

Développement d'outils d'aide à l'expertise en spectrométrie gamma

La spectrométrie gamma a pour objectif d'identifier et de quantifier les radionucléides émetteurs gamma présents dans un échantillon. Elle fournit à la métrologie nucléaire une méthode d'analyse rapide et non destructive, elle est une brique indispensable pour la surveillance des installations du cycle du combustible en fonctionnement normal ou accidentel.

Les radionucléides recherchés émettent un ou plusieurs photons gamma ayant des énergies et des intensités d'émission caractéristiques. Le principe de la spectrométrie gamma est de chercher dans le spectre mesuré les signatures caractéristiques permettant l'identification et la quantification d'un radionucléide. La mise en œuvre pratique de ce principe rencontre des difficultés : les pics caractéristiques apparaissent sur un fond continu de forme compliquée, les signatures spectrales comportent de nombreuses raies qui peuvent se superposer ou être très proches pour des émetteurs différents. Les outils d'aide à l'expertise existent aujourd'hui et traitent correctement les cas simples, néanmoins dans les cas complexes l'analyse ne peut converger sans l'apport de l'expert qui, par une approche basée sur son expérience, va faire converger la résolution du problème. Le temps nécessaire peut prendre alors de quelques minutes à plusieurs heures dans les cas les plus difficiles (mesure peu de temps après un accident avec des dizaines de radionucléides ; états d'équilibres anormaux dans les chaînes de radioactivité naturelle...).

Le LMRE réalise les analyses par spectrométrie gamma depuis des dizaines d'années. Il dispose des données brutes ainsi que les résultats d'analyse associés de plusieurs dizaines de milliers d'échantillons traités par des experts. L'objectif de la thèse est l'utilisation d'algorithmes d'analyse automatique sur cette base de données pour développer de nouveaux outils d'aide à l'expertise.

Les approches étudiées seront les suivantes :

- Analyse données spectrométriques par méthodes de démixage parcimonieuses:

La méthode classique de prétraitement des données en spectrométrie gamma se fonde sur la recherche de pics individuels. Au cours de cette thèse, une approche par démixage de composantes parcimonieuses, déjà utilisée avec succès en imagerie astrophysique [1] et en spectrométrie de masse pour la biologie [2], sera étendue à la spectrométrie gamma. Ces approches, fondées sur la modélisation parcimonieuse des signaux, permettra la séparation de contributions spectrales élémentaires à partir de mélanges potentiellement complexes (e.g. présentant des corrélations partielles ou superpositions de pics, etc.). Cette approche permettra, d'une part, l'analyse complète du spectre gamma, combinant à la fois les étapes de déconvolution et d'identification, améliorant ainsi la robustesse du traitement par rapport aux diverses sources de contaminations (e.g. bruit, mouvement propre, etc.). D'autre part, cette méthode permettra l'identification conjointe semi-supervisée de radionucléides multiples, basée sur la connaissance des fonctions de réponse des appareils obtenue au travers des étalonnages et de calculs Monte Carlo. L'application de méthodes de démixage devrait conduire à une amélioration significative de l'identification robuste, en particulier à faibles taux de comptage, à partir de mesures uniques ou multiples. L'évaluation des incertitudes associées à ces outils sera regardée en détail.

- Data mining pour l'analyse des données spectrométriques:

La seconde étape consistera en l'application de méthodes récentes en apprentissage statistique, en particulier d'apprentissage profond (i.e. "Deep Learning"), pour la classification de spectres gamma. Cette analyse, opérée à partir de données pré-traitées par démixage parcimonieux, conduira à la classification

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

automatique d'évènements. Dans ce cadre, il sera mis en œuvre des méthodes modernes d'apprentissage tels que les autoencoders [5], dont l'efficacité a été démontrée dans des applications en imagerie. Les méthodes d'apprentissage profond présentent une capacité unique à capturer des corrélations complexes présentes dans de larges bases de données. Leur mise-en-œuvre permettra l'identification et la classification d'évènements mettant en œuvre des combinaisons ou chaînes complexes de radionucléides à partir des bases de données en spectrométrie gamma. Ainsi, l'utilisation de ces méthodes sera particulièrement intéressante pour l'aide à la décision rapide en cas de crise ainsi que pour l'étude et l'identification précise d'états d'équilibres anormaux dans les chaînes de radioactivité naturelle.

Bibliographie:

- [1] Bobin et al., "Sparsity and morphological diversity in blind source separation", IEEE Tr. on Image Processing, 2007.
- [2] Rapin et al, "Application of Non-negative Matrix Factorization to LC/MS data", Signal Processing, 2015.
- [3] Starck et al. "Sparse Image and Signal Processing", Cambridge University Press, 2010.
- [4] Bobin et al, "Sparsity and adaptivity for the blind separation of partially correlated sources", IEEE Tr. on Signal Processing, 2015.
- [5] Vincent et al. "Stacked Denoising Autoencoders: Learning Useful Representations in a Deep Network with a Local Denoising Criterion", JMLR, 2010.

Lieu:

Cette thèse se fera en collaboration entre le laboratoire de mesure de la radioactivité dans l'environnement (LMRE) de l'IRSN d'Orsay et le laboratoire CosmoStat du CEA Saclay.

Profil recherché: le candidat recherché sera détenteur d'un Master 2 Recherche en traitement du signal ou en mathématiques appliquées.

Contacts:

- Anne De Vismes Ott (IRSN): anne.de-vismes@irsn.fr
- Jérôme Bobin (CEA): jerome.bobin@cea.fr

Date limite de candidature: 28 avril 2017