

Prospectives IN2P3 / DAPNIA

groupe Structure vers les drip-lines

(Patricia Roussel-Chomaz, Faïçal Azaiez, Jérôme Giovinazzo)

(Domaine concerné par l'étude de la structure nucléaire vers les *drip-lines*)

Motivations physiques

L'objectif de notre communauté pour les dix ans à venir est de progresser dans notre connaissance de la « Terra Incognita » des noyaux loin de la stabilité pour atteindre une compréhension plus fondamentale et profonde de l'interaction nucléaire, et des limites de cohésion des noyaux.

Les méthodes actuellement utilisées pour la production des noyaux exotiques, principalement à partir des réactions de fragmentation du projectile (GANIL, GSI) ou des méthodes de type ISOL (SPIRAL, ISOLDE,...) ont permis d'atteindre les limites actuelles de la table des isotopes. Du côté riche en protons, la *drip-line* a pu être presque complètement dessinée expérimentalement jusqu'aux isotopes d'étain ($Z=50$). Au delà, et sur l'ensemble du côté riche en neutrons, la connaissance actuelle reste très éloignée des limites d'existence. Outre leur intérêt direct pour la structure nucléaire, la connaissance de ces régions inexplorées est nécessaire pour les études astrophysiques, et plus particulièrement les processus de nucléosynthèse.

La poursuite de ces études, au delà des noyaux accessibles actuellement, nécessite le développement des installations de production des noyaux exotiques : production en vol (fragmentation et fission) à GSI, production en ligne avec le futur EURISOL, et dans l'attente de sa construction, SPIRAL, SPIRAL2, Louvain-la-Neuve et REX-ISOLDE.

La première question qui se pose, lorsqu'il s'agit d'un noyau très exotique, est celle de son existence. Cette question est étroitement liée à la thématique des mesures de masse. L'observation de nouveaux isotopes et les mesures de masses loin de la stabilité s'étendront à des régions plus étendues et plus proches des drip-lines, apportant une contrainte plus importante aux modèles théoriques.

Loin de la stabilité, de nouvelles propriétés du noyau apparaissent, au travers de structures ou de modes de décroissances particulières. Par exemple, la seule existence de certains noyaux dans des états extrêmes d'isospin peut révéler une nature particulière de ces noyaux, tels que les noyaux à halos, le quadri-neutron, ou l'existence de noyaux au delà de la *drip-line*, comme les précurseurs des radioactivités proton ou 2-protons.

L'un des résultats les plus importants de ces dernières années dans notre discipline est que la structure en couches du noyau évolue avec le nombre de constituants : apparition de nouvelles fermetures de couches, disparition des nombres magiques connus pour les noyaux stables, existence des îlots de stabilité des noyaux super-lourds, etc... La spectroscopie des noyaux exotiques par décroissance radioactive permet de tester le modèle en couches loin de la stabilité : interaction effective, interaction nucléon-nucléon... Les mesures β - γ , associées aux mesures de particules retardées (protons, alphas, neutrons) permettent d'atteindre la structure à basse énergie d'excitation à partir de taux de production relativement faibles, et donc pour les plus exotiques des noyaux accessibles : énergie des niveaux, moments magnétiques, états isomères. Ce type d'étude sera poursuivi auprès de ALTO dans un premier temps et se prolongera auprès de SPIRAL2 vers

des régions de noyaux encore plus exotiques. La mesure des transitions de Fermi super-permises, le long de la ligne $N=Z$ représente en outre un outil d'étude de l'interaction faible du modèle standard.

La première génération de faisceaux radioactifs produits par méthode ISOL a permis de s'éloigner de la stabilité pour les expériences étudiant les produits des réactions induites par ces faisceaux secondaires. Les énergies disponibles restent en général faibles (quelques MeV/A) mais permettent néanmoins des études utilisant différentes approches (telles que l'excitation coulombienne, les diffusions élastiques et inélastiques, les réactions de transfert) pour sonder le comportement des noyaux se situant loin de la stabilité. Ce type d'étude pourra être étendu dans des régions jusqu'ici inaccessibles, pour tester en particulier la robustesse des nombres magiques ou trouver les nouvelles conditions de magie loin de la stabilité. La possibilité de couvrir une grande région de noyau avec $N=Z$ permettra une étude du pairing np . Finalement, du côté riche en neutrons, les noyaux participant au processus r pourront être mieux connus.

Ces différents points concernent la structure à basse énergie d'excitation ; la compréhension de la structure des noyaux exotiques nécessite également l'étude à plus haute énergie d'excitation : comportement des densités de niveaux, des modes d'excitation collectifs, étude des réactions profondément inélastiques ou de fusion-évaporation,.....

Une compréhension globale de la structure nucléaire implique par conséquent une approche expérimentale variée qui permette de couvrir l'ensemble de ces thèmes : diversité des faisceaux disponibles (nature et énergie) et diversité des outils de détection.

