

Energie nucléaire & Environnement

Réponse à la lettre de mission du COPIL

Suite aux lois de 1991, 2005 puis 2006, le CNRS s'est engagé dans le programme national de recherche liée à l'énergie nucléaire et aux problématiques environnementales associées, notamment sur la séparation et la transmutation et les systèmes nucléaires du futur (axe 1) et sur l'entreposage et le stockage des déchets nucléaires (axe 2). Les programmes interdisciplinaires PACE, puis PACEN et actuellement NEEDS ont permis la création et la coordination d'une véritable communauté scientifique académique capable de répondre aux différents et nombreux enjeux de recherches liées à l'utilisation de l'énergie nucléaire. A Orsay, une vingtaine de chercheurs et enseignants-chercheurs permanents répartis entre le CSNSM et l'IPNO travaillent sur la thématique.

Nature de la thématique

Les recherches liées à l'électronucléaire sont, par essence, interdisciplinaires. Dans nos laboratoires, elles reposent sur quatre disciplines présentes dans nos laboratoires : la physicochimie des matériaux sous irradiation, la radiochimie, la physique nucléaire et la physique des réacteurs. Chacune de ces disciplines permet de répondre aux différentes questions inhérentes à la recherche sur l'énergie nucléaire concernant le fonctionnement et la sûreté des réacteurs, les procédés de retraitement des combustibles usés, le recyclage des matières nucléaires et le stockage des déchets. Par exemple, pour la problématique du stockage, des études ont été menées sur la corrosion des métaux dans les matrices cimentaires, l'effet des radiations sur les matrices de stockage ainsi que sur la diffusion et le possible relâchement de carbone 14 dans la biosphère. Ce regroupement de compétences scientifiques pluridisciplinaires travaillant sur cette thématique est spécifique au site d'Orsay.

Activités de recherche et projets

Les activités sur les matériaux pour l'énergie nucléaire effectuées au CSNSM sont plus particulièrement reliées aux modifications structurales et chimiques de ces matériaux induites par irradiation, ainsi qu'à la compréhension de la synthèse de matériaux hors-équilibre par implantation ionique. Des faisceaux d'ions sont utilisés pour simuler et étudier expérimentalement l'endommagement induit par les neutrons ou les particules chargées pendant l'irradiation au sein des réacteurs nucléaires ou pendant l'entreposage et le stockage. Les effets liés à la présence des éléments qui peuvent être produits (tels que l'hélium, l'hydrogène, les produits de fission ou d'activation) sont essentiels pour la compréhension de la durabilité de ces matrices sur le très long terme.

Les activités de radiochimie à l'IPNO recouvrent elles-mêmes un large domaine de compétence (électrochimie, spectroscopie, caractérisation des surfaces, chimie analytique et modélisation moléculaire) qui permettent d'étudier les propriétés fondamentales des radioisotopes, et notamment des actinides, en solution aqueuse, dans les liquides ioniques (Sels fondus et RTILs), dans les solides et aux interfaces entre différents milieux. Outre la chimie fondamentale, les domaines d'application de ces recherches sont liés à la fabrication des combustibles, aux réacteurs à sels fondus et au retraitement pyrochimique, à la corrosion des déchets métalliques et des

conteneurs en acier au contact des matrices de stockage, à la fabrication de dépôts radioactifs, à l'étude des actinides dans les milieux biologiques et l'environnement, ou encore à la diffusion des isotopes dans différents matériaux.

La physique nucléaire pour l'énergie est focalisée à l'IPNO sur l'étude de la fission et de ses mécanismes. Deux axes sont privilégiés : l'étude des rendements de fission (qui impactent la chaleur résiduelle et la neutronique du cœur) et la mesure de haute précision de sections efficaces (données nécessaires pour la simulation des réacteurs). Dans les deux cas, les données obtenues sont également utilisées pour faire progresser la description microscopique de la fission.

Enfin, les travaux en physique des réacteurs concernent la modélisation de l'évolution des combustibles nucléaires sous irradiation afin de prédire les quantités de déchets produits et la consommation des ressources naturelles selon les différentes stratégies envisageables pour le futur du nucléaire.

