

Présentation générale du groupe PACS (Physique de l'Aval du Cycle et de la Spallation)

Historique et disciplines scientifiques du groupe

Le groupe PACS a été créé à l'Institut de Physique Nucléaire dans le milieu des années 1990 suite à la mobilisation des chercheurs universitaires sur la problématique de l'énergie nucléaire du futur, encadrée par la loi de 1991 (dite loi « Bataille »). Ainsi le groupe est issu de la réunion d'une activité de recherche sur la spallation et d'une autre sur la modélisation de l'évolution du combustible nucléaire. Le contexte de l'époque justifiait des études sur les systèmes innovants comme l'étude de la transmutation, la physique des ADS (réacteurs assistés par accélérateurs) ou l'exploration des possibilités du cycle thorium. L'évolution de la problématique énergétique mondiale après 2011 a induit une réorientation des objectifs scientifiques comme pour l'ensemble de nos partenaires. En effet, en 2010, l'essor du nucléaire mondial semblait évident et la problématique majeure était alors l'économie de la ressource naturelle. Aujourd'hui, le déploiement des réacteurs au niveau mondial semble limité et la question des ressources est abordée différemment.

Conjointement à l'évolution des thématiques scientifiques, le groupe a subi une évolution forte de ses ressources humaines. En effet, 4 des 5 membres permanent du groupe sont arrivés il y a moins de 5 ans alors que pendant cette même période nous avons subi 5 départs (dont 1 départ en retraite). En regard de notre savoir-faire et des enjeux scientifiques les travaux de recherche du groupe peuvent se découper en 3 grandes activités : les données nucléaires pour l'énergie, la chimie des actinides et enfin, la simulation des systèmes nucléaires et l'étude des scénarios associés.

- La thématique des données nucléaires est aujourd'hui centrée sur l'étude expérimentale de la fission nucléaire selon deux campagnes expérimentales essentiellement. La première est dédiée à la mesure de sections efficaces de réactions (n,f) sur l'installation n-Tof à l'aide des détecteurs PPACs conçus à l'IPNO. Les cibles spécifiques (large dépôt de faible masse sur support ultramince) sont produites au laboratoire grâce à l'expertise en chimie des actinides portée dans le groupe. Le deuxième type d'expériences concerne la mesure de rendement de fission pour différents actinides sur l'installation SOFIA au GSI. Ces deux campagnes expérimentales sont autant motivées par l'amélioration de la compréhension du mécanisme et des forces en jeu dans la fission que par la production de données de hautes précisions pour alimenter les bases de données évaluée nécessaire pour les simulations de réacteurs. Cette thématique mobilise 1 enseignant-chercheur et 1 post-doctorant dans le groupe.
- La majorité de l'activité « radiochimie » du groupe concerne l'étude thermodynamique et structurale de différents actinides (principalement le protactinium) en présence de ligands organiques. Les études thermodynamiques sont effectuées par la mise en œuvre des méthodes de partage avec analyse par spectrométrie alpha et/ou gamma et demandent un savoir-faire spécifique unique que nous souhaitons pérenniser dans le groupe. Les études structurales font appel à des techniques spectroscopiques nucléarisées (spectrophotométrie d'absorption,

spectroscopie d'absorption des rayons X sur synchrotron (SOLEIL et/ou ESRF) couplées à des calculs DFT (Density Functional Theory qui permettent de proposer par le calcul des géométries de molécules réalistes). Cette activité concerne aujourd'hui 1 chercheur et 1 doctorant dans le groupe.

- Les activités systèmes & scénarios cherchent à modéliser les réacteurs nucléaires, seuls ou au sein d'un parc nucléaire. De gros efforts sont effectués sur la modélisation de l'évolution des combustibles nucléaires dans les réacteurs afin de quantifier les besoins en ressources et la production des déchets suivant les options du réacteur (type de combustible, technologie des réacteurs, géométrie, temps de cycle, puissance,...). Cette modélisation doit être adaptée au cadre de l'étude (réacteur ou parc) et nous avons montré que les hypothèses qui permettent de délimiter ce cadre conditionnent grandement les résultats obtenus. Par conséquent, nous engageons une partie de nos recherches sur l'étude de la place du nucléaire dans les différents mix énergétiques possibles pour le futur et notamment l'interaction de l'énergie nucléaire avec d'autres sources d'énergie. L'ensemble de cette activité mobilisé 2 chercheurs, 1 enseignant chercheur et 1 post-doctorant.

