

COMITÉ NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
CONSEIL SCIENTIFIQUE D'INSTITUT

Compte rendu

Conseil scientifique de l'IN2P3
26-27 octobre 2017

(approuvé avec 21 voix exprimées : 18 pour, 3 abstention, 0 contre)

Sommaire

Sommaire	2
Membres du Conseil scientifique.....	3
Personnes présentes à la session fermée.....	3
Ordre du jour de la séance ouverte (jeudi 26 octobre)	3
Remerciements aux orateurs et rapporteurs externes.....	3
Questions posées par l'IN2P3	3
1. Examen de projets sur le thème Physique nucléaire sur les installations de type ISOL : les propriétés fondamentales du noyau	4
1.1. Introduction	4
1.2. Avis général	12
Questions posées par l'IN2P3	13
1.3. Grands enjeux, observables & outils de mesures dans les expériences ISOL et feuille de route en structure nucléaire	16
Avis et recommandations	17
1.4. Structure nucléaire : Propriétés statiques du noyau & Structure nucléaire dans les régions des nombres magiques de spin-orbite 28, 50 et 82	19
Avis et recommandations	19
1.5. Impact de la structure nucléaire sur d'autres thématiques de l'IN2P3.....	21
Avis et recommandations	22
1.6. Etude de l'interaction faible	23
Avis et recommandations	25
2. Vie du conseil.....	26
2.1. Comptes rendus	26
2.2. Fonctionnement du conseil	26
2.3. Échange avec la section 01	26
2.4. Recommandation sur le service de pré-print.....	26
2.5. Futurs conseils.....	27

Membres du Conseil scientifique

Présents : J.C. Angélique, M. Baylac, B. Blank, Y. Blumenfeld, E. Clément, W. da Silva, D. Duchesneau, B. Farizon, M. Jacobé de Naurois, F. Kapusta, P. Manigot, C. Renault, M. Ridel, P. Van Duppen, D. Vincent, K. Werner

Excusés : D. Boutigny, D. Douillet, P. Gay, T. Hebbeker, C. Landesman, A. Masiero, A. Monfardini, M.-H. Schune

Invité : R. Granier de Cassagnac

Personnes présentes à la session fermée

Direction de l'institut : U. Bassler, F. Farget

Orateurs et associés : P. Delahaye, M. Fallot, S. Grévy, E. Liénard, D. Lunney, H. Savajols, D. Verney

Rapporteurs externes : D. Cortina (Univ. Santiago de Compostela, Espagne), T. Duguet (CEA Saclay, France), G. Savard (Argonne National Laboratory, USA), A. Villari (Michigan State University, USA)

Ordre du jour de la séance ouverte (jeudi 26 octobre)

- **Introduction du conseil** : *Bertram Blank (CENBG Bordeaux)*
- **Les grands enjeux en structure nucléaire** : *Stéphane Grévy (CENBG Bordeaux)*
- **Observables et outils de mesures dans les expériences ISOL** : *Pierre Delahaye (GANIL Caen)*
- **Structure nucléaire : Propriétés statiques du noyau** : *David Lunney (CSNSM Orsay)*
- **Structure nucléaire dans les régions des nombres magiques de spin-orbite 28, 50 et 82** : *David Verney (IPN Orsay)*
- **Impact de la structure nucléaire sur d'autres thématiques de l'IN2P3** : *Muriel Fallot (Subatech Nantes)*
- **Etude de l'interaction faible** : *Etienne Liénard (LPC Caen)*
- **Feuille de route de la physique ISOL en France et en Europe** : *Hervé Savajols (GANIL Caen)*

Ordre du jour, documents préparatoires et présentations publiques disponibles sur le site de l'IN2P3 : <http://www.in2p3.fr/actions/conseilsscientifiques/conseils.htm>

Remerciements aux orateurs et rapporteurs externes

Le conseil remercie les orateurs pour la qualité et la clarté de leur rapport écrit et de leur exposé concernant les différents projets présentés lors de ce conseil. Le conseil remercie également les rapporteurs pour leur travail et la pertinence de leur contribution sur les projets étudiés par le conseil.