Afin de faciliter la lecture des différents projets dans lesquels nos équipes sont impliquées, les sujets de recherches ont été découpés arbitrairement selon les principales étapes du cycle électronucléaire (réacteur, retraitement du combustible, stockage, environnement). Ces projets sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Présentation des projets de recherche

	Matériaux sous irradiation	Radiochimie	Physique nucléaire	Physique des réacteurs
Réacteurs nucléaires	Céramiques et matériaux métalliques (combustible, acier de cuve, absorbant)	Réacteur à sels fondus (MSFR), Cibles (DECADE)	Rendement de fission (SOFIA), Sections efficaces de fission (n-Tof)	Modélisation des réacteurs (SIRIUS)
Retraitements		Sels Fondus (ANSF), RTILs (ALLI)		Scénarios de recyclage (MOISE)
Stockage	Céramiques	Corrosion dans les ciments (CORCIM), Diffusion du C14 (CDIFF)		
Environnement		Pa-U-Np-Pu (SPACT & BIOACT)		

Il est important de noter que la grande qualité de nos recherches repose en partie sur les compétences et l'expertise des services techniques (accélérateurs, instrumentation, mécanique, électronique, informatique, radioprotection) ainsi que sur la possibilité de réaliser dans nos laboratoires des expériences reconnues internationalement. Ce dernier point est particulièrement fort pour la physicochimie des matériaux sous irradiation dont l'activité dépend de la plateforme JANNuS-Orsay/SCALP, et pour la radiochimie nécessite la manipulation de matières fortement radioactives dans des zones dédiées. La proximité entre les plateformes expérimentales, les équipes de recherches et les services techniques permet une souplesse d'accès aux installations expérimentales et une implication forte des chercheurs nécessaire au développement de ces plateformes. Maintenir ce fonctionnement et assurer sa pérennité sont essentiels pour la poursuite de nos programmes de recherche et de nos collaborations au sein de l'IN2P3.

Aperçu des financements de la thématique

L'ensemble des équipes travaille en étroite collaboration avec de nombreux laboratoires académiques nationaux et internationaux ainsi que le CEA et les grands industriels du nucléaire (EDF, AREVA, ANDRA...). Elles parviennent à obtenir des (co-)financements extérieurs à l'IN2P3 pour une grande majorité, valorisant ainsi leur recherche et leur savoir-faire. Néanmoins, la recherche de moyens, très chronophage, ne peut devenir un canal exclusif de financement afin d'assurer une recherche indépendante en amont. Ces financements peuvent être de natures très diverses, issus de collaborations bi- ou tripartite, de contrats de prestation, de contrats européens, de l'ANR, de projets NEEDS ou de la mission pour l'interdisciplinarité du CNRS ou enfin du labex P2IO.

Effectifs associés

Les effectifs des laboratoires d'Orsay et liés à la thématique au 15/05/2017 sont regroupés dans le tableau suivant et exprimé en etp.

	Matériaux sous irradiation	Radiochimie	Physique nucléaire	Physique des réacteurs
Chercheur CNRS	3 (+1 émérite)	4		2
Enseignant Chercheur	3	4	1	1
Doctorant	5	4	1	1
Post-doctorant	-	2	1	1
Personnel CNRS pour plateforme	1 etp IR + 1 etp DR +0.66 etp T	1 IR	-	-

Contexte

National

Les recherches à l'IN2P3 sur la thématique sont réparties dans deux programmes : RNUE – RadioNuclides in the Environment et INET – Innovative Nuclear Energy production Techniques. Ils sont découpés en master projets puis en projets. Nous pouvons noter que nos équipes sont impliquées dans la quasi-totalité de ces masters projets (à l'exception de la physique des ADS).

Les chercheurs de l'IN2P3 et de l'INC ont proposé la création du GDR SCINEE (SCiences Nucléaires pour l'Energie et l'Environnement) qui va démarrer en octobre 2017 afin d'animer et de fédérer les recherches réalisées par le CNRS et les Universités au niveau national. Ce GDR s'organisera autour de 4 pôles scientifiques : Systèmes nucléaires et scénarios associés, Cycle du combustible, Matériaux nucléaires sous irradiation et Environnement et radioécologie qui sont en parfaite adéquation avec les activités de recherches effectuées dans nos laboratoires.

Enfin, le programme NEEDS cherche à coordonner l'ensemble des acteurs de la recherche liée à l'énergie nucléaire au niveau national (CEA, CNRS, Universités, EDF ANDRA, AREVA ,...) via sept programmes de financement (Systèmes nucléaires et scénarios, Ressources, Déchets, MIPOR – milieux poreux, Environnement, Risques et sociétés, Matériaux). Nos équipes de recherches sont soutenues par cinq de ces sept programmes.

