**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 :

*Research topic of the proposition :*

Spéciation du Tritium Organiquement Lié dans des bio-indicateurs de fleuves français (STOL)

Axe principal concerné (**voir la liste des thèmes en fin de document**) :

*Main research topic (****see the list of research topics at the end of this document****) :*

Radioactivité et environnement : acquisition de données de base (spéciation, ligands), modélisation, processus de transferts, mesures de très basses radioactivités. Application au comportement des radionucléides dans le biotope, microorganismes, exploration de procédés de remédiation.

Contributeur(s) (et affiliations) de la proposition :

*Proposition’s author(s) and affiliations :*

Olivier Péron, Gilles Montavon (Subatech)

Mireille Del Nero (IPHC)

Email du contact de la proposition :

*E-mail of the corresponding author :*

olivier.peron@subatech.in2p3.fr

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

*Summary (500 characters maximum, including spaces) :*

Les origines, la rémanence et l’impact d’un marquage environnemental, en lien direct avec les activités anthropiques, sont au cœur des questions sociétales. Le tritium, l’isotope radioactif de l’hydrogène, suit le cycle de l’eau dans l’environnement et peut ainsi être intégré à la matière organique. La proposition STOL vise à mieux comprendre les mécanismes des échanges d’atomes d’hydrogène labiles de matrices environnementales prélevées dans les fleuves de La Loire et le Rhin.

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

Le tritium (3H ou T), l’isotope radioactif de l’hydrogène (émetteur pur, énergie maximum 18,6 keV, période de demi-vie 12,3 ans) est relâché dans l’environnement (effluents KER/SEK), de façon contrôlée et réglementée, régulièrement au niveau des Centres Nucléaires de Production d’Electricité (CNPE) présents sur le territoire français. A titre d’exemple, en amont de l’estuaire de La Loire, sont localisés cinq (CNPE), quatre sur La Loire et un sur l’un de ses affluents La Vienne. Le tritium se comporte principalement dans l’environnement selon le cycle de l’eau (HTO ou eau tritiée) et peut, lors de la photosynthèse, intégrer le métabolisme des molécules organiques dans les organismes vivants et former le tritium organiquement lié (TOL). Le TOL regroupe les formes échangeable et non-échangeable, respectivement TOL-E et TOL-NE[[1]](#footnote-1), dont cette dernière peut présenter un risque de rémanence. Cependant cette différenciation entre TOL-E et TOL-NE ne fait pas consensus[[2]](#footnote-2). L’IAEA (International Atomic Energy Agency) propose dans son programme EMRAS une autre définition. Cette dernière inclut sous le terme TOL-NE, à la fois le tritium lié aux atomes de carbone et le tritium ‘‘enfoui’’ (buried tritium), *i.e.* le tritium se trouvant en position échangeable dans des biomolécules mais inaccessible lors d’échanges isotopiques en raison de la conformation des molécules considérées. Ces considérations sur la nature des liaisons entre l’hydrogène disponible et la matière organique revêtent une importance particulière lorsque l’on compare les niveaux de tritium dans la matière organique à ceux de tritium dans l’eau du milieu naturel environnant. La compréhension de la spéciation du tritium dans l’environnement permettra de mieux appréhender les interprétations quant à sa bio-incorporation. L’augmentation potentielle de la production de tritium par le biais de futures installations telles que ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) - avec un prévisionnel d’extraction de 3Hde 20-25 kg -, et EPR (Evolutionary Power Reactor), ainsi que l’évolution des modes de gestion de déchets nucléaires (*e.g.*, mise en service d’entreposages de décroissance dédiées aux déchets tritiés), justifie ce besoin de connaissances sur son comportement. Une synthèse des connaissances sur le tritium parue en 2010[[3]](#footnote-3) et actualisée en 2017[[4]](#footnote-4) fait le constat d’un manque de connaissances fondamentales sur cet élément. D’un point de vue fondamental et sociétal, l’étude de la spéciation de l’hydrogène dans les matrices environnementales est un préalable indispensable à l’amélioration des connaissances sur les temps de résidence, et donc sur l’impact des composés présents dans la matière organique tritiée. Ces questions du devenir et de l’impact du tritium se posent également avec acuité dans le contexte du déclassement des installations nucléaires, où la conversion potentielle de ces zones industrielles pour d’autres types d’utilisation des territoires exige le développement de méthodologies robustes pour mieux évaluer, comprendre et anticiper l’état et la santé des écosystèmes sur le moyen terme, i.e., avant et pendant le démantèlement ainsi qu’au cours de la transition énergétique. Ce projet se construit ainsi dans la continuité du projet « Juxta Rhenum » de l’Initiative d’Excellence de l’Université de Strasbourg et s’insère également dans le cadre de l’Observatoire Homme-Milieux Fessenheim nouvellement créé qui se consacrera aux conséquences environnementales, écologiques, économiques et sociales de l’annonce de la fermeture puis du démantèlement du CNPE de Fessenheim (<https://inee.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/lancement-de-lobservatoire-hommes-milieux-fessenheim>) et de l’Observatoire des Sciences de l’Univers Nantes Atlantique (OSUNA, [https://osuna.univ-nantes.fr](https://osuna.univ-nantes.fr/accueil/osuna-observatoire-des-sciences-de-l-univers-de-nantes-atlantique-484158.kjsp)). Ainsi, il est proposé ici de mieux comprendre le devenir du tritium dans l’environnement et d’appréhender plus finement les mécanismes d’échanges dans des matrices cibles tels des bioindicateurs.