Questions posées par l'IN2P3

- *Quelle est la cohérence des activités au niveau national. Peut-on l'améliorer ?*
- *Quelles priorités scientifiques sont à soutenir ?*
- *Quelle installation pour quelle physique dans un futur proche, lointain ? Séquençage des actions ? ALTO/S³-LEB/DESIR ?*
- *Quelles sont les caractéristiques des installations françaises et étrangères ? De leurs faisceaux ? Plus d'exotisme, ou de meilleurs instruments ?*
- *Comment se comparent les projets de l'IN2P3 avec les projets étrangers ?*
- *Comment se comparent les mesures ISOL avec les mesures en vol ? Quel avantage pour l'un ou l'autre ?*
- *Comment l'expérience répond aux questions théoriques ? Et vice-versa ?*

1. Examen de projets sur le thème Physique nucléaire sur les installations de type ISOL : les propriétés fondamentales du noyau

1.1. Introduction

Actuellement, environ 3400 noyaux sont connus alors que 7000 à 8000 nucléides sont prédits par les modèles de physique nucléaire. Il reste donc beaucoup à comprendre et à faire, que ce soit du point de vue théorique ou du point de vue expérimental. Ce conseil examine un pan particulier de la physique nucléaire et ne prétend pas dresser un panorama global et complet de ce vaste domaine. Le choix s'est porté sur les expériences liées à la technique ISOL (Isotope Separation On Line), c'est-à-dire à base de faisceau non-accélééré, qui permettent d'aborder la physique nucléaire de basse énergie du point de vue expérimental. Les faisceaux peuvent ensuite être accélérés mais la physique associée est en-dehors de l'objet de ce conseil.

Cette thématique s'intéresse à l'étude systématique des propriétés de l'état fondamental et des états isomériques de durée de vie suffisamment longue des noyaux atomiques loin de la stabilité par la mesure de la masse, des moments électromagnétiques et par l'assignation des spin/parité. Ces grandeurs sont des observables pertinentes et sensibles pour l'identification, la caractérisation et la compréhension de l'évolution de la structure du noyau en fonction de l'isospin. Il s'agit de mesures de grande précision qui apportent des contraintes très fortes dans la comparaison avec les modèles théoriques les plus avancés en physique nucléaire.

La masse du noyau est directement liée à son énergie de liaison, et par conséquent aux degrés de liberté des nucléons au sein du noyau gouvernés par les interactions forte et électromagnétique. Un sujet important est l'étude des fermetures de couches de type «spin-orbite» avec un accent particulier sur les nombres magiques $Z = 28$, $Z=50$, $N = 50$ et $N = 82$.

Au-delà de la compréhension de l'interaction forte au sein de la matière nucléaire, les données de physique nucléaire sont des ingrédients dans la modélisation des collisions nucléaires jusqu'aux processus astrophysiques liés à la synthèse des éléments dans l'univers. Ainsi, les champs d'activité de la physique nucléaire couverts par l'IN2P3 en lien avec d'autres thématiques concernent essentiellement l'astrophysique et la nucléosynthèse, la physique des réacteurs ainsi que la physique des neutrinos. Les propriétés liées à la structure nucléaire ou aux caractéristiques de décroissance des noyaux radioactifs sont cruciales dans le déroulement de nombreux processus de nucléosynthèse tels que les sursauts gamma, l'effondrement de cœur de supernovae, les processus r et rp ; leurs études permettent de fournir des tests importants des modèles théoriques associés.

L'obtention de ces données nucléaires nécessite le recours à des techniques spécifiques, dont la méthode ISOL apparue en 1951 au Danemark. Elle a ensuite été développée au CERN avec l'installation ISOLDE qui a démarré il y a exactement 50 ans. La technique a continuellement progressé grâce à une R&D très dynamique sur les cibles et sources d'ions et aujourd'hui la quasi-totalité des éléments non réfractaires est disponible à ISOLDE. La panoplie de faisceaux disponibles à SPIRAL1 au GANIL a été jusqu'à présent très réduite, mais sera nettement étendue avec l'amélioration actuellement en cours de cette installation. Les premiers faisceaux ISOL post-accéléérés ont été fournis à Louvain-la-Neuve (installation désormais fermée) puis à SPIRAL1 et REX-ISOLDE en Europe. Aujourd'hui, avec

l'amélioration de cette dernière installation, HIE-ISOLDE, tous les faisceaux ISOLDE sont disponibles jusqu'à 7.5A MeV et l'an prochain jusqu'à 10A MeV. À Orsay, l'installation ALTO a été la première à utiliser la photofission comme mécanisme de production, qui procure des avantages notamment en termes de pureté des faisceaux délivrés aux expériences. Les principales installations hors Europe sont TRIUMF au Canada et CARIBU à Argonne aux USA.

