

# Synthèse

## 1. Introduction

Notre compréhension de la structure nucléaire reposait essentiellement sur les 278 noyaux stables formant la vallée de stabilité. Il a été observé expérimentalement que la résistance d'un noyau varie avec sa composition. Elle est élevée pour des quantités de protons et de neutrons appelées « nombres magiques » : 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126. Pour les noyaux présentant ce type de configuration on parle de noyau magique ou doublement magique. La région de  ${}^{78}\text{Ni}$  ( $N=50$ ,  $Z=28$ ), noyau encore inconnu supposé doublement magique, reste encore inexplorée. Cette région est très intéressante en termes de structure nucléaire. En effet, les informations expérimentales obtenues sur l'espace de valence ouvert au dessus de  ${}^{78}\text{Ni}$ , nous permettront de construire des interactions effectives pour cette région.

Deux approches sont principalement employées : l'étude du nombre magique  $Z=28$  ou du nombre magique  $N=50$ . La magie de  $N=50$  a été confirmée jusqu'au  ${}^{80}\text{Zn}$  avec l'expérience d'excitation Coulombienne du  ${}^{80}\text{Zn}$  [VdW2007] à REX-ISOLDE. Dans cette expérience, l'énergie du premier état excité du  ${}^{80}\text{Zn}$  et la probabilité de transition  $0^+ \rightarrow 2^+_1$  ont été mesurées. La systématique des énergies des premiers états excités  $2^+$  des noyaux sur  $N=50$  indique le maintien d'un gap fort jusqu'à  $Z=30$ . Mais la magie de  $N=50$ , proche du  ${}^{78}\text{Ni}$ , est loin d'être le seul attrait de cette région de masse. Franchir  $N=50$  revient, en effet, à franchir une porte qui s'ouvre sur un nouvel espace de valence. Un des premiers noyaux les plus exotiques étudié dans la région au-delà de  $N=50$  est le  ${}^{83}\text{Ge}$ . Il a été étudié à Orsay auprès du projet PARRNe (Production d'Atomes Radioactifs Riches en Neutrons) via la décroissance radioactive  $\beta$  du  ${}^{83}\text{Ga}$ . Le noyau de  ${}^{84}\text{Ge}$  est le premier noyau pair pair au delà de  $N=50$ . Par conséquent, la mesure de l'énergie de son premier niveau  $2^+_1$  permettra de confirmer la présence d'un maximum pour les énergies des premiers états  $2^+$  au passage de  $N=50$ . La mesure de l'énergie de l'état  $4^+$  permettrait de signer la collectivité dans ce noyau au-delà de  $N=50$ .

L'étude de la spectroscopie  $\gamma$  des décroissances  $\beta$  des noyaux permet de déterminer le spectre  $\gamma$  des isotopes dont les états excités sont alimentés par ces décroissances. L'intensité des raies ainsi que leur enchaînement donne des indications sur les transitions et les caractéristiques quantiques des états alimentés. L'évolution en temps de ces mêmes raies identifie, moyennant quelques précautions, l'appartenance des pics. Ces informations permettent de déduire la configuration des états nucléaires.

Nous avons étudié la désintégration de l'isotope  ${}^{84}\text{Ga}$  riche en neutrons auprès de l'installation ALTO [Ibr2007] à l'IPN d'Orsay. Avec la décroissance du beta nous avons peuplé les états excités dans  ${}^{84,83}\text{Ge}$  et  ${}^{84}\text{As}$ . L'étude des isotones 52 pairs-pairs ( ${}^{84}\text{Ge}$ ) permet de donner les tendances de l'évolution de la collectivité en direction du  ${}^{78}\text{Ni}$ . Cependant, l'étude d'un noyau impair ( ${}^{83}\text{Ge}$ ) permet d'obtenir des informations plus précises sur la structure en particules (protons ou neutrons). Quant à l'étude des noyaux impairs-impairs ( ${}^{84}\text{As}$ ), elle permet, via le couplage proton-neutron, de mettre en évidence des multiplets d'états.

## 2. Expérience de décroissance $\beta$ de $^{84}\text{Ga}$

Les fragments de fission ont été produits par photo-fission induite par l'interaction d'un faisceau d'électron de 50 MeV avec une cible épaisse de carbure d'uranium. Pour la première fois, ALTO a été utilisé dans ses conditions optimales, tant du point de vue de l'intensité du faisceau primaire (10  $\mu\text{A}$  d'électrons à 50 MeV) que de la méthode d'ionisation. En effet, les atomes de gallium ont été sélectivement ionisés à l'aide d'une source d'ions laser. Grâce à cette nouvelle source l'ionisation du gallium était plus de dix fois supérieur à celui de la source à ionisation de surface utilisée précédemment par notre groupe.

