



17 Janvier 2014

SYNTHÈSE EN FRANÇAIS

Thèse

Présentée par

TESTOV Dmitry

*Pour obtenir le grade de Docteur ès Sciences
De l'Université Paris Sud*

Effect of shell closure $N = 50$ and $N = 82$ on the structure of very neutron-rich nuclei produced at ALTO. Measurements of neutron emission probabilities and half lives of nuclei at astrophysical r-process path.

Désintégration bêta de noyaux riches en neutrons. Émission de neutrons.

On sait qu'il y a environ 300 espèces nucléaires stables situées dans le tableau de nucléide initialement sur la ligne $N = Z$ mais progresse régulièrement vers le côté riche en neutrons en raison de l'effet de la force de Coulomb. La connaissance actuelle des noyaux atomiques suggère environ 6000-7000 espèces nucléaires différentes qui doivent vivre assez longtemps pour être produites et étudiées. Il y a deux façons principales d'étudier les propriétés nucléaires: dans les réactions nucléaires et dans les désintégrations radioactives. Respectivement, on étudie le rayonnement rapide de réactions ou rayonnement retardé de décroissance.

Dans la décroissance β en cas d'un grand Q_β une désintégration β peut laisser un noyau dans un état excité dont l'énergie est supérieure à l'énergie de séparation des neutrons S_n . La probabilité de ce phénomène augmente dans les régions au-dessus des fermetures de couches de neutrons où l'énergie de liaison de neutrons est extrêmement faible ou dans la région des noyaux avec un grand excès de neutrons. Le noyau poursuit sa deexcitation soit par une émission de neutrons. Dans ce dernier cas, l'état d'émetteur de neutrons est peuplée dans la désintégration β du noyau parent alors que l'émission de neutrons est quasi instantanée. C'est pourquoi, les neutrons retardés montrent le temps de vie des précurseurs. Ainsi, l'émission de neutrons retardés β est un processus à plusieurs étapes constitué d'un désintégration β du précurseur (A, Z) ce qui résulte en alimentation des états excités du noyau d'émetteur ($A, Z+1$), suivi par l'émission d'un neutron qui laissera la noyau finale ($A-1, Z+1$) éventuellement dans l'état excité.

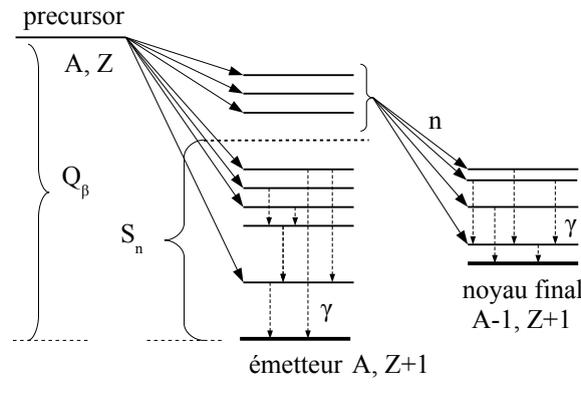


FIGURE 1: Représentation schématique de β -décroissance.

L'importance de propriétés nucléaires de décroissance β , en mettant l'accent sur l'émission de neutrons retardés ne peut pas être sous-estimée ce que est bien représenté dans le *Chapitre 1* de ma thèse. L'obtention d'informations sur des émetteurs de neutrons est nécessaire pour l'astrophysique (calculs de processus r); la compréhension de la structure nucléaire au proximité des fermetures de couches en neutrons ainsi que pour de estimations de rapports de branchement absolues. De plus, les neutrons retardés β jouent un rôle clé dans la physique des réacteurs.

Désintégration bêta et r -processus

Dans les environnements astrophysiques, sous certaines conditions explosives, un grand nombre de protons ou de neutrons libres sont disponibles. Ces neutrons libres peuvent conduire la synthèse de noyaux loin de la stabilité soit par le processus-rp (capture de

protons rapides suivie par désintégration β^+) en nova ou processus-r (capture de neutrons rapides suivie par désintégration β^-) en type II de super nova [1].

La connaissance de taux d'interactions faibles des noyaux est l'un des facteurs les plus importants pour résoudre les problèmes astrophysiques parce que la plupart des noyaux d'intérêt astrophysique se trouvent loin de la stabilité, donc leurs propriétés de désintégration β sont estimées plutôt théoriquement puisque les régions ne sont pas facilement accessibles expérimentalement. Par conséquent, pour effectuer des calculs fiables de processus-r, les paramètres clés, tels que l'énergie de séparation des neutrons S_n , des valeurs de Q_β , $T_{1/2}$ et la probabilité de l'émission de neutrons β retardée P_n sont dérivées de modèles théoriques. Comme il a été démontré récemment, $T_{1/2}$ de noyaux de la région $N \sim 50$ peut influencer les abondances de processus-r non seulement dans la région $75 < A < 90$, mais aussi dans des régions de masses plus lourdes, Figure 2 [2].

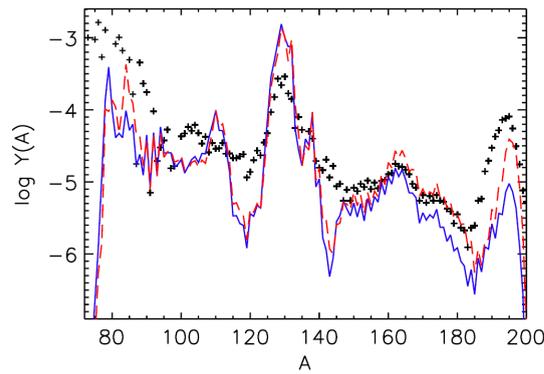


FIGURE 2: Abondances de processus-r calculés en FRDM [3] (ligne blue solide) et DF3a+CQRPA [2] (ligne rouge pointillé) en comparaison des abondances solaires (croix noires).