En France, environ 50 chercheurs et enseignants-chercheurs permanents émergent dans ce domaine. En termes d'implication, on compte une cinquantaine d'ETP (équivalent temps-plein), doctorants et post-doctorants inclus, répartis dans 8 laboratoires de l'IN2P3 : le CENBG (Bordeaux), le CSNSM (Orsay), le GANIL (Caen), l'IPHC (Strasbourg), l'IPNO (Orsay), le LPC (Caen), le LPSC (Grenoble) et Subatech (Nantes).

Le programme scientifique dans lequel la communauté française a un rôle moteur se décline essentiellement dans trois régions de masse :

- noyaux riches en neutrons de masse intermédiaire (incluant les produits de fission),
- noyaux légers riches ou déficients en neutrons,
- noyaux déficients en neutrons de masses intermédiaires et noyaux lourds et super-lourds.

Ces trois domaines reposent sur trois modes de production de type ISOL, et donc , en France, actuellement trois sites distincts, avec respectivement :

- la photofission à ALTO,
- la fragmentation des faisceaux d'ions lourds des cyclotrons du GANIL à SPIRAL1,
- la fusion-évaporation utilisant les faisceaux de SPIRAL2/LINAG à S³-LEB (Low energy branch).

L'objectif de la construction de DESIR au GANIL est précisément, idéalement, de pouvoir traiter ces trois volets de physique dans un lieu unique alimenté par les trois types de faisceau, la production de fragments de fission nécessitant la réalisation de la phase 2 de SPIRAL2.

Le conseil examine les expériences et recherches associées à ces thèmes.

Les grands enjeux en structure nucléaire

Au cours des quatre dernières décennies de développement constant des faisceaux radioactifs, deux grandes familles de machines se sont formées, qui se distinguent par le mode de production des espèces exotiques. La méthode "en vol" se caractérise par sa rapidité de mise en œuvre, qui permet la production des noyaux les plus exotiques - donc avec un temps de vie très court, au prix d'une intensité limitée des faisceaux. De façon complémentaire, la méthode ISOL donne la possibilité de produire des faisceaux intenses qui peuvent être étudiés en détail, mais pour des noyaux ayant un temps de vie plus long, donc une exotïcité plus limitée.

Selon la précision de la mesure, on accède à différentes questions de physique. La méthode ISOL peut contribuer à l'étude de ces cinq grandes questions :

- Comment évolue l'interaction nucléaire en fonction de l'isospin ?

- Comment peut-on expliquer les phénomènes collectifs à partir des mouvements individuels ?
- Quelle est l'origine des éléments dans l'univers ?
- Quelle est notre sensibilité à la physique au-delà du modèle standard ?
- Quel est l'impact de la physique nucléaire sur les autres disciplines ?

De nombreux développements expérimentaux sont en cours avec près d'une dizaine de laboratoires impliqués, de multiples collaborations et un fort soutien des agences de moyens. Les équipes françaises ont une production scientifique de haut niveau.

Suite à l'annonce de ce conseil, il y a eu la création d'une structure ISOL France en mars 2017 par la communauté française en physique nucléaire de basse énergie. La feuille de route proposée est le fruit de cette concertation. Les sujets d'étude sont nombreux et correspondent aux questions listées précédemment.

Les expérimentateurs bénéficient d'un fort soutien en physique théorique au sein de l'IN2P3 et du CEA et les interactions sont très importantes. La communauté française est aujourd'hui large et dynamique, notamment motivée par l'arrivée de l'instrumentation de pointe au GANIL dans un avenir assez proche. En attendant, les physiciennes et physiciens sont impliqués dans des projets utilisant les moyens européens et canadiens ainsi que l'instrument ALTO à l'IPNO. L'instrumentation de pointe s'est développée, arrive aujourd'hui à maturité et la communauté commence à s'organiser pour la prise et l'exploitation des données.

Observables et outils de mesures dans les expériences ISOL

En ce qui concerne la production des faisceaux, il y a aujourd'hui en fonctionnement en France deux installations de type ISOL : SPIRAL1 au GANIL et ALTO à l'IPNO. SPIRAL1 utilise les faisceaux d'ions lourds du GANIL sur une cible de carbone. La production a jusqu'ici été limitée aux éléments gazeux (He, O, Ne, Ar, Kr) mais, à partir de 2018, l'utilisation d'une source FEBIAD permettra de produire de nouveaux faisceaux (Na, Mg, Al, P, K) et la panoplie pourra s'accroître à l'avenir. ALTO quant à lui utilise un faisceau d'électrons de 50 MeV sur une cible de carbure d'uranium pour produire des fragments de fission. L'intensité est volontairement limitée afin d'éviter le statut d'INB (installation nucléaire de base). Néanmoins, grâce à la meilleure pureté des faisceaux, ALTO est dans certains cas compétitif avec ISOLDE, instrument basé au CERN, et dans le futur avec SPES en Italie.

La mise en service de l'accélérateur LINAG, un LINAC installé au GANIL, est prévue pour 2018. Il accélérera des particules légères et des ions lourds à quelques MeV par nucléon avec des intensités inégalées dans le monde. Une nouvelle source d'ions et une cavité accélératrice de type RFQ (quadripôle radio-fréquence) permettant l'accélération d'ions avec un rapport $A/Q=7$ d'ici 5 ans pour pouvoir maintenir ces hautes intensités jusqu'à l'uranium est en discussion. En ce qui concerne les sujets de physique examinés lors de ce conseil, LINAG alimentera S³-LEB pour la production des noyaux N-Z et des noyaux lourds et super-lourds produits par réaction de fusion-évaporation. S³, financé par un EquipEx, est un spectromètre novateur et performant mais complexe à mettre au point dont les premières expériences devraient avoir lieu vers 2020. LINAG est aussi conçu et dimensionné pour délivrer des faisceaux très intenses de deutons pour l'installation NFS (Neutrons for science) et pour le bâtiment de production de l'hypothétique phase 2 de SPIRAL2.

La force des expériences ISOL réside dans la mesure - indépendante des modèles nucléaires - des propriétés des états fondamentaux des noyaux : masse, rayon de charge, spin, moments électrique et magnétique notamment. De plus, l'étude précise de la décroissance bêta permet de tester le Modèle Standard de la physique des particules par des expériences de précision complémentaires aux expériences auprès des collisionneurs.

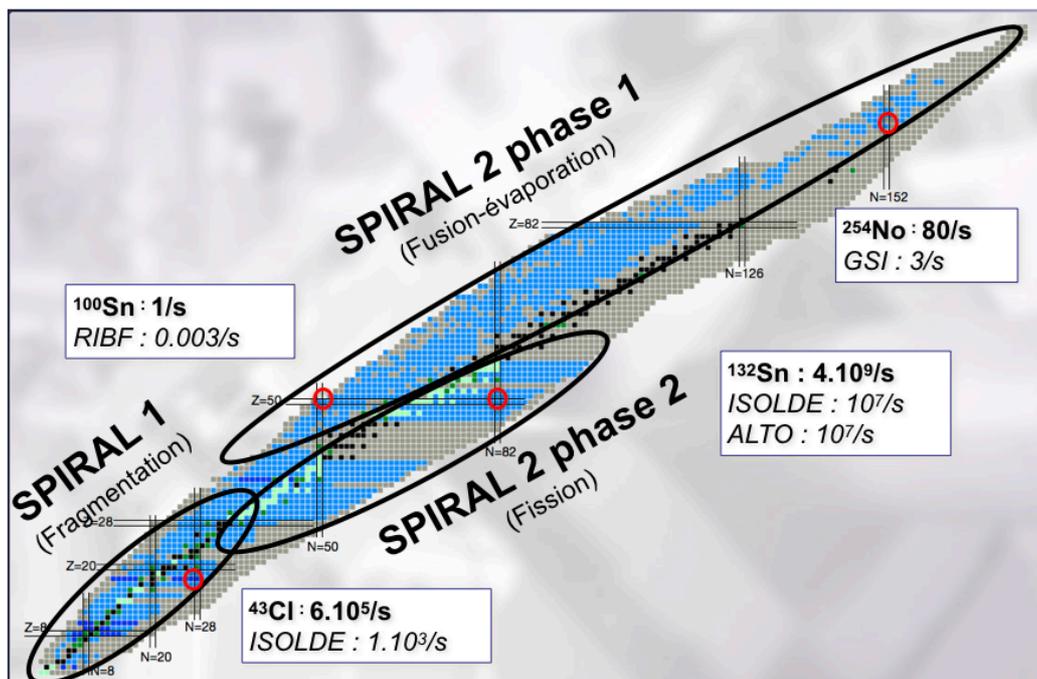
Les mesures précises de masse se font de nos jours essentiellement avec des pièges de Penning dont l'archétype est ISOLTRAP à ISOLDE. Une nouvelle technique développée récemment à ISOLDE est le MR-TOF qui donne des mesures un peu moins précises mais nécessite un nombre d'ions plus réduit. Les deux systèmes peuvent également servir de purificateur de faisceaux. Les mesures de rayon, spin et moment se font à l'aide de spectroscopie laser dont il existe plusieurs types : détection par fluorescence ou détection d'ions et spectroscopie directement dans la source d'ions. Les expériences ISOL permettent également de mesurer des temps de vie des états fondamentaux et des états excités, essentiellement à travers la décroissance bêta des noyaux produits. Ces mesures se font à l'aide d'une station de décroissance souvent équipée d'un dérouleur de bande, de détecteurs bêta (plastiques ou silicium), gamma (germanium) et éventuellement neutron, dont un excellent exemple est BEDO installée à ALTO. Grâce à un financement LabEx et région, trois nouveaux équipements sont en cours d'installation à Orsay : MLLTrap qui est un piège de Penning pour les mesures de masse, LINO pour la spectroscopie colinéaire LASER et POLAREX pour l'orientation nucléaire à très basse température. MLLTrap et LINO ont vocation à rejoindre le hall DESIR au GANIL lorsque ce dernier sera finalisé. Une extension du bâtiment actuel d'ALTO, appelée PALTO, est en discussion.

Jusqu'ici, SPIRAL1 a surtout été dédié à la production de faisceaux post-accélérés par le cyclotron CIME. Seule la salle LIRAT, dédiée aux interactions fondamentales, est dévolue à la physique de basse énergie. Dans l'avenir, ces faisceaux essentiellement légers ($A < 90$) auront vocation à être étudiés par les instruments de la salle DESIR.

L'ensemble S³-LEB est une installation du GANIL partiellement financée par le contrat ANR REGLIS3. L'installation est prévue en 2019. S³-LEB comprendra une cellule gazeuse pour arrêter et neutraliser les ions issus de S³ et permettra leur sélection en A et Z et leur spectroscopie laser. Une cavité RFQ permettra ensuite de regrouper ces ions pour les purifier dans un MR-TOF et pour mesurer leur masse. Par la suite, ces ions pourront être transportés dans le hall DESIR. De nombreux instruments de pointe seront disponibles dans ce hall pour les mesures de masse, la spectroscopie laser ou les études de décroissance bêta. Plusieurs de ces instruments existent déjà (LPCTrap, MLLTrap, LINO, Monster...). La disposition sera modulable pour pouvoir accueillir des dispositifs non encore identifiés à ce jour. Pour diverses raisons, la construction du hall a été régulièrement retardée et la mise en service est aujourd'hui prévue pour 2023.

Enfin, le projet SPIRAL2-phase 2 devrait permettre de produire des faisceaux radioactifs très intenses de produits de fission en utilisant les faisceaux de deutons de LINAG. Ce projet est unique au monde.

Le schéma ci-dessous synthétise les diverses capacités instrumentales dans le plan protons/neutrons.



Disposition des noyaux connus dans le plan (N, Z), position des nombres magiques et zones accessibles par les divers dispositifs expérimentaux de SPIRAL1 et 2 au GANIL. Dans les encadrés, capacité de production par ces installations (en gras) et pour comparaison capacités de production par d'autres installations. Extrait de la présentation de H. Savajols.