Ce constat montre que les recherches portées par nos laboratoires couvrent l'ensemble de la thématique au plan national. Cette « vision » d'ensemble devrait leur conférer une visibilité accrue

comme acteur majeur de cette recherche et permettre une émulation scientifique forte au sein de nos équipes. Cependant, les moyens humains mis en œuvre sont assez faibles au regard des objectifs scientifiques établis et sont insuffisants pour valoriser pleinement cette spécificité Orcéenne.

Au niveau de Paris Saclay

L'énergie nucléaire est un pôle d'excellence du cluster Paris-Saclay depuis sa construction. Pour autant, l'arrivée sur le plateau du centre de recherche et de formation d'EDF n'a eu pour le moment aucun impact direct sur nos collaborations existantes. Les potentialités de synergies nouvelles sont pourtant bien présentes, tant du point de vue de la recherche que du point de vue de l'enseignement. Il conviendrait donc dans un avenir proche d'établir un plan d'actions pour les initier et les développer.

Nos activités de recherche s'insèrent parfaitement dans le département P2I et ne devraient pas être reléguées au plan de « *thématique interdisciplinaire sociétale* », comme c'est le cas actuellement. La physicochimie des matériaux, la radiochimie, la physique nucléaire pour l'énergie ou même la neutronique sont des disciplines à forts enjeux scientifiques qui méritent d'être qualifiées clairement comme une thématique scientifique à part entière, et non pas d'être réduites au rôle de faire-valoir comme ressenti actuellement par nos équipes. Un renforcement de notre visibilité au sein de Paris Saclay est donc très fortement souhaité.

Formation

Nos équipes répondent en partie au besoin de formation en lien avec l'énergie nucléaire et les problématiques environnementales associées en Licence, en Master et dans les Ecoles d'ingénieurs du plateau (Polytech, Polytechnique, ENSTA ParisTech, CentraleSupélec...). Plus spécifiquement, nous portons la responsabilité de trois formations dédiées à la thématique : la Licence pro Techniques et Physiques des Energies (TPE), le master Physique et Ingénierie de l'Energie (PIE) et la mention de Master Nuclear Energy (MNE). Cependant, on note une profusion de cours sur l'énergie nucléaire au sens large dans différents masters dont nous n'avons pas connaissance et qui sont assurés par du personnel extérieur à nos équipes. Ce constat illustre notre forte implication dans l'enseignement mais aussi un manque de connaissances partagées entre les responsables de formation et les équipes de recherches à l'université Paris-Sud notamment sur notre thématique. En effet, le réflexe commun est plutôt de se tourner vers le CEA et l'INSTN pour assurer les cours et les travaux pratiques en lien avec l'énergie nucléaire. Ce paradoxe est d'autant plus frappant que nous sommes très visibles par les différences instances de gouvernance de l'université.

En revanche, grâce à notre expertise de recherche nous avons acquis une crédibilité certaine auprès des grands acteurs de l'énergie comme EDF et AREVA. Nous avons notamment obtenu un financement récurrent pour mettre en œuvre des stages de formation orientés sur les techniques nucléaires, valorisables pour les stagiaires dans les entreprises du nucléaire. Ces financements permettront en partie d'investir dans des stages à haute valeur ajoutée auprès de nos instruments de recherches.

Plus généralement, il nous semble important de renforcer notre implication dans la formation, pour attirer les étudiants vers nos disciplines, pour soutenir les besoins en enseignement sur notre thématique et pour consolider nos liens avec les acteurs du nucléaire. Dans ce but, nous souhaitons mettre en œuvre une plateforme dédiée à la formation regroupant un ensemble de TPs

et d'expériences couvrant l'ensemble de nos disciplines, et mettant en commun nos compétences sur l'énergie nucléaire. Ce projet a été proposé au GT formation.

Objectifs

Les études expérimentales menées actuellement sur les matériaux pour l'énergie nucléaire au CSNSM ont vocation à se poursuivre dans les cinq prochaines années, sans modification notable sur les grandes lignes des programmes en cours, à savoir (i) comportement de matériaux sous irradiation, y compris les effets de synergie, que ce soit des matériaux métalliques, céramiques oxydes ou autres, (ii) synthèse de matériaux par faisceaux d'ions, (iii) processus fondamentaux de l'interaction ion-matière. Toutes ces études dépendent directement du bon fonctionnement et de développement de la plateforme JANNuS-Orsay/SCALP, ainsi que de son accessibilité. Il est à noter que ces études seront forcément impactées par les départs en retraite des deux DR prévus ces prochaines années.

