**Contribution aux exercices de prospective 2020-2030**

***Contribution to the 2020-2030 prospective reflection***

**Energie nucléaire et environnement**

*Nuclear energy and environment*

**1) Aperçu / *Overview***

Thème de recherche proposé : Cartographie de la radioactivité environnementale (radionucléides dans l’environnement, démantèlement des installations nucléaires)

Axe principal concerné : radioactivité et environnement

Contributeur(s) (et affiliations) de la proposition : Nicolas ARBOR – IPHC Strasbourg (UMR7178) – Equipe DeSIs

Email du contact de la proposition : nicolas.arbor@iphc.cnrs.fr

Résumé (500 caractères max., incluant les espaces) :

La compréhension du comportement des radionucléides dans les écosystèmes est à la base de l’évaluation des risques d’exposition des populations. Aucun système ne permet actuellement la caractérisation radiologique de grandes surfaces avec une précision suffisante pour identifier et quantifier la distribution surfacique et en profondeur des principaux radionucléides. L’objectif de ce projet est de développer un tel système de cartographie 3D de la radioactivité environnementale.

**2) Description de la question/problématique scientifique rattachée au thème (1 page) / *Description of the scientific issue connected to the topic (1 page)***

La radioactivité est un phénomène présent naturellement dans l’environnement via la décroissance des familles 235U, 238U, 232Th, et du 40K (émetteurs gamma). A cette radioactivité naturelle peut venir s’ajouter la contamination radioactive anthropique (en particulier le 137Cs). Le suivi systématique de la radioactivité dans l’environnement présente un intérêt à la fois scientifique, au travers des travaux de recherche permettant de mieux comprendre le comportement des radionucléides dans les écosystèmes (radio-écologie), et un intérêt sociétal via l’amélioration de l’évaluation des risques d’exposition des populations (radioprotection). Les outils de mesures disponibles actuellement peuvent être classés de manière schématique dans deux catégories bien distinctes mettant l’accent soit sur la précision (exemple de l’analyse par spectrométrie gamma ultra bas bruit de fond d’échantillons en laboratoire ou des mesures en points fixes *in situ*), soit sur la rapidité/praticité (exemple des sondes gamma portatives ou embarquées sur des véhicules terrestres). Le premier type de système permet de fournir une caractérisation très précise de la radioactivité environnementale, avec en particulier l’identification et l’estimation de l’activité des radionucléides présents à différentes profondeurs dans les sols, mais en contrepartie d’un nombre limité de points de mesures. La précision des mesures est ainsi contrebalancée par une couverture géographique très partielle des sites étudiés, ne permettant pas le suivi des radionucléides sur des grandes surfaces ou la recherche de zones de concentration de la radioactivité. Le second type de système permet au contraire de couvrir des surfaces beaucoup plus importantes, mais il n’offre en général qu’une estimation approximative du taux de radioactivité en surface (exprimé en coups/seconde ou en équivalent de dose selon l’étalonnage des systèmes). Seuls les systèmes de spectrométrie gamma héliportés permettent actuellement un suivi précis de la radioactivité environnementale sur de grandes surfaces. Les systèmes héliportés (comme par exemple le système HELINUC du CEA) n’offrent cependant qu’une reconstruction à 2 dimensions (2D) de la distribution des radionucléides. Ils doivent donc être nécessairement complétés par des prélèvements sur site pour obtenir une information sur la distribution en profondeur de la radioactivité. De plus, la complexité opérationnelle (pilote, autorisation, …) et le coût économique limite leur utilisation à des situations exceptionnelles de surveillance du territoire (sureté nucléaire, gestion de crise). La mise en place d’un nouveau système de cartographie à 3 dimensions (position (x,y) + profondeur (z)) de la radioactivité dans l’environnement devra donc associer une sensibilité et un niveau de précision suffisant pour l’identification et la quantification de l’activité des radionucléides, des capacités de reconstruction à 3 dimensions, et des aspects pratiques (rapidité et coût économique limité) permettant la réalisation régulière de mesures.

**Collaborateurs (personnes ou organismes) identifiés ou potentiels (dans et hors IN2P3) :**

L’équipe DeSIs a intégré récemment le projet de recherche CNRS/IN2P3 TERROIR (RN&Biosphère), porté par Gilles Montavon, auquel participe également l’équipe de Radiochimie de l’IPHC. Le projet TERROIR porte sur l’étude du comportement des radionucléides sur le site de la Zone Atelier Territoire Uranifère (ZATU - <https://zatu.org/>). Seules des mesures ponctuelles *in situ* et par prélèvements ont pour le moment été réalisées sur le site de la ZATU. Les cartographies 3D de la radioactivité environnementale permettraient entre autre d’étendre la caractérisation radiologique du site, et de mettre en évidence la présence de zone de concentrations particulièrement intéressantes pour le suivi des radionucléides.

Nous sommes actuellement une seule équipe à travailler sur le développement et la validation du système de mesure, mais l’objectif de cette contribution au groupe de travail 11 des prospectives IN2P3 vise précisément à développer de futures collaborations scientifiques sur la thématique de la mesure de la radioactivité environnementale pour l’étude du comportement des radionucléides dans l’environnement. L’exercice de prospective peut également être l’occasion de mieux définir les applications possibles de ce nouveau système de mesure (radio-écologie, suivi de démantèlement des installations nucléaires, …).

Instruments / Outils impliqués :

Le développement d’un prototype de spectromètre gamma embarqué par drone est en cours de finalisation au sein de l’équipe DeSIs de l’IPHC, la validation expérimentale du système complet devant avoir lieu au tout début de l’année 2020. En plus du système de spectrométrie gamma embarquée par drone, l’équipe dispose de l’équipement nécessaire pour la validation expérimentale de la méthode de reconstruction de la distribution des radionucléides à 3 dimensions (sources étalons, système de spectrométrie gamma bas bruit de fond, …).

**3) Suggestion de projet(s) pouvant répondre à la question/problématique proposée (1 page max.) / *Suggestion of project(s) addressing the issue proposed (1 page max)***

Le groupe DeSIs de l’IPHC Strasbourg développe actuellement un système de spectrométrie gamma embarqué sur drone permettant une cartographie (2D) précise et à grande échelle des niveaux de radioactivité dans l’environnement dans une perspective de radioprotection. Le développement récent des drones a permis de réduire de manière significative le cout de la spectrométrie gamma aéroportée. La résolution spatiale des mesures est grandement améliorée par rapport aux systèmes héliportés (de l’ordre du mètre). De plus, le niveau d’intervention humaine peut être réduit à son minimum via la programmation des lignes de vol (gps) et l’analyse automatique des données. Du fait de la miniaturisation du système de détection (faible efficacité de détection), les systèmes par drone développés à ce jour ne concernent cependant que la gestion de situations de crise (accident nucléaire, terrorisme) ou les contrôles de contamination en intérieur. Dans ce cas, le signal radioactif est assez important et l’efficacité de détection n’est alors pas un problème. L’utilisation de la spectrométrie gamma par drone pour un suivi de la radioactivité environnementale, où les radionucléides sont présents sous forme de traces (ppm), nécessite une rupture technologique pour pallier à la très faible statistique de comptage et atteindre une précision de mesure suffisante. Les fluctuations statistiques importantes, associée à des perturbations de la mesure par l’environnement (atténuation du signal dans le sol, végétation, altitude de vol, radon, …), rendent indispensable le traitement statistique avancé des spectres expérimentaux obtenus et l’application de nombreuses corrections pour remonter à l’activité absolue des radionucléides. Le groupe DeSIs a justement développé en 2016 des algorithmes permettant d’améliorer de manière significative (jusqu’à 50%) la précision des mesures par spectrométrie gamma héliportée [2,3,4]. Ces algorithmes ont été adaptés aux spécificités de la mesure par drone afin de pouvoir reconstruire une cartographie 2D de la signature de chaque radionucléide.

Notre projet consisterait à exploiter les données de ce système de spectrométrie gamma embarqué par drone pour la problématique de l’étude du comportement et des mécanismes de transferts des radionucléides dans l’environnement. Le système dans son état actuel permet de reconstruire une cartographie 2D de l’activité spécifique à chaque radionucléide (en particulier 137Cs, 235U, 232Th, 40K). L’estimation de l’activité se base sur une déconvolution du spectre global donnant accès au spectre en énergie de chaque radionucléide. Le spectre reconstruit étant impacté par l’atténuation des signaux dans le sol, une analyse approfondie des spectres doit permettre d’extraire des informations sur la distribution en profondeur des radionucléides. Cela nécessitera de développer des algorithmes d’analyse statistique avancés (type apprentissage automatique) permettant de déterminer les caractéristiques spectrales les plus importantes pour l’estimation de la distribution en profondeur. Ces algorithmes utiliseront pour cela une base de données générée à partir d’une modélisation Monte Carlo prenant en compte l’ensemble de l’environnement de mesure (composition des sols, topographie, altitude de vol, contamination du radon dans l’air, …) qui modifient les caractéristiques des rayonnements (flux, énergie, …) avant leur détection au niveau du drone. L’estimation de la distribution des radionucléides dans les sols permettrait ainsi de reconstruire des cartographies à 3 dimensions de l’activité spécifique de chaque radionucléide dans l’environnement. Le suivi systématique de sites identifiés (telle que la ZATU) pourrait ainsi permettre la constitution de bases de données utiles au développement des modèles radio-écologiques, ou encore de vérifier l’intégrité des futurs chantiers de démantèlement des installations nucléaires (en particulier le site de Fessenheim).

\*

**Merci de renvoyer ce document à** [**prosp2020-GT11-copil-l@in2p3.fr**](mailto:prosp2020-GT11-copil-l@in2p3.fr) **avant le   
1er Novembre 2019**

***Please send this document to*** [***prosp2020-GT11-copil-l@in2p3.fr***](mailto:prosp2020-GT11-copil-l@in2p3.fr) ***before   
November 1rst, 2019***