La méthode d'ionisation résonnante par laser (RIS), sur laquelle repose la source d'ionisation laser, est basée sur l'éjection d'un électron du cortège électronique d'un atome par l'absorption d'un ou plusieurs photons : c'est la photoionisation d'atomes par faisceaux laser. Dans l'ionisation d'un atome par deux photons, un premier faisceau lumineux est accordé sur la fréquence de la transition résonnante d'un état donné (généralement l'état fondamental électronique) vers un état intermédiaire. L'atome est ensuite photoionisé à partir de cet état intermédiaire grâce à une deuxième impulsion laser. Cette méthode offre deux grands avantages : la sélectivité et l'efficacité d'ionisation. La sélectivité d'ionisation des atomes est due au choix de la combinaison de fréquences laser pour ioniser les atomes d'un élément choisi. Pour le gallium, le schéma d'ionisation prévu est du type deux étapes-deux couleurs sans état auto-ionisant. La transition d'excitation du niveau fondamental  $4s^2 4p \ 2P_{1/2}$  vers le niveau  $4s^2 4d \ 2D_{3/2}$  correspond à la longueur d'onde 287,4 nm. L'étape d'ionisation du niveau  $4s^2 4d \ 2D_{3/2}$  vers le continuum utilise une longueur d'onde de 532 nm.

Les ions formés ont été extraits à 30 kV puis les ions séparés par le séparateur de masse PARRNe ont été implantés sur une bande de mylar mobile, entourée de deux détecteurs germanium placés en géométrie rapprochés d'un détecteur plastique pour le marquage des désintégrations bêta. L'acquisition des données est effectuée par l'utilisation du système COMET (Codage Marqué En Temps) comme ADC. Ce système a été développé à l'IPN d'Orsay. Le carte de contrôle attribue un temps absolu aux événements traités par les cartes COMET. Avec ce système, l'acquisition n'utilise pas de trigger : chaque détecteur (scintillateur plastique, détecteur germanium ...) est considéré comme une source indépendante pour laquelle nous codons le signal physique (amplitude) associé à un code de temps absolu avec une précision de 400 ps. Nous avons utilisé l'option de COMET d'initialisation du codage par une voie CODEN (CODing ENable) gérée par l'automate du dérouleur. L'automate envoie à chaque fin de l'étape de décroissance un signal aux cartes COMET qui inhibe le codage pendant le déroulement de la bande. Le signal est une porte TTL qui se ferme une fois le déroulement effectué et la portion de bande vierge en place ce qui redémarre le codage. Le temps absolu COMET est remis à zéro à chaque signal. La remise à zéro des temps permet de sommer la statistique et l'inhibition permet d'éviter de coder d'éventuels signaux parasites pendant le déroulement, essentiellement dûs au frottement de la bande sur le scintillateur. Les données issues des différentes sources indépendantes sont traitées par un programme informatique qui sauvegarde et classe ces données dans des spectres définis préalablement par l'utilisateur.

Avant de procéder à une analyse physique des données, il est nécessaire de convertir les données brutes enregistrées au cours de l'expérience, en données physiques exploitables. La première étape consiste à convertir les données générées par l'acquisition COMET-Narval vers un format compact et adapté à une analyse complexe. J'ai analysé les données générées lors de l'expérience en utilisant l'environnement d'analyse ROOT, basé sur le langage de programmation orienté objet C++. L'environnement ROOT permet d'instancier des objets adaptés au stockage des données sous une forme compacte, et autorise un accès rapide aux informations stockées.

### 3. Résultats d'expérience

La première étape pour pouvoir exploiter nos spectres est d'étalonner l'ensemble des détecteurs germanium. Nous avons utilisé comme étalon une source de  $^{152}\text{Eu}$ . Nous avons aussi extrait une mesure d'efficacité de la mesure de l'intégrale des pics les plus intenses pour chaque détecteur. Pour l'identification des raies, il était nécessaire de constituer les spectres en énergie des  $\gamma$  conditionnés par le détecteur  $\beta$  et les matrices énergie-temps. Ces dernières permettent de déterminer à la fois l'énergie et la période des raies. Pour construire un schéma de niveaux, il était nécessaire de constituer la matrice énergie-énergie afin d'identifier les événements  $\gamma$  et des transitions en cascade.