Pour justifier l'impact de P_n sur le processus-r nous nous sommes adressés à l'Institut d'Astronomie et d'Astrophysique (IAA) à l'Université de Bruxelles. En fait des neutrons β retardés peuvent influencer les distributions d'abondance r différemment par rapport à $T_{1/2}$. Les résultats de l'impact des P_n sur les distributions d'abondance r après décompression de la matière neutronique lors de la coalescence de 2 étoiles à neutrons de $1.35M_\odot$ sont illustrés dans la Figure 3. Un cas „standard” est comparé au cas où tous les P_n sont mis à zéro. L'effet d'une modification de valeurs de P_n est de décaler les pics d'abondance en masse. Lorsque $P_n > 0$, l'augmentation de la densité de neutrons permet de nouvelles captures de neutrons, en particulier par des éléments les plus abondants, c'est à dire pour les noyaux autour de $N = 126$ ($A = 195$). Par conséquent, la détermination fiable du P_n est bien nécessaire pour la compréhension du processus-r.

Transitions permises (Gamow-Teller) et première interdits (First Forbidden) pdes de doubles fermetures de couche ^{78}Ni et ^{132}Sn

Le calculs de QRPA¹ de propriétés de désintégration β tels que P_n et $T_{1/2}$ sur la base du modèle FRDM² sont plus ou moins en accord avec les ensembles de données expérimentales pour les noyaux riches en neutrons où les transitions permises dominent. Cependant, QRPA agit uniquement dans l'approximation permise et ne tient pas compte

¹Quasi-particle random-phase approximation

²Finite range droplet model (FRDM) for nuclear masses

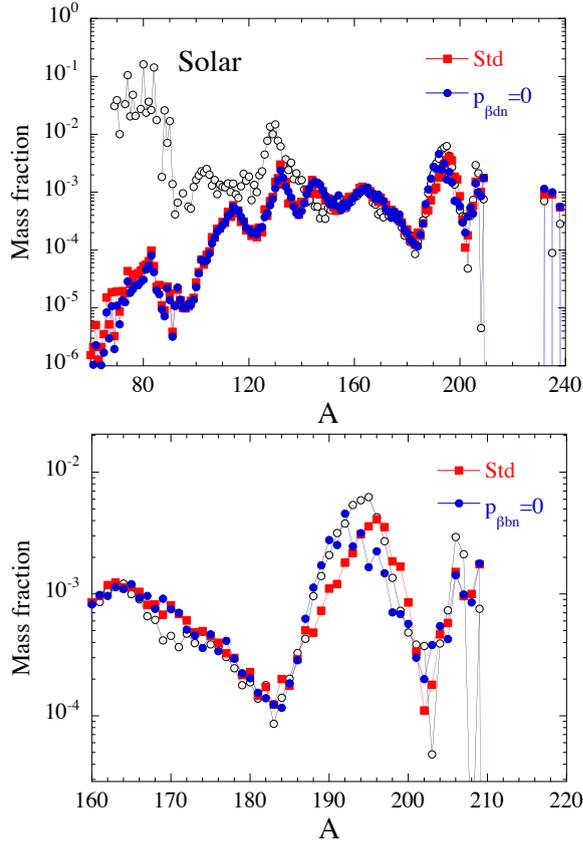


FIGURE 3: En haut: l'exemple de l'impact des P_n sur les distributions d'abondance r . Les abondances solaires (points noirs) par rapport à l'abondance calculés dans un modèle astrophysique, compris émission de neutrons β retardé avec P_n actuellement disponible (points rouges) et l'interdiction de émission de neutrons (tous P_n sont forcés à 0) (points bleus) [4] (voir le texte pour plus de détails). Sur la droite: le zoom près de $N = 126$.

des désintégrations interdites. Alors que la considération de transitions interdites est essentiel pour un description fiable des noyaux laquelle valeur de Q_β est grande où ces désintégrations permises commencent à jouer un rôle important. Ainsi, la chute de la probabilité d'émission de neutron et $T_{1/2}$ est trouvée dans des noyaux avec l'excès de neutrons supérieure à une couche principale. L'effet provient des transitions première interdites de haute énergie aux états extérieurs à la fenêtre $Q_\beta - S_n$ dans le noyau fils [5].

L'analyse simultanée des observables de désintégration β afin de reconstruire la fonction de force β est nécessaire. Allant au-delà du désintégration β permis afin de déterminer la contribution relative de désintégrations permise (Gamow-Teller) et interdits (First Forbidden) près de doublement magique ^{78}Ni et ^{132}Sn est une tâche expérimentale passionnante.

Les fermetures de couches nucléaires

Contrairement à la structure en couches nucléaires proche de la ligne de stabilité qui a été étudiée théoriquement et expérimentalement très bien, la structure en couches nucléaires de noyaux loin de la stabilité est encore inconnue et est actuellement d'un grand intérêt. La question est si les effets de couche loin de le stabilité sont toujours aussi forts ou

s'ils se dégradent. Le noyau doublement magique ^{78}Ni se situe entre la région de noyaux légers, où les preuves expérimentales de changement de nombres magiques loin de la stabilité sont bien établies [6], et des noyaux lourds, où aucune dégradation de fermeture de couche spin-orbite a été observé jusqu'à présent [7].