Accélérateurs, détecteurs et moyens humains

A basse énergie, l'étude de la structure nucléaire est et sera l'axe majeur de SPIRAL et SPIRAL2, dans une gamme de noyaux relativement variés. En plus des noyaux déjà disponibles ou accessibles avec SPIRAL, des fragments de fission d'abord à très basse énergie auprès d'ALTO et ensuite accélérés aux énergies proches de la barrière coulombienne auprès de SPIRAL2, seront à l'avenir disponibles. Quant aux noyaux déficitaires en neutrons, leur étude sera possible grâce aux réactions de fusion-évaporation à partir des faisceaux d'ions lourds stables de LINAG. De plus, les réactions de transferts à partir de ces mêmes faisceaux de très haute intensité permettront également de produire des noyaux légers exotiques avec des intensités bien supérieures à celles délivrées par SPIRAL actuellement. Une nouvelle génération d'expériences permettant d'accéder à des régions encore plus proches des *drip-lines* pourra alors être envisagée.

La communauté de structure nucléaire française est encore relativement peu impliquée à GSI. Dans le contexte actuel de développement des collaborations européennes, il semble essentiel de renforcer nos liens avec GSI. De plus, une partie de notre communauté a une très bonne expertise et des programmes expérimentaux dans le domaine des énergies plus hautes que celles qui seront disponibles avec SPIRAL et SPIRAL2 (break-up, résonances géantes.....).

Il nous semble que la communauté de structure française a une force suffisante pour travailler dans tous les domaines d'énergie. Par contre la réalisation des instruments ne peut se faire qu'à l'échelle européenne, et en évitant les doublons. L'initiative d'EURONS est une première étape indispensable à la mise en place de collaborations européennes pour le développement de multi-détecteurs.

Pour la spectroscopie γ , le projet AGATA regroupe l'ensemble de la communauté européenne, et permettra les études de spectroscopie gamma des noyaux les plus exotiques.

En ce qui concerne la détection de particules chargées, deux voies sont actuellement explorées avec, d'une part, des dispositifs de type télescopes de Si (MUST, TIARA, et bientôt MUST2), et d'autre part le concept de cible active MAYA. Des projets sont également lancés dans le cadre d'EURONS pour améliorer ces deux types de dispositifs. EXOCHAP regroupe une vingtaine de laboratoires européens pour préparer un ensemble de multi-détecteurs à base de Si à pistes, de Ge planaires et de CsI, et leur électronique associée. ACTAR vise à explorer les possibilités offertes par les cibles actives, en termes de dynamique en énergie, d'utilisation de différents gaz, et de fonctionnement à basse température.

D'importants développements seront également nécessaires pour des détecteurs de faisceau adaptés aux faisceaux de SPIRAL et surtout de SPIRAL2 et d'EURISOL. En ce qui concerne les cibles, on peut noter que les laboratoires français ont presque totalement perdu leur savoir-faire en termes de cibles minces, ce qui risque de fortement compromettre le succès de certaines expériences aux énergies de SPIRAL et SPIRAL2. Il semble également urgent de mettre en place une étude de cible polarisée, pour accéder aux observables de spin des noyaux exotiques, et déterminer l'interaction spin-orbite loin de la stabilité. Enfin, dans les dix ans à venir, un nouveau spectromètre de recul de très haut pouvoir de réjection ($>10^{13}$) devra être construit pour les expériences utilisant les faisceaux stables de très haute intensité de LINAG.

La prochaine décennie sera celle où sera prise la décision en ce qui concerne EURISOL. Il faudra sans doute passer par des installations de génération intermédiaire, et dans ce cadre une augmentation de l'énergie des faisceaux aussi bien primaires que secondaires de SPIRAL2 devra être considérée, pour élargir la gamme d'expériences possibles avec ces faisceaux et explorer d'autres facettes de la structure et des propriétés des noyaux instables. Le domaine de noyaux produits par SPIRAL et SPIRAL2 étant bien complémentaire du domaine couvert par GSI, cette augmentation d'énergie, sans atteindre les très hautes énergies de GSI, permettra à la communauté de physique des noyaux exotiques d'avoir à sa disposition une gamme relativement complète de faisceaux, aussi bien en ce qui concerne la nature des ions que leur énergie.

Les projets de recherches envisagés pour la prochaine décennie nécessitent le maintien du nombre de physiciens et d'embauche dans ce domaine à un niveau au moins équivalent à celui connu ces dernières années. L'importance du potentiel humain au niveau technique est d'une importance capitale vu la taille des projets envisagés aussi bien en instrumentation qu'en systèmes accélérateurs. La faiblesse du nombre de théoriciens dans notre domaine doit être corrigée d'une manière urgente afin d'aboutir à l'objectif scientifique fixé pour les dix prochaines années .