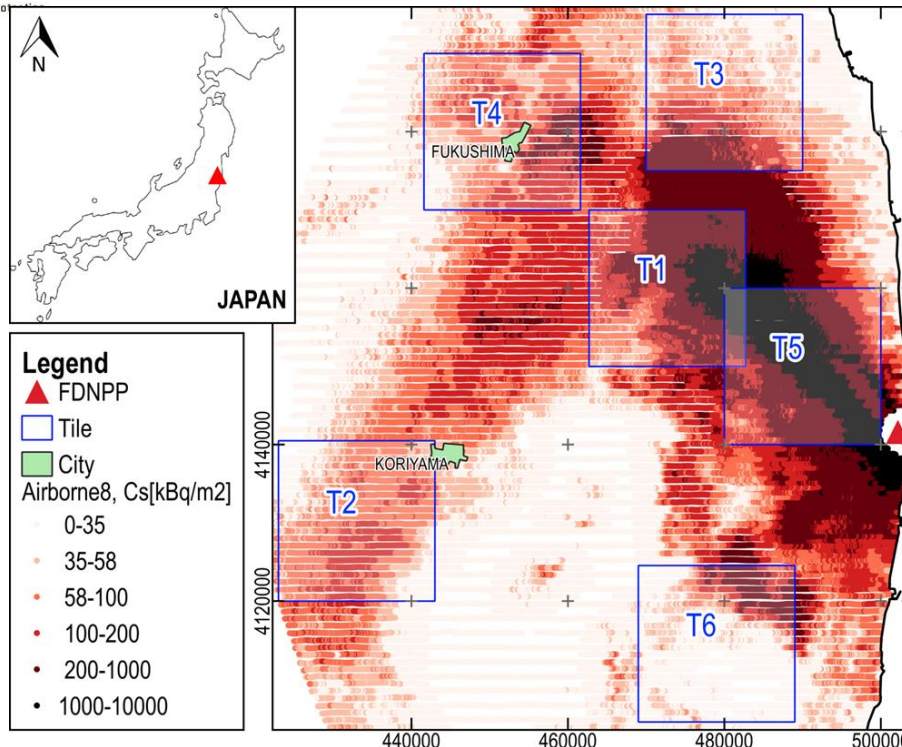


Figure 1. Dépôt de ¹³⁷Cs mesuré par spectrométrie gamma aéroportée (campagne #8) dans la région de Fukushima ; et contour des six tuiles (T1 à T6) de 20 km x 20 km sélectionnées pour l'étude de sensibilité.

La carte interpolée à partir des données de référence et les cartes interpolées à partir des jeux de données de densité réduite sont comparées sur la base de deux critères, une erreur ponctuelle et une erreur de classification. L'erreur ponctuelle est calculée par comparaison des valeurs de dépôt de ¹³⁷Cs sur 100 sites définis aléatoirement :

$$E_p = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^n \frac{|v_i^{sel} - v_i^{all}|}{v_i^{all}}$$

avec E_p l'erreur ponctuelle ; v_i^{all} et v_i^{sel} les dépôts de ¹³⁷Cs au site i extraits des données de référence et de la carte interpolée à partir du jeu de données de densité réduite, respectivement. L'erreur de classification est calculée par comparaison des surfaces pour lesquelles le dépôt de ¹³⁷Cs dépasse un seuil fixé :

$$E_c = \frac{S2+S3}{S1+S2}$$

avec E_c l'erreur de classification ; $S1$ la surface contaminée commune aux cartes interpolées à partir des données de référence et du jeu de données de densité réduite ; $S2$ la surface contaminée sur la carte interpolée à partir des données de référence uniquement ; $S3$ la surface contaminée sur la carte interpolée à partir du jeu de données de densité réduite uniquement.

Résultats

Les résultats montrent une corrélation linéaire ($r^2 > 0.75$) entre les erreurs (ponctuelles et de classification) et la distance entre les lignes de vol (Figure 2). Ainsi, une augmentation de cette distance de 1 km induit, en moyenne : (i) une augmentation de 4% de la différence entre les dépôts de ¹³⁷Cs estimés en un site donné et (ii) une augmentation de 5% de la surface mal classifiée (faux positifs ou faux négatifs sur les cartes interpolées) pour un seuil

de contamination fixé. Cependant, des différences significatives peuvent apparaître selon la tuile et le seuil de contamination considérés.