Les premières deux raies  $\gamma$  dans la décroissance de  $^{84}\text{Ga}$  sont été observées par U. Köster [PUI08] à ISOLDE : une raie  $\gamma$  à 624 keV et l'autre à 1045 keV. Lebois et al. [Leb2009] et de J. A. Winger et al. [Win2010] ont observé une raie à 624 keV dans la décroissance de  $^{84}\text{Ga}$  attribuée à la transition  $2^+_1 \rightarrow 0^+_1$  de  $^{84}\text{Ge}$ . Toutefois, ces deux références ne sont pas d'accord sur la position du niveau  $4^+$  et sur l'énergie de la raie associée à la transition  $4^+ \rightarrow 2^+$ . Lebois et al. placent la transition à 1045 keV au-dessus du  $2^+$  alors que Winger place une transition à 765 keV au-dessus de ce même  $2^+$ .

Les expériences de décroissance  $\beta$  ont été faites à Orsay à PARRNe [Per2006], puis ALTO [Leb2009] et à HRIBF [Win2010] à Oak Ridge. La discussion entre ces articles a pour sujet l'identification des raies à 798 keV et 1045 keV. Les auteurs de [Win2010] les identifient comme étant issus de la décroissance de  $^{83}\text{Ga}$ . M. Lebois attribue la raie  $\gamma$  à 1045 keV à la décroissance  $\beta$  de  $^{84}\text{Ga}$  mais ni Perru ni Lebois ne reportent l'observation d'une raie à 798 keV aux masses 83 ou 84.

Les données de la littérature concernant  $^{84}\text{As}$  proviennent de trois études de la décroissance  $\beta$  de  $^{84}\text{Ge}$  et d'une étude de la décroissance  $\beta$  de  $^{84}\text{As}$ . La première a été effectuée par J. P. Omtvedt et al. [Omt1991]. L'auteur a identifié deux raies  $\gamma$  une à 43 keV et l'autre à 100 keV. La deuxième a été faite à Oak Ridge par J. A. Winger et al. [Win2007] qui ont identifié trois autres raies  $\gamma$  (243 keV, 347 keV et 608 keV). La troisième est issue de l'article [Leb2009], dans lesquels les auteurs ont pu confirmer les raies  $\gamma$  à 43 keV, 100 keV et 242 keV. Cependant, ces deux dernières études ne concordent pas sur l'ordre des transitions. Lebois et al. placent la transition à 43 keV en dessous de celle à 100 keV. Winger et al. placent la transition à 100 keV en dessous de celle à 43 keV.

Nous avons construit les nouveaux schémas de niveaux de  $^{83, 84}\text{Ge}$  et  $^{84}\text{As}$  et ajouté les nouvelles transitions. Pour l'interprétation de résultats obtenus après l'analyse des données de l'expérience nous avons construit une nouvelle interaction effective du modèle en couches *ni78-jj4b*. Nous avons calculé les schémas de niveaux et la probabilité de transitions et nous avons proposé l'attribution des spins pour notre noyau d'intérêt.

#### 4. Sommaire

L'étude de la décroissance de  $^{84}\text{Ga}$  nous a permis de confirmer l'ensemble des observations de la décroissance  $\beta$  de ce gallium et de compléter le schéma de niveaux de  $^{84}\text{Ge}$  et  $^{84}\text{As}$ . Elle nous a apporté aussi des précisions sur la décroissance  $\beta$ -n et complété le schéma de niveaux de  $^{83}\text{Ge}$ . Nous avons proposé les spins de états excites et nous avons comparé les résultats obtenus après l'analyse des données de l'expérience avec les un calculs de modèle en couches qui ont fait avec notre nouvelle l'interaction  $ni78 - jj4b$  construite dans le cadre de cette thèse.

#### BIBLIOGRAPHIE

Ibr2007 : F. Ibrahim *et al.*, Nucl. Phys. **A787**, 110c (2007).

Leb2009 : M. Lebois, Phys. Rev. C 80 (2009), no. 044308.

Omt1991 : J.P. Omtvedt, B. Fogelberg, and P. Hoff, Gamma-ray and delayed neutron branching branking data for the new or little isotopes  $^{84,85}\text{Ge}$  and  $^{85}\text{As}$ , Z. Phys. A 339 (1991), 349.

Per2006 : O. Perru *et al.* , Eur. Phys. J. A 28 (2006), 307.

PUI08 : Ulli Köster, Workshop on neutron rich nuclei, 16-20 Mars 2008.

Win2007 : J. A. Winger *et al.* , Failure of the  $^{78}\text{Ni}$  core for  $Z \geq 28$ ,  $N \geq 50$ , Fourth International Conference on Fission and Properties of Neutron-Rich Nuclei, 2007.

Win2010 : J. A. Winger *et al.* , New subshell closure at  $N = 58$  emerging in neutron-rich nuclei beyond  $^{78}\text{Ni}$ , Phys. Rev. C 81 (2010), no. 044303.

VdW2007 : J. Van de Walle *et al.*, Phys. Rev. Lett. 99 (2007), 142501.