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

*Identified of potential collaborators (people or organizations, in- and outside IN2P3) :*

IRSN et CEA

Instruments/Outils impliqués :

*Facilities/tools involved :*

**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)***

Comme annoncé dans la première partie de ce document, la nature structurelle du tritium déclinée sous le terme TOL-NE fait débat dans la communauté et plusieurs définitions sont envisagées. Ce non consensus peut rendre délicates les interprétations des résultats analytiques qui sont ainsi à considérer avec précaution. De plus, la mesure du TOL-NE dépend du protocole opératoire utilisé, protocole non standardisé à ce jour dans la communauté internationale. Par exemple, l’étape d’échange isotopique ou labile, qui permet d’avoir accès indirectement au TOL-NE se fait le plus souvent par le biais d’un bain d’eau atritiée[[5]](#footnote-5). En effet, le TOL-E de l’échantillon solide, très labile, s’échange avec les atomes d’hydrogène de l’eau du bain. Cependant au cours de cette étape, l’échange isotopique n’est pas le seul processus engagé et il peut y avoir dissolution d’une partie des composés organiques, présents dans la matrice, contenant potentiellement des atomes de tritium non échangeables. Ceci peut avoir pour effet de mal estimer la mesure du TOL-NE : une partie du TOL-NE s’ajoutant au TOL-E. Afin de pallier ce biais, une ligne de marquage isotopique en atmosphère tritiée[[6]](#footnote-6) sera utilisée sur des matrices cibles issues de prélèvements de bio-indicateurs de La Loire et Le Rhin. Le projet STOL diffère des autres travaux, initiés dans la paléoclimatologie, pour lesquels les échanges isotopiques ont été réalisés à partir du deutérium et à des températures autour de 10°C et à plus de 100°C [[7]](#footnote-7)-[[8]](#footnote-8),[[9]](#footnote-9),[[10]](#footnote-10),[[11]](#footnote-11),[[12]](#footnote-12),[[13]](#footnote-13),[[14]](#footnote-14),[[15]](#footnote-15),[[16]](#footnote-16),[[17]](#footnote-17). Peu de travaux ont été réalisés à partir du tritium sous forme vapeur[[18]](#footnote-18)-[[19]](#footnote-19),[[20]](#footnote-20) en lien direct avec la problématique environnementale détaillée ici.

Durée : 3 ans

Budget : 90 k€

\*

**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***

**Liste des thèmes**

* Physique des réacteurs : modélisation et expérimentation, neutronique, thermohydraulique, couplage multi-physique, acquisition de données de base (sections efficaces, évaluation des données nucléaires, données de thermohydraulique), physique de la sous-criticité, études de scénarios, ouverture interdisciplinaire : approche technico-socio-économique (prix, coût, ressources, ...). Application aux réacteurs actuels et innovants, études de scénarios...
* Radiochimie des matières nucléaires : données de base (spéciation, interaction avec ligands), compréhension des processus de dissolution, de séparation, processus de diffusion, modélisation. Application au traitement des combustibles usés, processus de dissolution et d'extraction, conditionnement des radionucléides, diffusion des radionucléides dans un site de stockage (matériaux, barrière, argile)...
* Irradiation des matériaux nucléaires : compréhension des processus d'endommagement par les ions et neutrons, acquisition de données de base, modélisation. Application aux matériaux de structures et combustible, tenue des déchets nucléaires à l'irradiation, impact de l'irradiation dans les gisements...
* Radioactivité et environnement : acquisition de données de base (spéciation, ligands), modélisation, processus de transferts, mesures de très basses radioactivités. Application au comportement des radionucléides dans le biotope, microorganismes, exploration de procédés de remédiation.

