

Sujet de Thèse

Etude de l'interaction entre l'acquisition de données d'analyse (in situ et en laboratoire) et la modélisation statistique/géostatistique : application à la caractérisation radiologique

Sujet proposé par le CEA/Direction de l'Energie Nucléaire

Encadrants CEA : Nadia Pérot (CEA Cadarache) et Marielle Crozet (CEA Marcoule)

Direction de thèse : Céline Lacaux (Université d'Avignon), Bertrand Iooss (EDF R&D) et Delphine Blanke (Université d'Avignon)

Localisation du stagiaire/doctorant : CEA Cadarache, 13108 Saint-Paul-lez-Durance

Contexte industriel

La durée, le coût et les risques des opérations d'assainissement et de démantèlement (A&D) des installations nucléaires dépendent de plusieurs facteurs et en particulier, de l'inventaire initial des radionucléides. La caractérisation radiologique initiale d'une installation est donc une étape cruciale dans la définition d'un scénario d'A&D viable. Ce scénario doit être robuste et optimisé non seulement en ce qui concerne les problèmes techniques, la quantité de déchets produits et la dosimétrie des travailleurs, mais aussi en termes de coûts, de délais et de sécurité. La caractérisation initiale repose sur un plan de mesures in situ, un plan d'échantillonnage et de prélèvements pour des mesures en laboratoires et tous les résultats d'analyse correspondant. En ce qui concerne les sites en milieu moyennement à fortement radioactifs, les premières étapes de la caractérisation *in situ* sont souvent très limitées par des problèmes d'accessibilité ce qui conduit à obtenir peu de données de mesure souvent irrégulièrement réparties. Il est néanmoins essentiel de pouvoir les exploiter rigoureusement en vue d'obtenir des informations fiables pour optimiser l'ensemble des étapes d'A&D.

Sujet scientifique

Dans tout processus analytique, l'adéquation de la méthodologie d'échantillonnage avec les objectifs d'évaluation et la pertinence du traitement statistique des valeurs mesurées impactent la qualité des résultats finaux et l'interprétation qui en découlent.

Ce sujet de recherche en métrologie et statistiques a deux objectifs : développer une méthodologie pour l'optimisation de la stratégie d'acquisition de données de mesures et leur analyse statistique et géostatistique ; évaluer la sensibilité des estimations ainsi obtenues aux paramètres d'analyse (incertitude sur les données initiales, modèle du variogramme, ...) et de la stratégie d'échantillonnage. En effet, la robustesse des cartographies établies pour la

caractérisation initiale d'un site constitue un des enjeux opérationnels majeurs dans le cadre des chantiers d'assainissement des installations nucléaires [1].

Il est par conséquent important de trouver le meilleur compromis entre la stratégie d'acquisition de données et l'analyse statistique/géostatistique de ces dernières. Il s'agit en effet de faire un nombre d'analyses in situ ou en laboratoires nécessaire et suffisant, de qualité (quantifiée par l'incertitude associée) nécessaire et suffisante pour s'assurer de la pertinence de l'analyse statistique/géostatistique et des estimations produites à destination de la personne en charge du projet d'assainissement/démantèlement. Lors des étapes de caractérisation d'une installation en assainissement, l'estimation de la radioactivité globale et de la teneur en plutonium sont par exemple des informations indispensables pour les chefs du projet. Elles participent au dimensionnement du planning, des coûts et de la catégorisation des déchets.

Objectifs de la thèse

L'enjeu scientifique du sujet concerne l'étude des interactions entre la quantité et la qualité des résultats d'analyses in situ et en laboratoire, l'incertitude des paramètres du modèle estimé et la qualité de l'analyse qui en découle, notamment la cartographie de la radioactivité et de teneur en plutonium. L'objectif est de développer une méthodologie générique permettant d'identifier et quantifier la sensibilité des paramètres sur la caractérisation radiologique tels que :

- L'incertitude des mesures - liée elle-même à la méthode d'analyse utilisée, à la matrice de l'échantillon, aux nombres de mesures réalisées, ainsi qu'à la gamme de mesures i.e. proche ou non de la limite de détection : l'analyse de l'incertitude de mesures est une partie intégrante de cette thèse,
- L'incertitude sur le positionnement des mesures in situ et sur celui des échantillons prélevés pour les analyses en laboratoire (correspondant à une étude de l'impact de l'échantillonnage),
- L'incertitude liée aux paramètres de la modélisation statistique/géostatistique mise en œuvre,
- Le nombre de données de mesure disponible.

Les quantités d'intérêt étudiées seront entre autres la cartographie (moyenne du terme source) et l'incertitude associée à cette cartographie (variance, l'intervalle de confiance du terme source par exemple). Le but final de ce projet est de développer un outil de simulation de la cartographie, en amont des analyses, intégrant la variance estimée des paramètres de modélisation et la stratégie d'échantillonnage.

Pour satisfaire les objectifs visés dans cette thèse, il sera important d'approfondir et de résoudre les problématiques statistiques suivantes : méthodes d'analyses de sensibilité et d'incertitudes [2] adaptées à la géostatistique [3], planification d'expériences pour détecter les points chauds à l'aide d'un nombre minimal de mesures [4], développement de méthodes d'analyse statistique et de modèles de krigeage robustes à la faible taille des échantillons [5,6,7], procédés d'estimations automatiques et robustes des paramètres géostatistiques [6,7], ...

La validation de ce travail sera faite sur des jeux de données réels en particulier parmi les cas réels d'étude du projet européen INSIDER (2017-2021). Les résultats de ces travaux seront mis en application dans un projet d'assainissement/démantèlement du CEA.

Encadrement et profil du stagiaire/doctorant

La thèse se déroulera au CEA Cadarache, en collaboration avec le CEA Marcoule sous la supervision de Nadia Pérot et Marielle Crozet. La société Géovariances, spécialisée en géostatistique, participera à l'encadrement. L'étudiant sera inscrit à l'école doctorale de l'Université d'Avignon, sous la direction de Céline Lacaux.

Contacts : celine.lacaux@univ-avignon.fr ; nadia.perot@cea.fr ; marielle.crozet@cea.fr

Profil de l'étudiant :

Etudiants de Etudiant ingénieur ou Master 2

Compétences : Mathématiques appliquées, statistiques.

Thématiques étudiées : Modélisation probabiliste, analyse de données, analyse de risque, small data.

Références

- [1] CETAMA, *Evaluation de l'état radiologique initial et final d'une installation nucléaire en situation d'assainissement*, Rapport CEA-R-6455, 2017
- [2] E. de Rocquigny, N. Devictor and S. Tarantola. *Uncertainty in industrial practice*, Wiley, 2008
- [3] J-P. Chilès and P. Delfiner, *Geostatistics: Modeling spatial uncertainty*, Wiley, 1999.
- [4] S-S. Shieh, J-Z. Chu and S-S. Jang, An interactive sampling strategy based on information analysis and ordinary kriging for locating hot spot regions, *Mathematical Geology*, 37:29-48, 2005
- [5] G. Blatman, T. Delage, B. Iooss and N. Pérot. Probabilistic risk bounds for the characterization of radiological contamination. *The European Journal of Physics - Nuclear Sciences & Technology (EPJ-N)* 3, 23, 2017
- [6] W.G. Müller, *Collecting Spatial Data - Optimum Design of Experiments for Random Fields*, Springer, 2007
- [7] P. Diggle and P.J. Ribeiro, *Model-based Geostatistics*, Springer, 2007