Donc, la région proche de ^{78}Ni est considérablement examinée à nos jours [8]. Par ailleurs, la persistance de la fermeture de couche $N=82$ au-dessous de $Z = 50$ est une question ouverte qu'il est essentiel de résoudre pour les calculs de scénarios du processus-r. En s'approchant de la limite de liaison nucléaire d'une dégradation de couche $N = 82$ est prédite dans les calculs de type „champ moyen” auto-consistents [9].

*Étude des noyaux riches en neutrons — **BETA** Decayed studies at Orsay Program.*

Comme il a été souligné juste au-dessus, la structure nucléaire à la proximité de noyaux doublement magiques ^{132}Sn et ^{78}Ni n'est pas encore entièrement comprise. Les mesures de rapports de branchement de neutrons retardés dans les régions riches en neutrons sont importantes pour la compréhension de la structure nucléaire ayant un impact sur la modélisation du processus-r. Pour la physique des réacteurs une connaissance précise de propriétés de décroissance β des noyaux avec un grand excès de neutrons est également nécessaire.

Les expériences dans ces régions ont tendance à être de plus en plus réalisables. Par conséquent, ces mesures nous donnent les premières contraintes sur les modèles nucléaires et les premiers indices sur les propriétés nucléaires pour des noyaux loin de la stabilité. Dans les noyaux plus exotiques la fenêtre $(Q_\beta - S_n)$ s'élargit considérablement. Ainsi, l'émission de neutrons devient une forte sinon un canal dominant. C'est pourquoi, une spectroscopie gamma seule n'est pas suffisante pour explorer les propriétés nucléaires dans ces régions, donc les mesures de neutrons sont appelés en jeu. Une condition sur la détection de neutron peut signifier sans ambiguïté l'appartenance d'une transition γ à la voie de décroissance β -n. Noyaux riches en neutrons peuvent présenter des états isomériques susceptible de se désintégrer par émission des neutrons. Par conséquent, comme il a été montré dans ce travail, un détecteur de neutrons est un outil extrêmement puissant pour explorer le changement de la structure nucléaire avec l'augmentation du nombre de neutrons. Il est bien connu que, un détecteur de neutrons (scintillateur) „rapide” peut être facilement couplé à un détecteur au germanium ce que mène à bon γ spectres coïncidence par neutrons. Malheureusement, à cause d'une efficacité faible et une haute sensibilité à rayons γ , l'application de scintillateurs peut être limitée. C'est pourquoi, un détecteur rempli en ^3He semble d'être une option la plus préférable pour ces études.

Il y a plusieurs façons de produire des faisceaux de noyaux exotiques (avec l'excès en neutrons ou en protons): par des réactions de transfert multi-nucléon; par la fission induite; par des réactions de fragmentation; par la spallation. Quand on s'éloigne expérimentalement de la vallée de stabilité on s'affronte des difficultés sérieux d'un très faible taux de production de noyaux d'intérêt qui vivent très court; ou production des espèces indésirables dans la cible en plus de noyaux d'intérêt. Généralement, il existe deux méthodes complémentaires pour atteindre une meilleure qualité de production: la technique de séparation en vol et la technique de séparation des isotopes en ligne (ISOL) qui peut être poursuivie par la post-accélération. La séparation en vol, en variant la combinaison de projectile/cible ainsi que l'énergie de projectiles, permet de souligner les aspects de propriétés nucléaires à étudier. Mais en même temps, les distributions énergétique et/ou angulaire des espèces produites sont très vastes ce que provoque la purification réduite.

Par contre, de noyaux exotiques obtenues avec la méthode d'ISOL, comme d'habitude, ont la divergence en énergies et en angles assez petite grâce à laquelle de noyaux peuvent être à la fois bien nettoyés (avec séparation) et post-accélérés si nécessaire. Malheureusement, un long temps d'extraction de noyaux rend l'étude des espèces du temps de vie le plus court presque impossible: ils doivent être produits, thermalisés et extraits avant sa désintégration. C'est pourquoi cette deux méthodes ne se croisent pas mais plutôt complètent l'une l'autre. Pour nos études nous avons choisi la technique de séparation des isotopes en ligne, appliqué chez ALTO-installation à Orsay, afin d'investiguer la décroissance β de noyaux riches en neutrons. Chez ALTO un faisceau d'électrons 50 MeV d'énergie et 10 μA intensité est appliqué à une cible de production de UC_X provoquant $5 \cdot 10^{11}$ photo-fissions par second fournit des physiciens avec un faisceau basses énergiques des isotopes radioactifs riches en neutrons. Des isotopes extraites peuvent être ionisés soit dans un plasma chaud ou dans un faisceau laser. Après le séparateur de masse PARNNe, des produits des photo-fissions s'arrêtes au point de collection entouré par des systèmes de détections de gamma, β , neutrons.

Pour étudier des propriétés de désintégration β le programme BEDO a été introduit à ALTO. Ce programme se compose de deux systèmes de détections à utilisés sur la même ligne de faisceau, la Figure 4. La première installation est destinée aux études de structure nucléaire - la branche γ -BEDO, et se compose de 5 détecteurs au germanium chacun est muni d'une enceinte destiné à la réjection Compton, composée de détecteurs BGO à scintillation; un détecteur Veto de plastique; d'un détecteur $4\pi\beta$. Le deuxième système de détection est réalisée en collaboration avec JINR(Dubna) et représente le détecteur de neutrons TETRA (80 compteurs rempli en ^3He) avec un détecteur de germanium et le détecteur $4\pi\beta$ disposé de telle sorte que l'efficacité de l'enregistrement des neutrons est le maximum - la branche n -BEDO. Il a pour objectif de mesurer le rapport de branchement absolue et parfois est tout simplement appelé TETRA. Au cours de ma thèse, j'étais responsable de la construction de cette partie de n -BEDO du projet BEDO, la mise en service et les premières expériences physiques. Dès mon arrivée à Orsay au début de 2011, j'ai commencé pratiquement de 3,2m² un espace au sol dans le hall expérimental d'ALTO. Dans les 17 mois, nous avons terminé une nouvelle ligne de faisceau, une nouvelle station de bande ainsi que les systèmes de détection — γ -BEDO et n -BEDO (TETRA). Je suis extrêmement heureux de vous présenter ici la Figure 4 avec les photos de ces détecteurs. À nos jours, où des techniques expérimentales sont coûteux et compliqués, que nécessite la patience et des années de développement, et généralement dépassent le „temps de vie” moyenne d'un étudiant de doctorat, je considère que j'ai eu une occasion exceptionnelle pour guider le projet depuis sa création jusqu'à l'interprétation des résultats et la comparaison avec des modèles théoriques existants.

Au cours deux campagnes expérimentales conduites pour enquêter sur les propriétés de désintégrations β de noyaux riches à neutrons dans le voisinage de $N=50$, $N=82$ l'efficacité du nouvellement système de détection produit avait été prouvée. Dans le voisinage de ^{78}Ni : le temps de vie et la probabilité de émission de neutrons β retardé pour $^{80,82,83,84}\text{Ga}$ ont été mesurés. En outre, nous avons été les premiers à observer la structure de $^{81,82}\text{Ge}$ par γ spectres coïncidés par β et par neutron grâce au canal de détection de neutrons. Les intensités absolues de décroissance β ont été proposés pour la première fois. Dans le voisinage de ^{132}Sn les temps de vie de $^{123,124,125}\text{Ag}$ et $^{127,128}\text{In}$ ont été mesurés. Pour la première fois l'émission de neutrons β retardé de ^{126}Cd a été observée, son P_n a été également mesuré. Sur la base des données obtenues, nous arrivons à la conclusion que, pour déterminer la contribution relative de transition β autorisés et interdites en

traversant la couche $N = 50$ plus des efforts théoriques doivent être faites. Alors que dans le voisinage de $N = 82$ l'amélioration expérimentales est essentiel.

BETA DECAY STUDIES AT ORSAY

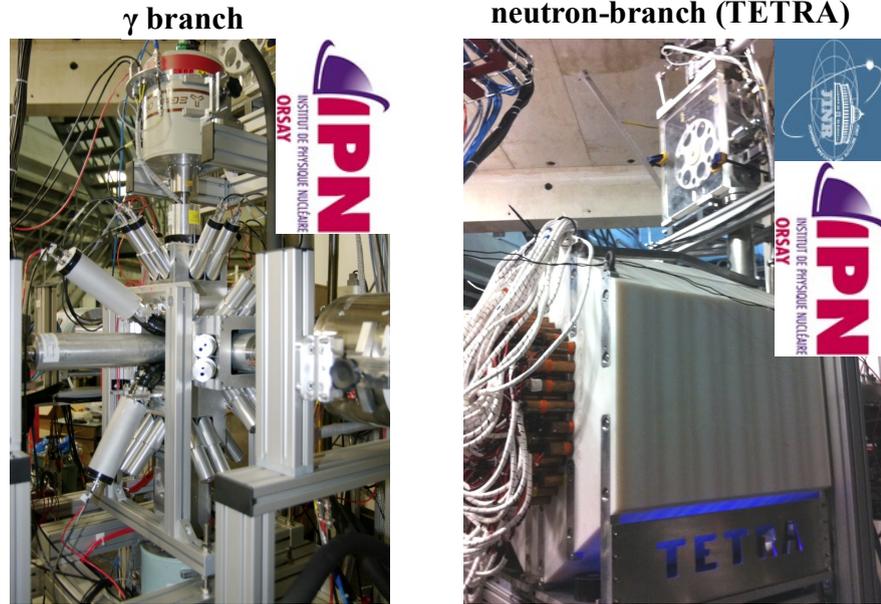


FIGURE 4: BEta Decayed studies at Orsay Program.

Dans le *Chapitre 2* est donné une introduction brève à la description théorique de désintégration de β . Differentes approches théoriques de la décroissance β sont passées revue. Il est précisé que dans la physique nucléaire il n'existe pas e théorie générale mais des modeles qui sont toutes basées sur des approximations compromis entre rendre les équations possibles à résoudre, d'une part, et „l'allocation” physique de ces approximations sur l'autre. Certains modeles accentuent applicabilité mondiale, d'autres - cherchent auto cohérence ou l'inclusion complète des corrélations nucléaires. Aucun de ces modeles contient tous les aspects importants d'une manière cohérente. Des modeles microscopiques, même développés récemment, sont fortement limités soit aux transitions GT, soit à une forme sphérique et/ou noyaux de pair-pair, à l'espace restreint de modèle. Par conséquent, jusqu'à présent, il n'y a pas de modeles appropriés comme base pour les calculs de dynamiques globale du process-r [10]. Certaines des régions clés de noyaux ont été atteints récemment grâce aux nouvelles usines de faisceaux radioactifs et aux progrès dans les technologies de méthodes de sélection (par exemple, la source d'ionisation laser). Aujourd'hui, environ 35 isotopes processus r ont été identifiés par au moins de mesures de désintégration β . Ceci conduit au fait que les différentes modelés peuvent être testés et ajustés à nouveaux ensembles de données.

Puisque l'une des tâches principales de ma thèse était la construction d'un tout nouveau dispositif expérimental, dont le détecteur de neutrons TETRA, pour le programme BEDO à ALTO, *Chapitre 3* donne une description complète sur le développement effectué. Ce chapitre a des extensions dans les Annexes: Annexe A considère une observation générale de techniques de détection des neutrons. Annexe B est consacré à la description de simulation MCNP détaillé. Annexe C contient des informations techniques complémentaires sur TETRA.

TETRA a été considéré comme un outil le plus approprié pour les expériences de mesures de neutrons émis après la désintégration bêta des noyaux avec un grand excès de neutrons produits à ALTO. TETRA a été choisi pour cette mission grâce à sa grande efficacité - le paramètre le plus important pour étudier des isotopes avec des taux de production faibles. L'efficacité, constante jusqu'à 1 MeV de l'énergie des neutrons, a été atteinte grâce à la configuration géométrique. Un détecteur de neutrons avec les compteurs remplis en ^3He doit avoir au moins 4 couches de compteurs pour assurer la dépendance constante de l'efficacité de détection des neutrons en fonction de l'énergie de neutrons jusqu'à 1 MeV, comme il a été démontré par les scientifiques de Dubna en [11]. Il est généralement admis que l'énergie des neutrons émis après désintégration β est relativement faible et ne dépasse pas 1 MeV. Il y a des preuves de la faible énergie des neutrons β -retardés dans les spectres d'énergie de neutrons mesurées expérimentalement [12]. Par ailleurs, dans nos expériences, on a également observé des preuves en faveur de faiblesse ($<0,5$ MeV) l'énergie des neutrons.

Au cours de la première étape de ma thèse j'ai accompli avec succès chacun des points de la modernisation mentionnées ci-dessous:

- ★ Développement d'un support approprié permettant d'installer TETRA directement sur une ligne de faisceau dans la configuration assurant la plus haute efficacité possible. J'ai déterminé qu'il faudrait trois configurations géométriques: à partir d'une avec une efficacité maximale de détection de neutrons (ε_n^{max}) mais avec l'efficacité minimale de l'enregistrement de gamma (ε_γ^{min}) - pour mesures de P_n ; jusqu'à l'opposé - l'une avec ε_γ^{max} à coupe raisonnable dans ε_n^{min} - pour la spectroscopie de fragments de fission.
- ★ Conception (basé sur les calculs de MCNP) et réalisation d'une blindage approprié de neutrons de fond;
- ★ Développement de nouveaux électronique et logiciels pour permettre la comptage de multiplicité de neutrons ainsi que le couplage avec une DAQ externe dévoués.

Dans *Chapitre 4* des moyens pour la production de RIB sont considérés avec un accent particulier sur la méthode ISOL et l'installation ALTO de type ISOL situé à Orsay, France. Après presque 5 ans de l'interaction constante avec l'autorité de sécurité, en 2012 ALTO a été finalement donnée une autorisation d'exploiter à ses paramètres calculés et inauguré plus tard en mai 2013. Pendant tout ce temps avec des tests de sécurité nécessaires, le programme de recherche a également été réalisée et a abouti dans les travaux brillants des étudiants: M. Lebois [13], B. Tastet [14], K. Kolos [15]. À ALTO un faisceau d'électrons, 50 MeV, 10μ est appliqué à une UC_x cible en façon d'obtenir de faisceaux de fragments de fissions basses énergétiques. Isotopes extraites peuvent être ionisés soit par un plasma chaud soit dans par un laser. Après le séparateur de masse PARNNe, des fragments de fission séparés sont livrés à des lignes de faisceau physiques (Figure 5).

Le dispositif expérimental final est décrit dans le *Chapitre 5*. Noyaux séparés d'intérêt sont finalement recueillis sur la bande de mylar, au point de collection, Figure 6. Le point de collection (en rouge) est entouré par un $4\pi\beta$ -détecteur (en jaune) et par 4 couches de compteurs de neutrons placés dans une seule morceau de polyéthylène haute densité et la cinquième. Aussi il y a du blindage de neutrons du fond - une couche de 15 cm d'épaisseur de polyéthylène boré. Enfin, un détecteur de germanium est mis dans de l'arrière sur l'axe du faisceau. Les noyaux collectées, dont la durée de vie est relativement courte, subissent décroissance β . A leur tour, les noyaux fils souffrent également de décroissance

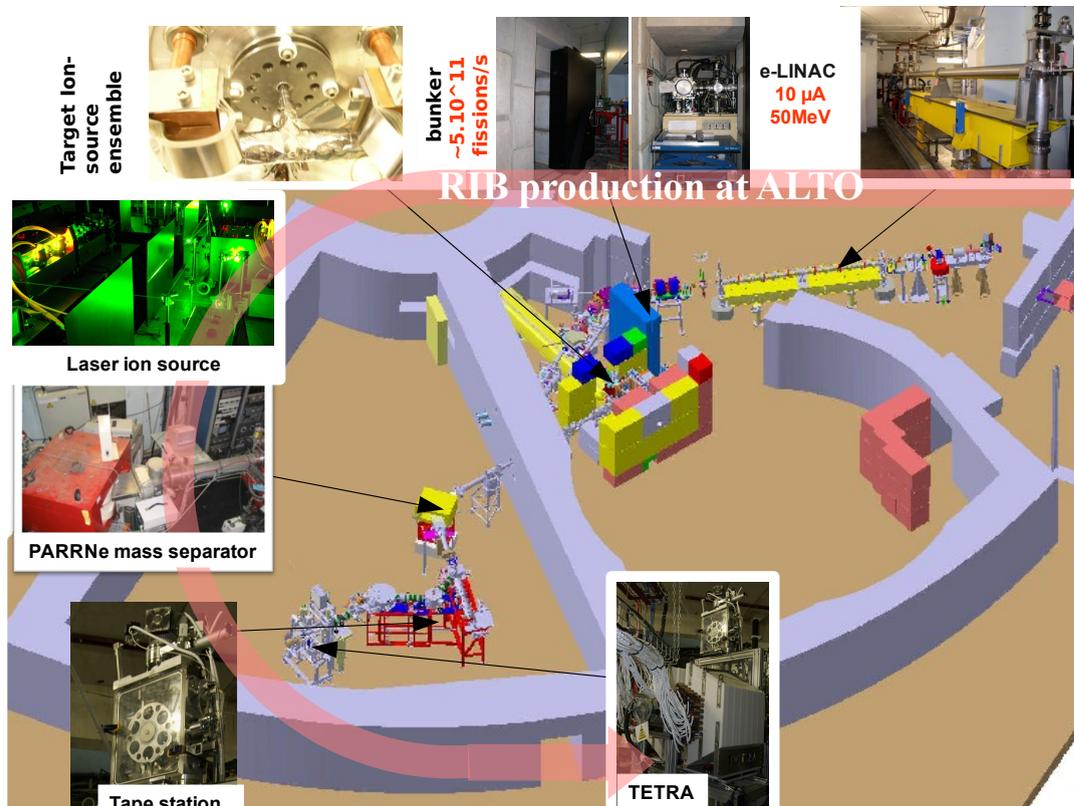


FIGURE 5: Installation de type ISOL ALTO

β . Étant donné qu'ils sont plus proches de la stabilité, leurs temps de vie est plus longue. Afin d'évacuer la radioactivité indésirables de ces noyaux, la bande est déplacée avec une période en fonction d'un isotope particulier à étudier.

La procédure d'analyse et les résultats obtenus sont présentés dans le *Chapitre 6*. Les méthodes pour mesurer la valeur de P_n sont considérées. L'évaluation de P_n en résolvant le système de Bateman, employé dans le présent travail, est complètement décrite.

Il y avait deux expériences effectuées avec TETRA. La premier a eu lieu la dernière semaine du septembre de 2012 avec la source d'ionisation de plasma chaud sur faisceau masse séparé de isotopes $A = 123 - 128$ et a été visé à l'étude du décroissance β d'isotopes d'argent (Ag) riches en neutrons. La deuxième expérience a été exécutée à la fin de novembre de 2012 avec la source d'ion à laser et a été consacrée à l'étude de la désintégration β de $^{82,83,84}\text{Ga}$.

Enfin, la signification physique des résultats est mise en discussion dans le *Capitre 7*. Il est démontré que les résultats obtenus sont en bon accord avec l'approche systématique. Dans la Figure 7 est tracée la corrélation de valeurs expérimentales de P_n avec la fenêtre $Q_\beta - S_n$ dans le voisinage de ^{78}Ni (en haut) et ^{132}Sn (en bas). Les données obtenues actuellement (dans les étoiles rouges) sont comparés avec la base de données NNDC (Septembre 2013) [16]. Comme on le voit, les valeurs mesuré dans le travail présents sont en d'accord avec la systématique décrites ci-dessus.

