

Conseil Scientifique de l'IN2P3 des 27 et 28 octobre 2016

Introduction Générale sur la Radiochimie à l'IN2P3

1- Les thématiques couvertes par le terme Radiochimie

La radiochimie est une discipline à part entière qui couvre un très large domaine d'études portant sur la physicochimie des radionucléides, la physicochimie sous rayonnements ionisants, les matériaux pour le nucléaire, la métrologie et la dosimétrie des rayonnements, la production de radionucléides et le traçage isotopique. Elle s'applique autant aux thématiques de l'énergie qu'à celles de l'environnement et de la santé et occupe une place clé dans de nombreux enjeux sociétaux de première importance.

2- Enjeux Sociétaux

Tout d'abord, dans le domaine de l'énergie, la radiochimie intervient fortement dans l'ensemble du cycle du combustible, depuis l'extraction de l'uranium jusqu'au stockage des déchets (voir annexe 1). Dans les années à venir, des mines devront être exploitées en développant de nouvelles technologies, notamment afin d'utiliser des ressources minérales non conventionnelles où l'uranium et le thorium sont présents sous de nouvelles formes chimiques ou en très faibles quantités.

Le développement des nouvelles générations de réacteurs nucléaires nécessitera l'élaboration de nouveaux matériaux (combustible, matériaux de structure) ainsi que la compréhension des phénomènes de radiolyse et de diffusion de radionucléides dans ces matériaux. Par ailleurs, ces futurs réacteurs pourraient permettre d'incinérer certains actinides mineurs et nécessitent donc la recherche de nouvelles méthodes de séparation de ces radioéléments. Ces méthodes d'extraction ont également un enjeu stratégique plus large, notamment dans le recyclage des lanthanides. Les calculs de scénarios et les calculs neutroniques de cœur de réacteurs nécessitent la connaissance des sections efficaces de différents isotopes. La détermination de ces données est réalisée à partir de cibles d'isotopes purs qui sont préparées selon des protocoles développés par la radiochimie.

La radiochimie jouera également un rôle déterminant dans la problématique du démantèlement des anciennes centrales nucléaires et la gestion des déchets associés, sujet sociétal majeur des années/décennies à venir, et qui nécessite la mise en place de nouveaux programmes de recherche amont, innovants et ambitieux.

L'enjeu énergétique rejoint l'enjeu environnemental avec la problématique du stockage des déchets et des impacts environnementaux et sanitaires, dans une situation normale d'exploitation (mines, usines de traitement, rejets des centrales, ...), ou dans le contexte d'accidents, et notamment ceux survenus à Tchernobyl et à Fukushima. Il est ainsi indispensable d'approfondir les connaissances concernant le comportement des radioéléments dans l'environnement. Il est en particulier nécessaire de connaître leur spéciation en présence de phases minérales, de matière inorganique et organique naturelle, de microorganismes et de la flore pour définir des sites de stockage sûrs, des scénarii de transfert réalistes et des méthodes de remédiation adaptées. La métrologie des radionucléides est également étroitement liée à l'enjeu environnemental avec la recherche constante de nouvelles méthodes pour atteindre des mesures d'activité à très bas seuil.

Enfin, l'utilisation de radionucléides dans le domaine de la santé a révolutionné les méthodes de diagnostic médical. La radiochimie est la clé de voute de ce domaine avec la production de radionucléides, de leur complexation afin de cibler des organes spécifiques ou des tumeurs pour de l'imagerie médicale et de la radiothérapie. S'ils peuvent servir la médecine, les radionucléides peuvent également être toxiques. Dans ce cas, il est important de comprendre leur comportement dans le corps afin d'évaluer leur impact en terme de dose et d'aider à la recherche de moyens d'élimination/décontamination.

3- Les acteurs en France : CNRS : IN2P3 / INC – CEA – IRSN – ANDRA

Le but n'est pas ici de faire un état des lieux exhaustif mais de citer les principaux organismes et leurs principales missions liées aux thématiques de la radiochimie.

- CEA : énergie nucléaire, cycle du combustible.

Avec en particulier le centre de Marcoule avec ATALANTE (installation de recherche en radiochimie) et L'Institut de Chimie Séparative de Marcoule (ICSM) créée en 2007, UMR 5257 : CEA – CNRS (Institut de Chimie)- Université Montpellier – ENSC de Montpellier. (<http://www.icsm.fr/>).

- ANDRA : Recherche des solutions de stockage pour les déchets radioactifs ultimes. Dépôt en 2018 de la demande d'autorisation de création du projet Cigéo (Centre Industriel de stockage GEOlogique).