Les activités liées à la radiochimie vont aussi se poursuivre sur les grands projets de recherche cités en première partie. Dans ces perspectives, des collaborations potentielles avec le CSNSM pourraient exister sur les projets MSFR (comportement des aciers base nickel sous irradiation), CIGEO (caractérisation des surfaces corrodées et des matrices de diffusion dans les gaines) et sur la fabrication et caractérisation de dépôts d'isotopes. A noter que l'enseignement de la radiochimie à l'université est menacé de disparition avec la réduction du volume horaire de cours de spécialité « radiochimie ».

Concernant la physique nucléaire pour l'énergie, la situation est d'ores-et-déjà critique puisque seul un enseignant chercheur est impliqué sur ces travaux de recherche. Or les projets nationaux et internationaux montrent que les enjeux de recherche sont importants et toujours d'actualité. Il semble donc nécessaire et urgent de renforcer cette activité, d'autant plus qu'elle est un lien entre les recherches *historiques* et fondamentales de nos laboratoires et celles plus appliquées comme la physique des réacteurs.

Enfin, les problématiques liées à la modélisation des réacteurs de puissance en évolution s'orientent aujourd'hui vers la maîtrise des incertitudes de modélisation et celles induites par les données nucléaires. L'extrapolation aux calculs cœurs puis aux calculs de scénarios demandent encore beaucoup de développements pour établir une méthodologie d'analyse correcte.

Au-delà des objectifs scientifiques portés par les différentes disciplines, il semble que des collaborations renforcées entre l'IPNO et le CSNSM soient envisageables. Une animation scientifique poussée sera garante d'une émulation positive entre nos équipes et pérennisera notre volonté de rapprochement thématique.

Organisation

A ce stade du projet de refondation, nous sommes dans l'incapacité de statuer sur une organisation optimale de la thématique pour atteindre les objectifs énoncés ci-dessus. Cependant les quelques éléments suivant nous paraissent essentiels :

- Les recherches de pointes en radiochimie et en physique et chimie des matériaux sous irradiation sont assurées grâce à des moyens expérimentaux uniques en France et facilement accessibles par les équipes concernées. Les installations dédiées sont aujourd'hui gérées soit par les chercheurs eux-mêmes avec le soutien très fort des services techniques (radiochimie), soit par un service technique, en collaboration avec les chercheurs concernés (JANNuS/SCALP). Cette spécificité de « cogestion » doit absolument être préservée afin d'éviter que ces installations ne soient dissociées des activités de recherche, permet la souplesse nécessaire aux recherches qui y sont menées et garantit l'excellence des développements à venir. Nous aimerions attirer l'attention sur les risques de pertes de compétences si ces moyens (plateforme JANNuS/SCALP et bâtiment 107) devaient être découplés des divisions de recherches pour devenir des installations de services dissociées de nos activités de recherches.
- Nos thématiques de recherche sont intimement liées aux formations que nous portons elles sont particulièrement bien adaptées pour être enseignées à tous les niveaux depuis le L1 jusqu'au M2, au travers d'options de découverte ou d'approfondissement, ou encore sous forme de travaux expérimentaux. Néanmoins, il nous semble que la place de la formation dans les réflexions menées sur les activités de nos laboratoires et leurs missions n'est pas suffisamment importante.
- La création d'une plateforme expérimentale dédiée à l'énergie nucléaire pour former nos étudiants, couvrant l'ensemble de nos activités et regroupant toutes nos compétences, constituerait un volet pratique à nos enseignements et répondrait aux besoins de nombreuses formations de notre université. Elle permettrait également d'attirer les étudiants vers nos thématiques et de les initier aux activités de recherche sous la forme de projets personnels se déroulant sur l'année. Enfin, cette plateforme initierait une réelle collaboration entre les équipes de recherche et les services techniques de nos laboratoires.
- L'expertise et les compétences pluridisciplinaires des services techniques de nos laboratoires (instrumentation, électronique, informatique, dosimétrie & radioprotection, accélérateurs, ...) constituent des atouts majeurs pour mener à bien nos missions de recherche et de formation. En effet, leur soutien au maintien et au développement de nos équipements de recherche et leur collaboration étroite avec les équipes de recherche sont indispensables pour garantir l'excellence de nos activités. De plus, leur contribution à l'encadrement des stages et à la mise en œuvre de plateforme expérimentale de formation, ainsi que leur participation à l'encadrement des étudiants lors de son utilisation sont également primordiales. Enfin, leur expertise et savoir-faire peuvent être mis à profit dans certaines formations en assurant des enseignements spécifiques dans leur domaine de compétences. Une implication forte des services techniques dans l'ensemble de ces missions ne sera possible que grâce à un soutien tout aussi fort des laboratoires.