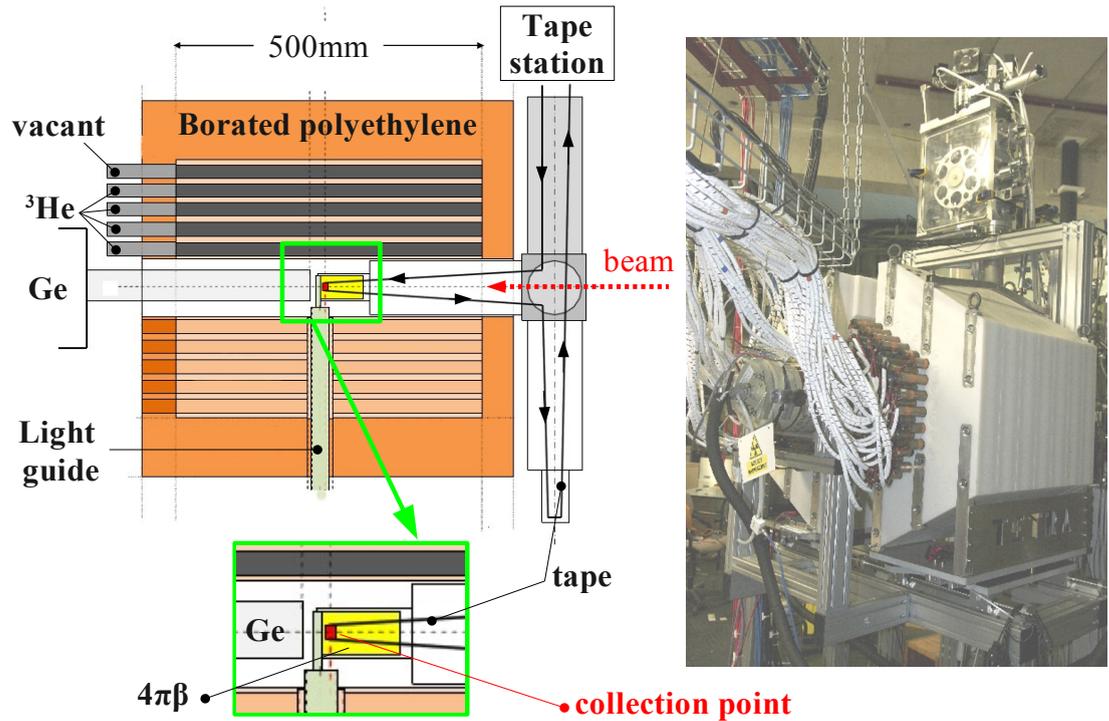


FIGURE 6: Vue générale du dispositif expérimental

Dans le chapitre *Chapitre 8* je présente les conclusions et les perspectives de la recherche effectuée dans la thèse. Il a été prouvé que TETRA est un outil scientifique polyvalent pour les mesures de I_β , $T_{1/2}$ et P_n de noyaux riches en neutrons produits à la fois avec le laser et la source d'ions à plasma chaud. Aussi TETRA peut jouer un rôle important dans les études spectroscopiques de la structure nucléaire grâce à la γ - β -n technique de coïncidence. Dans γ spectres coïncidés par β et par n, transitions sans rapport avec la β -n branche sont supprimées. En outre, nous avons constaté que la courbe de l'activité de neutrons est un outil extrêmement très puissant pour obtenir une première indice (même en ligne) sur $T_{1/2}$ d'un précurseur de neutrons d'intérêt s'il est le seul émetteur de neutrons sur son chaîne isobarique ou si la contribution des autres émetteurs de neutrons est négligeable comme en $^{82,83}\text{Ga}$, $^{123-126}\text{Ag}$, $^{127,128}\text{In}$. La forme de la courbe, fournit directement le temps de vie du précurseur. La limite pratique de noyaux à étudier à TETRA est principalement déterminée par la pureté du faisceau. Comme il a été montré, nous avons atteint la limite de la source d'ions du plasma et l'investigation des plus riches en neutrons des noyaux à ALTO ne peut être possible qu'avec la source d'ionisation laser.

Le détecteur de neutrons TETRA est accessible maintenant dans deux configurations - le support du modérateur unique construit dans ma thèse, et disponible originalement la géométrie de „modules de neutrons” dans lequel chaque compteur est placé dans sa pièce individuelle de modérateur. Essentiellement, le système électronique mis au point peut être utilisé comme un module autonome, mais aussi il est parfaitement compatible avec tout système d'acquisition de données modernes. Par conséquent, TETRA peut également être employé à n'importe quelle installation In-Flight/ISOL existant. Il vaut la peine de dire qu'il y a deux propositions visant à utiliser TETRA de tiers (en dehors

de la collaboration JINR Dubna-IPN Orsay) déjà approuvés en 2013: un par le comité d'expérience d'ALTO et la seconde par le comité d'expérience de GANIL.