- IRSN : Protection de l'homme et de l'environnement contre les rayonnements ionisants, protection et contrôle des matières nucléaires
([décret du 10 mars 2016 : https://www.legifrance.gouv.fr/eli/decret/2016/3/10/2016-283/jo/texte](https://www.legifrance.gouv.fr/eli/decret/2016/3/10/2016-283/jo/texte))

- IN2P3 : Arrêté du 29 avril 2016 : L'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules du Centre national de la recherche scientifique exerce les missions nationales d'animation et de coordination dans les domaines de la physique nucléaire, de la physique des particules et des astroparticules, des développements technologiques et des applications associées, notamment dans le champ de la santé et de l'énergie, en ce compris la radiochimie.

4- Les Equipes IN2P3

Les équipes IN2P3 sont réparties dans 6 laboratoires. Les données des équipes (personnel – Finance et collaborations – Thématiques et applications) sont présentées dans le fichier excel joint.

-Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien, IPHC, UMR 7178 CNRS- Université de Strasbourg.

- Institut de Physique Nucléaire de Lyon, IPNL, UMR 5822 CNRS- Université de Lyon.

- Centre d'Etudes Nucléaires de Bordeaux Gradignan, CENBG, UMR 5797 CNRS- Université de Bordeaux.

- Institut de Physique Nucléaire d'Orsay, IPNO, UMR 8608 CNRS- Université Paris Sud.
- Centre de Sciences Nucléaires et de Sciences de la Matière, UMR 8609, CNRS- Université Paris Sud.
- SUBATECH, UMR 6457 CNRS- Ecole des Mines Nantes (EMN) – Université de Nantes

Les Chercheurs sont principalement inscrits dans la section 13 (chimie physique, théorique et analytique). Quelques uns sont inscrits en section 15 (Chimie des matériaux, nanomatériaux et procédés), section 28 (Pharmacologie, ingénierie et technologies pour la santé, imagerie biomédicale) et section 5 (Matière condensée : organisation et dynamique). Les enseignants chercheurs appartiennent aux sections 31 (chimie théorique, physique, analytique) et 33 (chimie des matériaux) du CNU.

5- Structuration, demandes particulières

a- Liens forts avec des entités existantes

- **Le réseau Becquerel.** Ce réseau a pour but la quantification de la radioactivité naturelle et artificielle. Il est constitué autour des plateformes d'analyses de la radioactivité de Laboratoires de l'IN2P3. IPHC, SUBATECH, IPNL, CENBG, Laboratoire Physique Subatomique et Cosmologie de Grenoble, IPNO, Laboratoire Souterrain de Modane.

- **GDR MI2B** (Modélisation et Instrumentation pour l'Imagerie Biomédicale). Association, entre autres, d'une dizaine de laboratoires de l'IN2P3, où l'on retrouve SUBTECH, l'IPNO et l'IPHC. GDR Organisé autour de 4 pôles : Imagerie – Radiobiologie – Thérapie – Radionucléides. SUBATECH et l'IPHC sont équipés de cyclotrons (ARRONAX à Nantes et CYRCE à Strasbourg) pour la production de radionucléides.

- **ZATU** : La zone Atelier Territoires Uranifères (labellisation CNRS/INEE) est en place depuis le 1^{er} janvier 2015. Le programme de recherche de la Zone Atelier se décline autour de trois axes thématiques centrés sur les sciences humaines et sociales (société et territoires uranifères), la radiochimie (caractérisation, comportement et transfert des radionucléides, y compris par l'action de la composante microbiologique des milieux environnementaux) et la biologie (effet des radiations sur les systèmes vivants). L'organisation en ZA permet d'interagir aux interfaces entre ces thématiques de recherche et donc de développer des projets réellement interdisciplinaires avec une approche systémique (principaux instituts représentés : INEE, IN2P3, INSHS). En effet, des interactions et rétroactions fortes existent entre les systèmes vivants, l'Homme et le devenir à long terme de la matière renfermant les radionucléides. La ZATU joue un rôle fédérateur au sein de la communauté des radiochimistes de l'IN2P3.

b- lien avec un Réseau en construction

Une demande de création d'une subdivision de la Division Chimie Physique (SFP-SCF) a été déposée en juillet dernier sous le nom de « **Chimie sous rayonnement et**

Radiochimie ». Les deux communautés « Chimie sous rayonnement » et « Radiochimie » ont décidé de fusionner les Journées Nationales de Radiochimie et les Journées d'Etudes de Chimie sous Rayonnement. Les prochaines journées communes auront lieu en 2018 à Strasbourg. Le bureau est constitué de membres universitaires, du CNRS (IN2P3 et INC) et du CEA.

c- Demande de structuration :

Les responsables des équipes de l'IN2P3 liées à la radiochimie ont fait la demande auprès de la direction de l'IN2P3 de se structurer dans le cadre d'un **GDR** nommé **RADIENSE** (RADIochimie : ENvironnement – Santé – Energie). Le texte présenté ci-dessous est le résultat d'un travail commun finalisé en avril 2016.