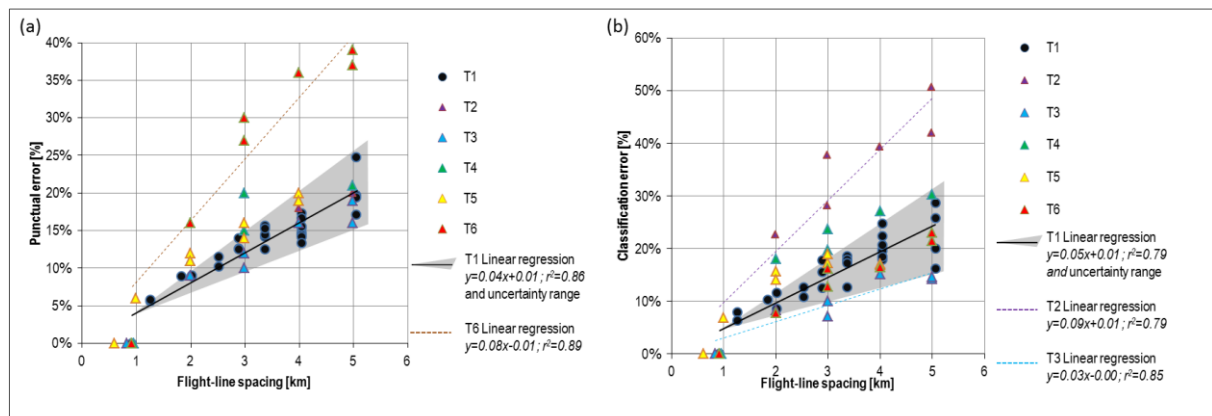


Figure 2. Erreur ponctuelle (a) et erreur de classification pour un seuil correspondant au 3^{ème} quartile du dépôt de ¹³⁷Cs sur la tuile considérée (b) en fonction de la distance entre les lignes de vol pour six tuiles (T1 à T6) de 20 km x 20 km dans la région de Fukushima.

Par ailleurs, des tests de sensibilité complémentaires montrent que l'erreur ponctuelle dépend principalement de la configuration des données à proximité directe du site d'intérêt tandis que l'erreur de classification est liée à une caractérisation insuffisamment précise de la structure spatiale du dépôt de ¹³⁷Cs à l'échelle de la tuile.

Conclusion

Cette étude a permis de quantifier l'influence de la distance entre les lignes de vol sur la cartographie du dépôt de ¹³⁷Cs dans la région de Fukushima. Des erreurs (ponctuelles et de classification) pourront donc être associées aux cartes de dépôt de radiocésium déduites des différentes campagnes de mesure par spectrométrie gamma aéroportée, puis traduites sous forme d'incertitudes pour une évaluation plus pertinente de l'évolution spatio-temporelle de la contamination.

De manière plus générale, les éléments quantitatifs présentés dans cette étude offrent une base intéressante pour discuter de la valeur ajoutée d'une densification des lignes de vol au regard des objectifs et enjeux associés aux campagnes de caractérisation. Par ailleurs, une démarche similaire pourrait être mise en œuvre pour quantifier l'influence de la configuration géométrique des lignes de vol sur la cartographie du dépôt.

Références

Chilès J-P., Delfiner P. (2012) Geostatistics, modeling spatial uncertainty, 2nd edn. A John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey

Masoudi P., Le Coz M., Cazala C. Saito K. (2018) Spatial properties of soil analyses and airborne measurements for reconnaissance of soil contamination by ¹³⁷Cs after Fukushima nuclear accident in 2011. J. Environ. Radioact. (in press)

Sanderson D.C.W., Cresswell A.J., White D.C. (2008) The effect of flight line spacing on radioactivity inventory and spatial feature characteristics of airborne gamma-ray spectrometry data. Int. J. Remote Sens. 29: 31-46

Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet TERRITORIES sur la base d'un financement Euratom 2014-2018 via le programme CONCERT [grant agreement N° 662287]. Cependant, les opinions exprimées dans ce résumé n'engagent que leurs auteurs.