***Research topics :***

* Reactor physics : modelling and experimentation, neutronics, thermohydraulics, multi-physics coupling, basic data acquisition (cross sections, evaluation of nuclear data, thermohydraulics data), subcriticality physics, scenario studies, interdisciplinary activities : technical-socio-economic approach (price, cost, resources, etc.). Application to current and innovative reactors, scenario studies....
* Radiochemistry of nuclear materials : basic data (speciation, interaction with ligands), understanding of dissolution, separation, diffusion processes, modelling. Application to the treatment of spent fuels, dissolution and extraction processes, conditioning of radionuclides, diffusion of radionuclides in a storage site (materials, barrier, clay)...
* Irradiation of nuclear materials : understanding of ion and neutron damage processes, basic data acquisition, modelling. Application to structural and fuel materials, resistance of nuclear waste to irradiation, impact of irradiation in deposits...
* Radioactivity and environment : acquisition of basic data (speciation, ligands), modelling, transfer processes, measurements of very low radioactivity. Application to the behaviour of radionuclides in the biotope, microorganisms, exploration of remediation processes.

1. *Kim S. B., Baglan N., Davis P. A., J. of Environmental Radioactivity; 126 (2013) 83-91* [↑](#footnote-ref-1)
2. *EMRAS (Environmental Modelling of Radiological Safety) Program, Modelling the Environmental Transfer of Tritium and Carbon-14 to Biota and Man. Final Report, Tritium and Carbon-14 Working Group. IAEA, Vienna, Austria 2010.* [↑](#footnote-ref-2)
3. *ASN. Livre blanc du tritium. Paris, 2010* [↑](#footnote-ref-3)
4. *IRSN, rapport PRP-ENV/SERIS/2017-00004, Actualisation des connaissances acquises sur le tritium dans l’environnement, 2017.* [↑](#footnote-ref-4)
5. *Baglan, N.; Ansoborlo, E.; Cossonnet, C.; Fouhal, L.; Deniau, I.; Mokili, M.; Henry, A.; Fourré, E.; Olivier, A. Radioprotection 2010, 45, 369-390* [↑](#footnote-ref-5)
6. *Péron, O., Fourré, E., Pastor, L., Gégout, C., Reeves, B., Lethi, H.H., Rousseau, G., Baglan, N., Landesman, C., Siclet, F., Montavon, G., Chemosphere 2018, 196, 120-128.* [↑](#footnote-ref-6)
7. *Epstein, S.; Yapp, C. J.; Hall, J. H. Earth and Planetary Science Letters 1976, 30, 241-251* [↑](#footnote-ref-7)
8. *Estep, M. F.; Dabrowski, H. Science 1980, 209, 1537-1538* [↑](#footnote-ref-8)
9. *Northfelt, D. W.; DeNiro, M. J.; Epstein, S. Geochimica et Cosmochimica Acta 1981, 45, 1895-1898.* [↑](#footnote-ref-9)
10. *DeNiro, M. J. Earth and Planetary Science Letters 1981, 54, 177-185* [↑](#footnote-ref-10)
11. *Smith, J. W.; Rigby, D.; Schmidt, P. W.; Clark, D. A. Nature 1983, 302, 322-323.* [↑](#footnote-ref-11)
12. *Schimmelmann, A.; DeNiro, M. J. Geochimica et Cosmochimica Acta 1986, 50, 1485-1496* [↑](#footnote-ref-12)
13. *Schimmelmann, A. Anal. Chem. 1991, 63, 2456-2459* [↑](#footnote-ref-13)
14. *Feng, X.; Krishnamurty, R. V.; Epstein, S. Geochimica Cosmochimica Acta 1993, 57, 4249-4256.* [↑](#footnote-ref-14)
15. *Filot, M. S.; Leuenberger, M.; Pazdur, A.; Boettger, T. Rapid Communications in Mass Spectrometry 2006, 20, 3337-3344* [↑](#footnote-ref-15)
16. *Sauer, P. E.; Schimmelmann, A.; Sessions, A. L.; Topalov, K. Rapid Communications in Mass Spectrometry 2009, 23, 949-956.* [↑](#footnote-ref-16)
17. *Kelly, J. F.; Bridge, E. S.; Fudickar, A. M.; Wassenaar, L. I. Rapid Communications in Mass Spectrometry 2009, 23, 2316-2320.* [↑](#footnote-ref-17)
18. *Lang, A. R. G.; Mason, S. G. Canadian Journal Chemistry 1960, 38, 373-387* [↑](#footnote-ref-18)
19. *Sepall, O.; Mason, S. G. Canadian Journal Chemistry 1961, 39, 1944-1955.* [↑](#footnote-ref-19)
20. *Rosson, R.; Jakiel, R.; Kahn, B. The Journal of Physical Chemistry B 1998, 102, 10342-10346* [↑](#footnote-ref-20)