Ce GDR a pour rôle d'aider à bâtir des programmes de recherche fondamentaux en amont des grands enjeux sociétaux. Il a pour mission d'animer et de fédérer une large communauté scientifique de chimistes, physiciens, géologues et biologistes, centrée sur la discipline de la radiochimie. Tout en soutenant une action de recherche de long terme, le GDR aide à la construction de projets de recherche émergents et à risque. Le GDR propose à l'IN2P3 une vision des priorités dans les thématiques qu'il couvre, notamment en termes de financement et/ou de postes et participe à assurer la visibilité de ces thématiques au niveau national et international. Cette vision se fera en cohérence avec les actions menées par les structures déjà en place (par exemple pôle « radionucléides » et « radiobiologie » du GDR MI2B). Son rôle sera également de promouvoir les formations académiques dans le domaine de la radiochimie.

Exemples de questionnements scientifiques, dans les différents domaines d'applications (Environnement, Santé, Energie) :

- Quelles sont les réactivités des radionucléides en milieu solide, en solution, aux interfaces, à l'état d'ultra-traces ?
- Quels sont les effets des rayonnements ionisants sur la matière à l'échelle atomique et moléculaire?
- Comment modéliser, simuler les phénomènes de complexation, de migration des radionucléides, et la radiolyse des matériaux ?

Organisation en 3 Pôles :

Toutes les activités des groupes IN2P3 présentées dans le fichier excel joint à ce document se retrouvent dans ces 3 pôles.

1- Environnement : Radioécologie

- Spéciation et bio-disponibilité (thème émergent)
- Migration des radionucléides (RNs)
- Métrologie (extraction et détection des RNs) à très basse activité.
- Stockage des RNs

2- Santé : Radionucléides innovants et Radiolyse

- Production de radionucléides innovants
- Radiomarquage, complexation, vectorisation des RNs dans l'organisme
- Radiolyse de biomolécules

3- Energie : cycle du combustible et matériaux

- Nouveaux matériaux (combustible nucléaire, matrices de confinement)
- Diffusion RNs dans les matériaux
- Comportement et radiolyse des matériaux sous irradiation (solide, interface, liquide, nano)
- Cibles minces (production et extraction des RNs formés)
- Traitement du combustible irradié
- Démantèlement (décontamination, métrologie)

d- Positionnement face à des programmes nationaux et internationaux

- Programme NEEDS (Nucléaire, Energie, Environnement, Déchets et Société): il semble nécessaire de faire un bilan sur ce programme national ainsi que sur ses orientations à venir. Comment l'IN2P3 se positionne t-il vis-à-vis de l'IRSN, de l'ANDRA et du CEA ?
- Programmes Européens :
 - *Comment se fait-il que l'IN2P3 ne soit pas associé au programme CONCERT-European Joint Programme for the Integration of Radiation Protection ? Ce programme traite, entre autres, de radioprotection, de radioécologie et de dosimétrie.
 - *Comment l'IN2P3 se positionne vis à vis de JOPRAD (towards a joint programming on radioactive waste disposal) ?

Fait à Strasbourg, le 6 octobre 2016
contact : remi.barillon@iphc.cnrs.fr

Annexe 1

Loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs (1).

- **Article 3**

- Modifié par [LOI n° 2016-1015 du 25 juillet 2016 - art. 1](#)

Pour assurer, dans le respect des principes énoncés à l'[article L. 542-1 du code de l'environnement](#), la gestion des déchets radioactifs à vie longue de haute ou de moyenne activité, les recherches et études relatives à ces déchets sont poursuivies selon les trois axes complémentaires suivants :

1° La séparation et la transmutation des éléments radioactifs à vie longue. Les études et recherches correspondantes sont conduites en relation avec celles menées sur les nouvelles générations de réacteurs nucléaires mentionnés à l'[article 5 de la loi n° 2005-781 du 13 juillet 2005](#) de programme fixant les orientations de la politique énergétique ainsi que sur les réacteurs pilotés par accélérateur dédiés à la transmutation des déchets, afin de disposer, en 2012, d'une évaluation des perspectives industrielles de ces filières et de mettre en exploitation un prototype d'installation avant le 31 décembre 2020 ;

2° Le stockage réversible en couche géologique profonde. Les études et recherches correspondantes sont conduites en vue de choisir un site et de concevoir un centre de stockage de sorte que, au vu des résultats des études conduites, la demande de son autorisation prévue à l'[article L. 542-10-1 du code de l'environnement](#) puisse être instruite en 2018 et, sous réserve de cette autorisation, le centre mis en exploitation en 2025 ;

3° L'entreposage. Les études et les recherches correspondantes sont conduites en vue, au plus tard en 2015, de créer de nouvelles installations d'entreposage ou de modifier des installations existantes, pour répondre aux besoins, notamment en termes de capacité et de durée, recensés par le plan prévu à l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement.