

# Hadrons et Noyaux

Le nucléon (proton et neutron) est la brique élémentaire des noyaux d'atomes qui représentent 99% de la masse de la matière qui nous entoure. Cet objet singulier, dont la masse est 100 fois plus grande que celle de la somme de ses constituants (3 quarks u ou d), reste à bien des égards mystérieux. La physique hadronique a pour objectif la compréhension de la structure des nucléons en termes de quarks et gluons, ainsi que l'étude de la nature de leur confinement.

La physique nucléaire a pour objectif quant à elle la compréhension de la structure des noyaux et de

leurs propriétés (déformation, états excités) à partir des interactions entre les nucléons. Une des thématiques de recherche majeures de la physique nucléaire est l'exploration d'états extrêmes du noyau que ce soit en asymétrie neutrons/protons (noyaux exotiques), en charge (noyaux super lourds), en vitesse de rotation (noyaux super déformés) ou en énergie d'excitation (noyaux chauds).

Ces études permettent en outre d'étudier et de comprendre la force forte que cela soit au niveau de l'interaction entre quarks ou entre nucléons.

# Structure des noyaux riches en neutrons de masse $A \sim 150$ près de la ligne yrast

J. Genevey, J.-A. Pinston, G. Simpson  
 Institut Laue-Langevin  
 Université de Varsovie

*New isomeric states have been measured in the  $N=93$  isotones  $^{155}\text{Sm}$ ,  $^{153}\text{Nd}$  at the Lohengrin spectrometer of the Institut Laue-Langevin. These data were supplemented by  $\gamma$ -ray spectroscopy data from spontaneous fission experiments performed with the Eurogam and Gammasphere arrays, which allowed the construction of collective bands on top of the isomeric states. These data have also allowed the discovery of a new collective band in  $^{151}\text{Ce}$ . These new results have been interpreted using the Quasi-Particle-Rotor model which successfully describes the majority of the decay properties of these nuclei. As this model uses a reflection-symmetric core it shows that the dipole moment of these nuclei, responsible for the isomeric E1 decays, arises from the polarizing effect of the odd-neutron alone.*

Les noyaux riches en neutrons proches de la masse  $A = 150$  se trouvent près d'une région où l'on observe de fortes corrélations octupolaires. Ces noyaux ont donc un moment électrique dipolaire et leurs centres de masse et de charge ne coïncident pas. On ne sait pas si ces corrélations octupolaires proviennent de déformations statiques ou de modes vibrationnels car les données expérimentales « clés » n'existent pas. Une signature de tels effets est l'observation de bandes à parité alternée presque dégénérées. Ces bandes ont été observées dans des noyaux tels que  $^{153}\text{Sm}$  et ont des caractéristiques similaires aux bandes de rotation de molécules asymétriques telle que HCl. L'observation de telles bandes est en désaccord avec différents calculs microscopiques qui ne prédisent pas de déformation octupolaire statique dans les états fondamentaux de ces noyaux.

En vue d'étudier ces effets, nous avons mesuré la désintégration de cascades isomériques  $\mu\text{s}$  dans les noyaux  $^{155}\text{Sm}$  et  $^{153}\text{Nd}$  à l'aide du spectromètre Lohengrin à l'ILL. Ces noyaux et ceux de leur isotone  $N=93$ ,  $^{151}\text{Ce}$ , ont été étudiés à l'aide de mesures de coïncidences triples  $\gamma\gamma\gamma$  provenant d'expériences de fission spontanée réalisées avec Eurogam 2 et Gammasphere à Strasbourg et Argonne respectivement. Cela a permis la construction de bandes collectives sur presque tous les états isomériques observés et a permis de préciser leurs propriétés.

Les données expérimentales ont été interprétées avec le modèle quasi-particule-rotor (QPRM). Ce modèle a permis de reproduire la plupart des propriétés de désintégration des états excités de ces noyaux. Les énergies et le « staggering » des transitions intrabandes sont bien reproduites. Les désintégrations des états isomériques  $5/2^+$  par des transitions E1 vers les états de la bande fondamentale  $3/2^-$  sont bien reproduits pour la plupart des transitions dans  $^{155}\text{Sm}$ ,  $^{153}\text{Nd}$  et  $^{151}\text{Ce}$ . Comme le modèle impose un cœur symétrique par réflexion, cela montre que le moment dipolaire de ces noyaux provient d'un effet de polarisation dû au

neutron impair célibataire. Cette interprétation est en accord avec plusieurs calculs microscopiques qui prédisent des cœurs symétriques par réflexion pour ces noyaux.

Nous avons aussi étudié les désintégrations d'états isomériques dans les noyaux voisins  $^{154,156}\text{Nd}$ ,  $^{156,158,160}\text{Sm}$  avec les mêmes techniques expérimentales. Les isomères proviennent d'excitation à 2 quasi-particules. Les calculs QPRM sont aussi capables de reproduire les propriétés des bandes collectives basées sur ces états isomériques.

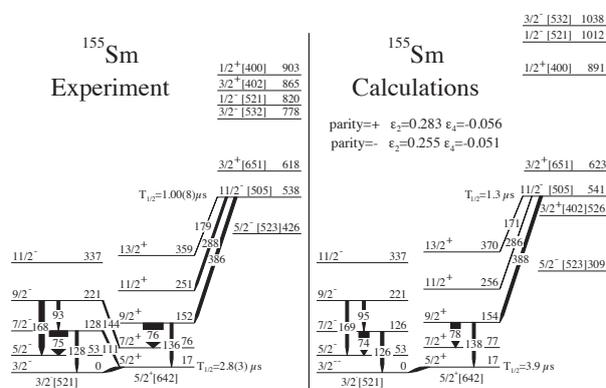


Fig. 1 : Comparaison des mesures expérimentales avec des calculs théoriques pour  $^{155}\text{Sm}$ .

## Pour en savoir plus

- G. Simpson *et al.* Phys. Rev. C 80 (2009), 024304.

# Structure du nucléon

J. Dumas, A. El Alaoui, C. Furget, S. Kox, Y. Perrin, J.-S. Réal, E. Voutier  
Service Administratif

Caltech, Carnegie-Mellon U., College of William and Mary, Hampton U., IPN Orsay, New Mexico State U., Jlab, TRIUMF, U. of Connecticut, U. of Illinois, U. of Kentucky, U. of Manitoba, U. of Maryland, U. of Massachusetts, U. of Northern British Columbia, Virginia Tech, Yerevan Physics Institute, Argonne National Laboratory, CEA Saclay, College of William & Mary, Glasgow U., Idaho Accelerator Center, Idaho State U., INFN Frascati, INFN Genova, INFN Roma, IPN Orsay, Jefferson Lab, LPC Clermont-Ferrand, Old Dominion U. et la Collaboration Internationale CLAS de Jefferson Lab

*Since 1995, our group has been working in hadronic physics using electron scattering reactions which probe nuclear target via the electromagnetic and weak forces. The goal is to explore and understand the internal structure of the nucleons (proton and neutron). The group is presently involved in the two phases of a parity violation experiment, G0, which measure Parity Violation asymmetries in polarized elastic electron proton scattering. These asymmetries are sensitive to the strange quark content of the nucleon. We are also involved in an large experimental program which focus on the quark correlations in the nucleon (Generalized Parton Distribution). They can be measured in deep virtual Compton scattering experiment on proton and neutron.*

## Contenu étrange du Nucléon G0

Les hadrons sont constitués de trois quarks de valence, mais aussi de paires quark-antiquark (la mer) générées par les gluons. Le quark étrange joue un rôle particulier puisque c'est le quark le plus léger qui ne possède pas de contribution de valence. L'influence de la mer sur les propriétés globales des hadrons est encore inconnue du fait de l'aspect non perturbatif de QCD dans le régime des basses énergies. Des expériences ont cependant mis en évidence que les quarks étranges (s) contribuent à la structure – spin, masse... – du nucléon, mais avec de fortes incertitudes expérimentales ou théoriques.

L'expérience G0 a mesuré la contribution des quarks étranges aux distributions de charge et de magnétisation (courant/spin) du nucléon. Elle se situe dans un vaste programme international, conduit depuis une quinzaine d'années dans différents laboratoires, et a permis pour la première fois la séparation des facteurs de forme étranges électrique et magnétique et du facteur de forme axial du proton sur une cinématique étendue. Ces observables sont extraites de mesures d'asymétries très petites (quelques parties par million ppm) fonction de la polarisation des électrons incidents. Une série de mesures d'asymétrie, à différents angles de diffusion et sur différentes cibles permet d'accéder aux trois facteurs de forme.

Impliqué depuis 1998, le LPSC a financé et construit la moitié des détecteurs et de l'électronique associée. Une première série de mesures a eu lieu en 2003-2004 et a été publiée. Quatre séries de mesures ont eu lieu entre 2006 et 2007 pour un total de neuf mois d'expérience. L'analyse a été achevée au premier semestre 2009 et les résultats seront bientôt publiés.

## Distributions Généralisées de Partons

Le nucléon (proton et neutron) est la brique élémentaire des noyaux d'atomes qui représentent 99% de la masse de notre univers visible. Cet objet singulier, dont la masse est 100 fois plus grande que celle de la somme de ses constituants, reste à bien des égards mystérieux. De récents développements théoriques ont unifié la description de la dynamique et de la structure du nucléon dans un même formalisme reposant sur des grandeurs universelles, les distributions généralisées de partons (GPD). La diffusion Compton d'un photon virtuel (DVCS) par un nucléon permet d'étudier sa structure interne par la détermination expérimentale des GPD. Initiée au LPSC en 2003, l'activité GPD s'est développée au cours des dernières années avec l'achèvement du premier programme expérimental mondial dédié à l'étude du DVCS, dans le Hall A de JLab, et se poursuit aujourd'hui au sein de la collaboration CLAS du Hall B de JLab avec la préparation d'un nouveau programme expérimental DVCS au moyen du détecteur CLAS et des études de R&D concernant un nouveau concept de source polarisée de positrons.

La détermination expérimentale des différentes GPD du nucléon requiert la mesure de plusieurs observables impliquant des faisceaux (électrons et/ou positrons) et des cibles polarisés. Cette problématique est simplifiée dans le cas d'un objet de spin nul, tel le noyau d'hélium, qui n'est représenté que par une seule GPD. Plusieurs campagnes de prises de données, avec le détecteur CLAS dans le Hall B de JLab, permettront de réaliser ces mesures sur le proton et le noyau d'hélium, toutefois dans un domaine limité de l'espace de phase. Notre équipe a plus particulièrement participé à l'élaboration d'un programme DVCS sur le noyau d'hélium, dont les prises de données débiteront à l'automne 2009. Nous avons de plus développé un outil de simulation, le code GENEPI (générateur d'électro-

production incohérente de photons), permettant de simuler la réaction DVCS sur le nucléon et les noyaux ainsi que les réactions parasites contaminant le signal expérimental. Cet outil, dont la première version a été rendue publique récemment, est appelé à servir l'ensemble de la Collaboration CLAS.

Les développements récents dans le domaine des sources polarisées d'électrons ont ressuscité un intérêt grandissant pour un nouveau type de source polarisée de positrons. La mise au point de sources d'électrons de grande intensité (1 mA) et de forte polarisation (85%) permet en effet d'envisager la production efficace de positrons polarisés par rayonnement bremsstrahlung d'électrons polarisés dans une cible métallique : la polarisation longitudinale des électrons induit une polarisation circulaire des photons qui, par création de paires, est alors transmise aux positrons sous forme d'une polarisation longitudinale. L'efficacité globale de production de positrons dépend de la nature de la cible et de l'énergie du faisceau incident mais les études en cours montrent qu'une polarisation de 60% peut-être universellement obtenue (Fig. 1). Notre équipe est à l'origine de ces développements qui ouvrent la voie à la construction de sources polarisées de positrons de faible coût qui trouveraient une application non seulement dans le cadre des GPD, mais aussi à plus haute énergie dans le domaine de la physique des saveurs, ou même à très basse énergie dans la caractérisation des semi-conducteurs. Nos études se poursuivent aujourd'hui dans la direction d'une démonstration expérimentale de ce concept.

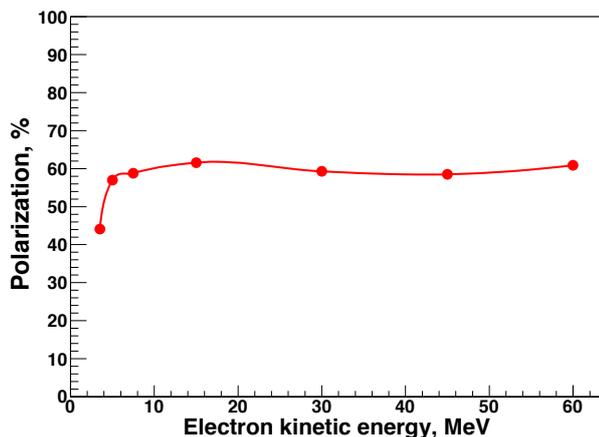


Fig. 1 : Évolution de la polarisation optimale d'un faisceau de positrons en fonction de l'énergie des électrons, pour un faisceau polarisé à 85% incident sur une cible de tungstène de 100  $\mu\text{m}$ .

# Expérience ALICE auprès du LHC

*P. Carrivain, J. Faivre, C. Furget, S. Gadrat, R. Guernane, S. Kox, Y. Mao, J.-S. Réal  
C. Bernard, M. Chala, M. Marton, J.-F. Muraz, Service Détecteurs et Instrumentation  
B. Boyer, O. Bourrion, S. Muggéo, Service Électronique et Acquisition de données  
Y. Carcagno, J. Giraud, Service Études et Réalisations Mécaniques  
C. Gondrand, F. Lambert, Service Informatique*

*The ALICE experiment is dedicated to the study of quark-gluon plasma produced in high-relativistic heavy ion collisions at the LHC. In this context, the LPSC is involved in the construction of an electromagnetic calorimeter, which will improve the measurements of high momentum photons and electrons. The laboratory is in charge of the supermodule assembly and their calibration on a dedicated cosmic-ray setup installed in the hall ARIANE. The LPSC is also responsible for the construction of the electronics associated to the level 1 trigger.*

Depuis 2006, notre groupe est impliqué dans l'étude du plasma de quarks et de gluons (QGP) avec l'expérience ALICE dans les collisions de faisceaux d'ions lourds ultra-relativistes auprès du LHC. Nous participons dans le cadre d'une collaboration française (Nantes, Strasbourg, Grenoble), italienne (Frascati et Catane) et américaine (Wayne State University, Berkeley, Oak Rige, Yale...) à la construction du calorimètre électromagnétique EMCal, qui va permettre d'étendre les performances du détecteur ALICE dans le domaine de la physique des jets, des photons et des particules de grand moment transverse.

Une des signatures du plasma de quarks et de gluons repose sur le phénomène de jet-quenching, où la production des particules de grand moment transverse est supprimée en collisions d'ions lourds, dû à l'interaction des partons de grande énergie avec les quarks et gluons déconfinés. L'expérience ALICE va permettre une étude systématique de ce phénomène à travers la modification des distributions en impulsion des hadrons du jet (fonctions de fragmentation) entre les systèmes plomb-plomb et proton-proton afin de caractériser le milieu traversé.

Cette mesure requiert la mise en œuvre d'un calorimètre EMCAL de grande dimension. Celui-ci est composé de onze supermodules, chacun comprenant 288 modules utilisant la technologie de la calorimétrie à échantillonnage en Pb-scintillateur. Il va permettre d'augmenter l'acceptance de détection des photons et de fournir un déclenchement efficace et non biaisé sur les jets de grand moment transverse ainsi que sur les photons et électrons de grande impulsion. Combiné au système de trajectographie d'ALICE, il permettra d'améliorer la résolution en énergie des jets par la mesure de la contribution des particules neutres.

Depuis l'obtention du financement du calorimètre EMCal début 2007 (pour la contribution française), nous avons travaillé sur la définition précise des caractéristiques techniques du calorimètre, avant de démarrer sa construction. Le calendrier de réalisation a permis d'installer 40% du détecteur final pour les premières prises de données au CERN en proton-proton en septembre 2009, la totalité du calorimètre

devant être disponible début 2011 pour les prises de données en faisceaux d'ions lourds. Notre groupe est tout particulièrement impliqué dans l'assemblage des super-modules et leur calibration à l'aide d'un banc de test développé au LPSC ainsi que dans la réalisation du système de déclenchement de niveau 1.

Durant le second semestre 2007, notre groupe a participé aux tests des premiers modules prototypes, qui ont eu lieu sous faisceau d'électrons au CERN de septembre à fin novembre 2007, avec la mise en œuvre de trois chambres à fils. Outre notre participation aux prises de données, nous nous sommes investis dans le développement d'outils d'analyse pour les corrections en température insérés dans le logiciel standard d'ALICE. Les mesures sous faisceau ont été suivies par des tests sous rayonnement cosmique, qui ont eu lieu également au CERN en décembre 2007, avec pour objectif la mise en place d'une procédure de calibration des modules avec une précision d'environ 10%.

Durant le second semestre 2008, notre laboratoire a pris en charge la construction du banc de test final, composé d'un ensemble de scintillateurs de grande dimension avec une mesure de localisation des muons d'origine cosmique. Pour sa mise en œuvre, le laboratoire a réalisé de nombreux développements techniques comme la production de pièces mécaniques relatives au module, la réalisation d'outillages de maintenance des stripmodules et des supermodules, le câblage du supermodule, la réalisation des modules d'électronique. Nous avons également pris en charge la mise en œuvre du système d'acquisition, les systèmes de contrôle (température, basses et hautes tensions ...) ainsi que l'écriture de programmes d'analyse pour les mesures de calibration.

De janvier à juillet 2009, trois supermodules ont pu ainsi être assemblés, testés puis calibrés au sein du hall ARIANE. Les mesures réalisées ont permis d'uniformiser la réponse des 1024 tours composant un supermodule avec une dispersion de l'ordre de 2 à 3%, nettement inférieure à celle du cahier des charges.

Le service d'électronique de notre laboratoire est également responsable du développement d'une carte de

déclenchement de niveau 1 pour la détection des jets de grande impulsion et de photons. Le signal de déclenchement est obtenu à partir d'une somme en énergie des quelques centaines de tours touchées par un jet de particules. Notre groupe est impliqué dans cette réalisation à travers le développement d'outils de simulation devant être insérés dans les logiciels d'ALICE.

Le laboratoire est également impliqué en tant que Tiers 3 dans les développements informatiques relatifs à l'utilisation de la grille par la collaboration ALICE. Selon le modèle de calcul de la collaboration ALICE, le Tier 3 du laboratoire a les mêmes fonctionnalités que celles assignées aux Tiers 2: production/reconstruction de données Monte Carlo et analyses. Début 2009, les services ALICE ont été déployés avec succès sur le Tier 3 du LPSC, la production d'événements Monte Carlo ayant dans le même temps débuté.

Enfin notre groupe participe à des réunions de travail portant sur les études de simulation, destinées à l'écriture du «Physics Performance Report» d'ALICE. Nous sommes plus particulièrement impliqués dans l'étude de l'efficacité de détection des jets de grande énergie, en relation avec le développement du système de déclenchement.

### Pour en savoir plus

- ALICE Technical design report, Electromagnetic calorimeter, CERN-LHCC-2008-014
- ALICE Computing Model, The ALICE Collaboration, CERN-LHCC-2004-038/G-086



Fig. 1: Assemblage, test et calibration des premiers supermodules réalisée au sein du hall ARIANE du LPSC.

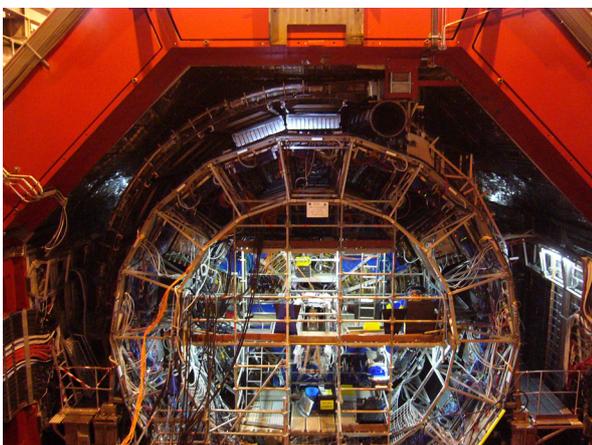


Fig. 2: Insertion des deux premiers supermodules réalisé en mars 2009 au sein du détecteur ALICE.