Feuille de route

La feuille de route présentée au conseil comprend trois scénarios. Le scénario 1 est basé sur la pleine utilisation de SPIRAL2 au GANIL pour un budget supplémentaire estimé à 100 M€. Le scénario 2 permet de réaliser une partie des objectifs scientifiques pour un budget moindre, estimé autour de 20 M€, en produisant des fragments de fission avec des intensités moindres. Le scénario 3 correspond au cas où des retards importants et/ou le manque de financement imposeraient le repli sur les dispositifs existants simplement optimisés. Il peut également être une étape vers le scénario 1 ou 2 avec un coût minime, estimé à 1 M€. Naturellement les capacités expérimentales et l'intérêt scientifique décroissent du scénario 1 au scénario 3.

Structure nucléaire : Propriétés statiques du noyau

La limite d'existence des noyaux liés - au-delà le noyau atomique se désexcite par émission d'un proton ou d'un neutron, et les évolutions microscopiques comme l'apparition ou la réduction des *gaps* associés aux nombres magiques ou l'apparition soudaine de grandes déformations parfois associée à de la coexistence de formes ont été découvertes, entre autres, par des mesures de masse combinées à des mesures de moment quadripolaire et par la détermination des spins/parités par spectroscopie laser.

A l'IN2P3, 5 laboratoires travaillent sur cette thématique pour l'équivalent de 21 ETP. L'IPNO et le CSNSM ont contribué à la naissance de cette discipline auprès des expériences COMPLIS et MISTRAL à ISOLDE au CERN.

Aujourd'hui l'activité expérimentale est réalisée à ISOLDE auprès d'ISOLTRAP, COLLAPS et CRIS et, ponctuellement, à TRIUMF au Canada et à JYFL qui est associé à l'université de

Jyväskylä en Finlande. La communauté française a plusieurs projets d'envergure auprès de l'installation ALTO et des futures installations ISOL de GANIL avec SPIRAL1 amélioré, S³-LEB et DESIR.

Ainsi, à court terme et en parallèle d'un travail dynamique mené par les équipes françaises s'appuyant sur des installations à l'étranger, les nouvelles activités vont se concentrer sur l'installation ALTO avec ses trois expériences en cours de préparation. A moyen terme, l'installation S³-LEB utilisant les systèmes REGLIS et GISELE, combiné avec PILGRIM, sera mise en ligne et mesurera des masses et d'autres propriétés de l'état fondamental ou des isomères. PILGRIM a été construit et mis en fonctionnement au LPC-Caen. Le banc de spectroscopie laser, appelé GISELE et installé au GANIL, n'a pas encore été utilisé sous faisceau sur le site mais a déjà été utilisé à Louvain-La-Neuve en Belgique. Enfin à long terme, l'installation DESIR est le projet mondial le plus ambitieux pour cette thématique. MLLTrap et LINO seront développés à ALTO et ont vocation à être déplacés à DESIR. Auprès d'ALTO, le programme de physique se concentrera sur les noyaux riches en neutrons produits par photofission alors que le programme de S³-LEB et DESIR se focalisera sur les noyaux N-Z et les noyaux lourds.

Structure nucléaire dans les régions de nombres magiques de spin-orbite 28, 50 et 82

Les enjeux concernent les noyaux riches en neutrons de masse intermédiaire, plus spécifiquement ceux produits par fission des actinides en cours d'exploitation à ALTO et qui restent l'objectif à long terme du projet SPIRAL2-phase 2. En y ajoutant la région couverte par le projet SPIRAL2-phase 1 et S³-LEB autour de l'étain ¹⁰⁰Sn, un vaste programme de recherche est présenté pour comprendre, dans des conditions extrêmes d'isospin, les propriétés du noyau structurées par la présence (et la disparition éventuelle) des nombres magiques de spin-orbite protons 28 et 50 et neutrons 50 et 82. L'origine, du point de vue microscopique, des nombres magiques de type spin-orbite et de leur évolution loin de la stabilité reste par ailleurs amplement débattue.