Le regroupement de ces activités au sein du groupe PACS est relativement récente et nous partageons depuis la volonté de mettre les compétences de chacun au profit de tous les projets du groupe et de mettre en place une animation scientifique qui permette l'émergence de nouveaux travaux de recherches à l'interface de nos disciplines. Nous percevons la réunion de nos activités comme une vraie source de richesse puisque nous abordons des objets similaires et des techniques proches pour répondre à des problématiques scientifiques différentes. Nous sommes aussi mieux à même de résoudre les difficultés qui nous sont propres. Pour exemples, notons les points suivants :

- L'ensemble de nos projets est largement financé via des projets extérieurs à l'IN2P3 (entre 50% et 100%) soit via des collaborations au sein de la mission pour l'interdisciplinarité du CNRS (NEEDS entres autres), soit via des collaborations directs avec les grands acteurs du nucléaire Français (CEA, EDF, IRSN, AREVA...). La gestion des contrats, la recherche de financement, le type et la forme du rendu des travaux sont par conséquent spécifique à notre thématique de recherche et partagé par l'ensemble du groupe.
- Les enjeux de recherches que nous portons s'insèrent tous dans la problématique de l'énergie nucléaire du futur et aux problématiques d'environnement associées. Nous n'avons pas vocation à répondre à un aspect très précis et très particulier de cette problématique mais au contraire, à porter une approche pluridisciplinaire et ouverte qui permet de développer une expertise pour l'enseignement d'une part (voir ci-dessous) et d'autre part de faire émerger des sujets de recherches innovants à la marge de nos différentes spécialités respectives. L'étendu des domaines de recherches auxquels nous sommes exposés permet de faciliter la discussion avec l'ensemble de nos partenaires et nous permet de situer nos travaux dans le paysage global de la recherche du nucléaire, académique mais aussi industrielle.
- Les activités de radiochimie et de physique se retrouvent sur les techniques nucléaires pour contrôler les compositions isotopiques (méthodes de détection par spectrométrie alpha et/ou gamma) et les activités systèmes & scénarios et données nucléaires se retrouvent sur la question des incertitudes pour les calculs de réacteurs. Notre ouverture pluri-disciplinaire nous permet de faire des ponts entre les communautés et d'être des piliers dans nos différentes collaborations. En effet, si les forces humaines de chacune des disciplines semblent

relativement faibles, aucune de nos activités n'est isolée puisque nous sommes tous impliqués dans des collaborations au niveau national et international.

- Ces dernières années, la réglementation a rendu la manipulation et le transport de matières radioactives particulièrement difficile et contraignante. Le temps effectif de recherche est grandement impacté par les dossiers administratifs à porter (demande d'expériences, demande de transport, décontamination,...). La tentation de manipuler en inactif (ou avec des matières moins dangereuses) est grande afin de gagner en rapidité de publication. La cohabitation de chimistes et de physiciens partageant cette contrainte au sein d'un même groupe assurant une animation scientifique pertinente pourrait permettre une relative garantie contre la désaffection des chercheurs pour la chimie.

L'enseignement : une mission fédératrice

L'énergie nucléaire est une thématique qui a un fort besoin d'enseignement et de formation, et ce à tous les niveaux de qualifications. En effet, les formations de la filière restent populaires auprès des étudiants essentiellement parce que l'insertion professionnelle est relativement aisée.

Le groupe PACS répond à la hauteur de ses moyens à cet effort en proposant des formations à l'université Paris-Sud et en assurant des enseignements dans des écoles d'ingénieurs de l'université Paris-Saclay, mais aussi via l'accueil très régulier de stagiaires dans toutes nos disciplines. L'ensemble du groupe s'investi sur cette problématique d'enseignement, y compris les chercheurs CNRS (CDD comme permanent) qui assurent des heures de cours sur la thématique. Notre pluridisciplinarité permet ainsi de toucher des étudiants intéressés par la physique nucléaire fondamentale, la physique des réacteurs, les scénarios nucléaires et la physique du cycle, la chimie de radioéléments et les problèmes environnementaux, ou même les scénarios énergétiques globaux.

Les deux enseignants chercheurs du groupe portent respectivement le master Physique et Ingénierie de l'Energie (PIE) et la licence professionnelle en alternance Techniques Physiques des Energies (TPE). Notons que la licence TPE est la première licence à avoir été labellisée par l'Institut International de l'Energie Nucléaire (I2EN) comme formation professionnalisante d'intérêt pour la filière industrielle nucléaire. Ces formations, par le suivi des alternants et des stagiaires, nous permettent d'assurer un lien avec les industriels opérationnels qui complètent grandement nos liens établis lors de partenariat de recherche et valorisent notre expertise académique. Ce lien entre industriels et université a été l'objet d'un investissement particulier du groupe puisque qu'un enseignant chercheur a été le représentant des universités à l'I2EN pendant 5 années.

