

Sonder la matière : des ions lourds à l'infrarouge, de la matière nucléaire aux matériaux composites.

Vincent MÉTIVIER

Ecole des mines de Nantes, laboratoire SUBATECH

Résumé des travaux

Fournir de l'énergie à un système (l'exciter), par le biais d'une sonde, d'une particule, d'un rayonnement, va pouvoir engendrer des modifications de ses propriétés, voire de sa structure. Si le système revient dans son état initial, on pourra alors parler de processus « non destructif » ; sinon, ses transformations pourront être irréversibles. Les interactions mises en jeu peuvent l'être à différentes échelles, du macroscopique (au niveau du matériau ou des tissus) au plus microscopique (au niveau des cellules, des atomes, des noyaux, des hadrons, des particules élémentaires...). Depuis de nombreuses années, j'ai eu l'opportunité de pouvoir mener des activités de recherche variées, en conservant un fil conducteur autour des interactions d'ions, particules et rayonnements avec la matière, pour des problématiques de recherches fondamentales et plus appliquées.

Les collisions d'ions lourds, depuis les énergies dites intermédiaires jusqu'aux énergies ultra-relativistes, permettent d'explorer le diagramme des phases de la matière nucléaire pour contribuer à la compréhension de la matière nucléaire « ordinaire » (équation d'état, transitions de phase, multifragmentation, ...), jusqu'à la formation d'un plasma de quarks et de gluons quand la température et la densité du milieu le permettent. Je présenterai, assez succinctement, mes contributions en tant que physicien nucléaire expérimentateur dans le développement de détecteurs, la réalisation d'expériences et l'analyse des données obtenues. Ces recherches ont notamment conduit à développer des détecteurs gazeux de type MICROMEGAS, dans le cadre de la R&D autour des chambres de trajectographie du spectromètre à muons d'ALICE (LHC/CERN), puis d'étendre le concept en proposant la structure PIM (Parallel Ionization Multiplier). PIM est une structure modulable combinant des espaces d'amplification et de dérive (ou transfert) de charges permettant d'atteindre des facteurs de multiplication élevés ($> 10^5$) tout en limitant l'apparition de décharges électriques et présentant une bonne efficacité et une bonne résolution spatiale 2D ($< 50 \mu\text{m}$). Si les premières études ont été menées dans le cadre d'expériences de physique des hautes énergies, des applications dans le domaine de la santé (imagerie β) ont rapidement été adressées.

Parallèlement, afin de caractériser nos détecteurs, nous avons prolongé ces recherches instrumentales vers des problématiques autour du développement de capteurs optoélectroniques sans contact pour la métrologie ; ces travaux ont conduit à des actions de valorisation et de transfert technologique dans le domaine des évaluations et contrôles non destructif (ECND). Ces activités sont essentiellement menées dans le cadre de projets collaboratifs au sein du centre de recherche technologique sur les matériaux composites Technocampus EMC², impliquant acteurs du monde académique et du monde industriel, et dans le cadre du pôle de compétence « évaluation et contrôle non destructifs en Pays de la Loire » (ECND-PDL), que nous avons créé afin de regrouper les acteurs académiques ligériens autour de cette thématique.

Enfin, avec le démarrage du cyclotron ARRONAX en 2010, j'ai orienté mes travaux actuels et mon projet scientifique pour les prochaines années autour de l'utilisation des faisceaux d'ions légers (protons, deutons et particules alpha) et de leurs interactions avec la matière inerte et vivante pour des utilisations et applications dans le domaine de la santé et des matériaux. Nous avons développé un outil unique en France d'analyse multi-élémentaire, la méthode PIXE (particle induced x-ray emission) à haute énergie. Grâce aux faisceaux de haute énergie disponibles à Arronax (jusqu'à 70 MeV), il est possible d'analyser de façon non destructive des matériaux épais (mm, voire cm) et multicouches, jusqu'à la ppm (mg/kg) pour les éléments à partir de $Z = 12$. Pour la détection des éléments plus légers, nous développons conjointement la méthode PIGE (particle induced gamma-ray emission). Nous envisageons également d'utiliser les moyens mis en œuvre et outils développés dans ce cadre pour des études dosimétriques en radiobiologie. En effet, à Nantes, depuis de nombreuses années des travaux de recherche autour de la radiothérapie externe et de la radiothérapie interne vectorisée sont menées. Dans ce cadre, des recherches visent notamment à mieux comprendre la réponse biologique induite dans les cellules, tumeurs et tissus sains, après irradiations. Nous nous sommes rapprochés de ces équipes pour développer des collaborations autour de l'utilisation des faisceaux délivrés par le cyclotron ARRONAX. Notre contribution concerne en particulier le développement de méthodes et moyens les moins invasifs possibles pour mesurer la dose délivrée en ligne. Les applications dans le domaine médical auprès d'ARRONAX concernent également la production de radionucléides innovants pour des utilisations en imagerie, thérapie, voire les deux (concept de théranostique). Dans ce cadre, nous étudions les voies de production de ces radionucléides en mesurant les sections efficaces associées, parfois mal connues, notamment pour les projectiles non conventionnels comme les deutons. Des campagnes de mesures sont donc menées, pour venir enrichir les bases de données existantes et permettre de mieux contraindre les codes de prédiction théorique et ainsi compléter la compréhension des mécanismes de réactions nucléaires induites par les protons, deutons et particules alpha.