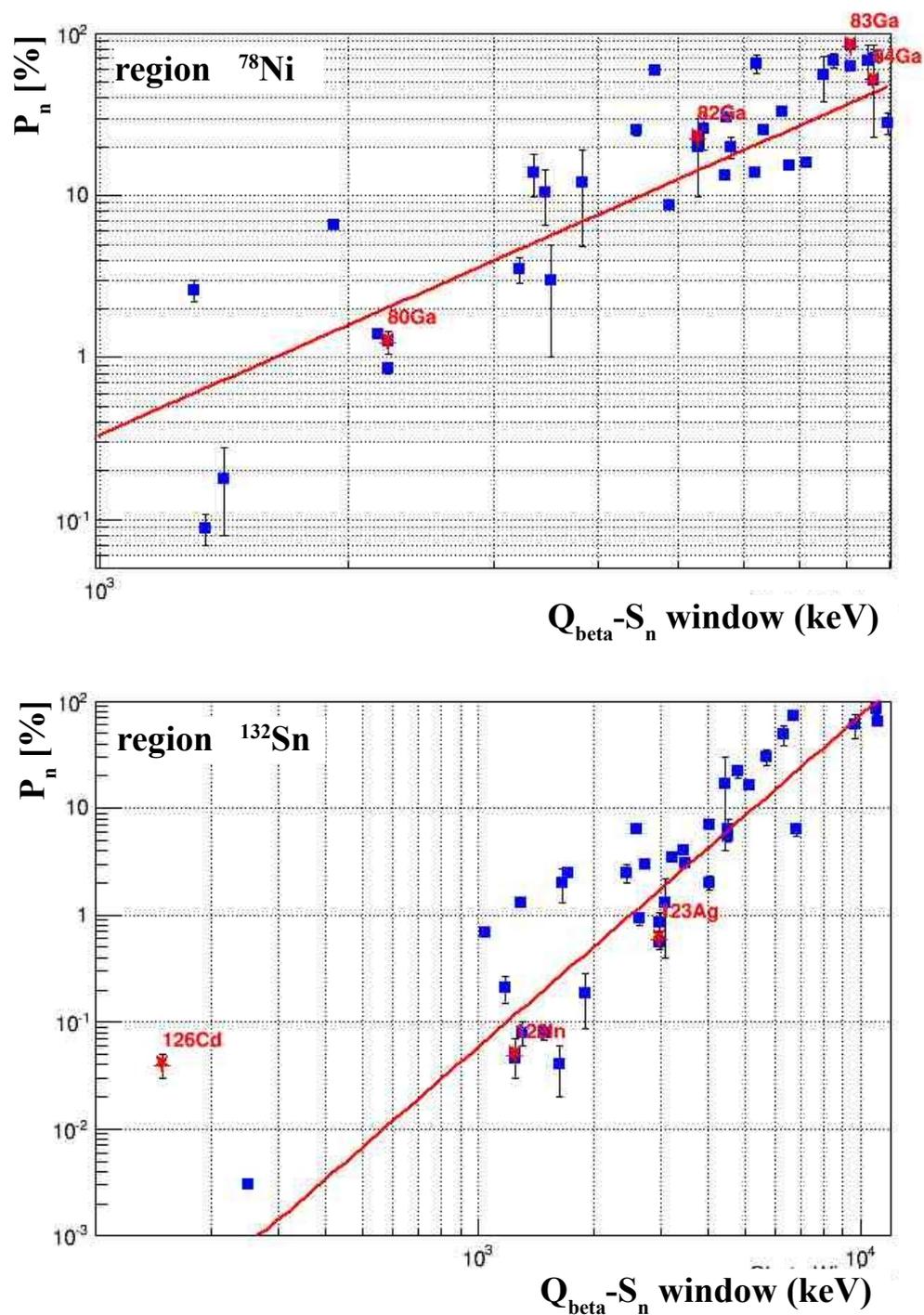


FIGURE 7: la corrélation de valeurs expérimentales de P_n avec la fenêtre $Q_{\beta} - S_n$ dans le voisinage de ^{78}Ni (en haut) et ^{132}Sn (en bas). Les données de ce travail sont dans les étoiles rouges.

Bibliography

- [1] P. Möller, J. Nix, and K.-L. Kratz, [ADNDT **66**, 131 \(1997\)](#).
- [2] M. Madurga, R. Surman, I. N. Borzov, R. Grzywacz, K. P. Rykaczewski, C. J. Gross, D. Miller, D. W. Stracener, J. C. Batchelder, N. T. Brewer, L. Cartegni, J. H. Hamilton, J. K. Hwang, S. H. Liu, S. V. Ilyushkin, C. Jost, M. Karny, A. Korgul, W. Królas, A. Kuźniak, C. Mazzocchi, A. J. Mendez, K. Miernik, S. W. Padgett, S. V. Paulauskas, A. V. Ramayya, J. A. Winger, M. Wolińska Cichocka, and E. F. Zganjar, [Phys. Rev. Lett. **109**, 112501 \(2012\)](#).
- [3] P. Möller, B. Pfeiffer, and K.-L. Kratz, [Phys. Rev. C **67**, 055802 \(2003\)](#).
- [4] S. Goriely, Private Communications (2013).
- [5] I. Borzov, [Nucl. Phys. A **777**, 645 \(2006\)](#), special Issue on Nuclear Astrophysics.
- [6] B. Bastin, S. Grévy, D. Sohler, O. Sorlin, Z. Dombrádi, N. L. Achouri, J. C. Angélique, F. Azaiez, D. Baiborodin, R. Borcea, C. Bourgeois, A. Buta, A. Bürger, R. Chapman, J. C. Dalouzy, Z. Dlouhy, A. Drouard, Z. Elekes, S. Franchoo, S. Jacob, B. Laurent, M. Lazar, X. Liang, E. Liénard, J. Mrazek, L. Nalpas, F. Negoita, N. A. Orr, Y. Penionzhkevich, Z. Podolyák, F. Pougheon, P. Roussel-Chomaz, M. G. Saint-Laurent, M. Stanoiu, I. Stefan, F. Nowacki, and A. Poves, [Phys. Rev. Lett. **99**, 022503 \(2007\)](#).
- [7] K. Sieja and F. Nowacki, [Phys. Rev. C **81**, 061303 \(2010\)](#).
- [8] D. Verney, Habilitation diriger de la recherche, Manuscript, University Paris Sud (2013).
- [9] J. Dobaczewski, I. Hamamoto, W. Nazarewicz, and J. A. Sheikh, [Phys. Rev. Lett. **72**, 981 \(1994\)](#).
- [10] K.-L. Kratz, B. Pfeiffer, O. Arndt, S. Hennrich, A. Wöhr, t. ISOLDE/IS333, and I. Collaborations, [The European Physical Journal A - Hadrons and Nuclei **25**, 633 \(2005\)](#).
- [11] J. Cerny, Z. Dlouhy, Z. Dolezal, M. Ivanov, P. Kubik, E. Kuznetsova, Y. Penionzhkevich, E. Sokol, J. Svejda, and I. Wilhelm, [Nucl. Instr&Meth. A **540**, 430 \(2005\)](#).
- [12] S. Shalev and G. Rudstam, [Nucl. Phys. A **230**, 153 \(1974\)](#).
- [13] M. Lebois, *Structure des noyaux de Germanium et de Gallium riches en neutrons au-delà de $N=50$ à ALTO*, Ph.D. thesis, University Paris Sud 11 (2008).
- [14] B. Tastet, *Structure des noyaux de gallium, de germanium et d'arsenic riches en neutrons autour de $N=50$ et développement d'une source d'ionisation laser à ALTO*,

Ph.D. thesis, University Paris Sud 11 (2011).

[15] K. Kolos, *Probing the nuclear structure in the vicinity of ^{78}Ni via beta decay spectroscopy of ^{84}Ga* , Ph.D. thesis, University Paris Sud 11 (2012).

[16] <http://http://www.nndc.bnl.gov>, (08/2013).