Ce travail de rapprochement a permis de construire un projet de stages de formation récurrents pour les étudiants étrangers dans les formations internationales de la thématique (notamment le MNE) qui ne trouveraient pas de stage en France chez les industriels. L'idée est de proposer une offre d'une dizaine de stages chaque année pour former les étudiants étrangers aux techniques du nucléaire afin qu'ils valident leur formation en France. Pour cela, grâce à l'impulsion d'un enseignant chercheur du groupe, une convention avec la filière nucléaire a été signée pour un montant de 120 k€/an pour le financement de ces stages qui sont effectués à l'IPNO et au CSNSM.

Ces stages récurrents de formations s'ajoutent à l'accueil classique des étudiants universitaire depuis le L1 jusqu'au M2 (sans oublier les IUT). Au total, nous accueillons près d'une dizaine d'étudiants par an.

La formation est une de nos missions que nous prenons particulièrement au sérieux et nous faisons des efforts conséquents pour être à la hauteur des enjeux. Cependant, nous devons noter que notre visibilité au sein de l'université Paris-Saclay n'est pas à la hauteur de notre expertise ni de notre investissement. A titre d'illustration, aucun d'entre nous n'intervient dans le Master international Nuclear Energy et bon nombre d'enseignement de faible volume dans différents masters sur la thématique sont assurés par du personnel extérieur (CEA, EDF,...) sans que nous ayons connaissance de ces enseignements.

Auto-évaluation du groupe dans le contexte « Orsay »

Les travaux produits par le groupe sont reconnus pour leur qualité et leur originalité. Nos trois activités s'insèrent logiquement dans le paysage national sur la thématique et le nombre de collaborations nationales et internationales dans lesquelles nous sommes impliquées démontre notre savoir-faire et notre expertise. Par conséquent, aucune de nos activités n'est isolée scientifiquement et notre production scientifique est conséquente en regard des forces humaines présentes dans le groupe. Nos collaborations respectives seront développées dans chacune des trois parties détaillant nos activités.

La spécificité du groupe est notre volonté de construire un ensemble commun et cohérent, enrichissant pour chacune des activités précitées et qui permette l'émergence de nouveaux projets, de nouvelles problématiques. Cette émulsion scientifique est garante d'une excellence scientifique pérenne et est vecteur d'attractivité pour les jeunes doctorants, post-doctorants et jeunes chercheurs.

Pour autant, le groupe est en interaction locale avec les autres groupes de recherches de l'université Paris-Sud (avec le groupe Radiochimie de l'IPNO mais aussi avec les groupes Physicochimie de l'Irradiation et Physique du Solide sous Irradiation du CSNSM). Les évolutions possibles pour ces structures sont nombreuses, notamment dans le cadre du projet de refondations des laboratoires IN2P3 de l'université Paris-Sud (LAL, LPT, CSNSM, IMNC et IPNO). Dans ce projet, le groupe joue un rôle moteur pour faire émerger un pôle « Energie Nucléaire et Environnement » reconnu qui pourrait valoriser pleinement les spécificités universitaires de la thématique au sein de l'université Paris Saclay. Les perspectives d'évolutions scientifiques doivent se faire au sein de ce contexte de fusion qui reste en évolution perpétuelle et si le groupe a de grandes ambitions pour nos recherches au sein de nos laboratoires universitaires, nos activités sont aujourd'hui critiques en terme de ressources humaines. En fait, deux des trois disciplines que nous portons sont actuellement largement sous-critique. Un renfort pour la chimie des actinides est prévu pour l'année prochaine ce qui permettra une relative stabilité de l'activité. En revanche, les activités de physique nucléaire pour l'énergie sont grandement menacées ce qui peut paraître paradoxal au sein d'un laboratoire comme l'IPNO qui possède toutes les compétences, autant physiques que techniques, pour jouer un rôle majeur au niveau national.

Ce manque de forces se ressent aussi au niveau de notre implication dans l'enseignement à Paris Saclay. Même si nos efforts sont importants, notre présence et notre visibilité à l'université restent limitées. Notons par exemple que nous ne sommes pas présents dans les masters NRPE (Nuclear Reactor Physics and Engineering) ni Fuel Cycle du MNE (Master Nuclear Energy) alors que ces deux formations touchent directement nos domaines d'expertises.