C'est le point de rencontre entre l'instrumentation, la palette de faisceaux ISOL disponible et la solidité et l'originalité de l'expertise locale qui rend une installation compétitive. Du point de vue des faisceaux, au sein de la famille européenne des machines de production ISOL comprenant ISOLDE au CERN, IGISOL à Jyväskylä et bientôt SPES à Legnaro, les installations françaises ALTO à Orsay et S³-LEB au GANIL possèdent plusieurs atouts et spécificités uniques, liés aux modes de production utilisés.

Ainsi, ALTO est la première machine au monde à exploiter le mécanisme de production par photofission sur une cible de carbure d'uranium. Il présente l'avantage stratégique, par rapport au mécanisme de spallation/fission mis en œuvre à TRIUMF, à ISOLDE avant la mise en service d'un convertisseur et prévu à SPES avec un faisceau de protons, d'être un mécanisme beaucoup plus sélectivement centré sur les noyaux riches en neutrons d'intérêt. Un autre avantage de la photofission est que, par rapport au mécanisme de fission induite par protons rapides, le nombre moyen de neutrons évaporés dans la fission est plus faible, et donc les espèces produites sont en principe plus exotiques. Enfin, la puissance thermique associée est de seulement 500 W, ce qui permet à ALTO d'échapper aux contraintes liées à une classification en INB, aspect non négligeable pour les aspects de sûreté nucléaire et de facilités d'utilisation.

Le démarrage de la phase 1 de SPIRAL2 permettra d'étendre les mesures initiées à ALTO à la région des noyaux déficitaires en neutrons avec N=Z=50 (région de ¹⁰⁰Sn) et les noyaux lourds au-delà de ²³⁸U avec S³-LEB. La formation de faisceaux ISOL permettant de couvrir

cette région repose sur le dispositif REGLIS3. Il s'agit d'une technologie totalement novatrice, issue d'un travail de R&D effectué dans le cadre d'une collaboration IPNO/LPC-Caen/GANIL/IKS-Leuven. Dans une première phase, ces faisceaux seront exploités dans la salle expérimentale S³ (projet S³-LEB).

Par ailleurs, les équipes de l'IN2P3 vont poursuivre leur participation aux expériences à l'étranger telle qu'ISOLDE au CERN.

Impact de la structure nucléaire sur d'autres thématiques de l'IN2P3

La disponibilité de nouveaux noyaux déficients en neutron de masses intermédiaires avec SPIRAL1 et la mise en service de S³ va ouvrir de nouvelles perspectives dans le domaine de l'astrophysique nucléaire. Pour les expériences de mesures de masse ou de spectroscopie laser, la région des noyaux N-Z allant du ⁸⁰Zr jusqu'au noyau doublement magique ¹⁰⁰Sn va être accessible avec S³-LEB et DESIR. Dans la région de masses A-80, les noyaux avec N-Z sont susceptibles de fournir des données pour la modélisation du processus astrophysique rp.

Avec le démarrage de SPIRAL2-Phase 1 le programme scientifique autour des noyaux lourds et super-lourds s'articulera autour de S³ et la structure de différents isotopes d'actinium pourra être étudiée grâce à des lasers. Les laboratoires impliqués dans les études d'astrophysique nucléaire par la méthode ISOL sont le GANIL, le CENBG, l'IPNO, SUBATECH, le CSNSM et le LPSC.

L'étude de la structure nucléaire est également en lien avec la physique des réacteurs et des neutrinos. Les propriétés de décroissance des produits de fission dans un réacteur et du spectre en énergie des anti-neutrinos produits sont importantes pour plusieurs aspects, notamment pour la connaissance de la puissance résiduelle du réacteur, pour la sûreté nucléaire et pour l'étude des propriétés fondamentales des neutrinos.

D'une part, la connaissance des produits de fission émetteurs de neutrons retardés est fondamentale, étant donné que la fraction de neutrons retardés d'un réacteur influe sur son pilotage et que les prédictions pour les réacteurs innovants reposent notamment sur les propriétés de désintégration bêta des produits de fission. D'autre part, les propriétés de désintégration bêta des noyaux riches en neutrons, en particulier des produits de fission, jouent un rôle majeur dans l'estimation d'observables importantes pour la sûreté des réacteurs nucléaires par l'analyse de l'évolution des combustibles utilisés.

Concernant la physique des neutrinos, l'anomalie observée depuis quelques années entre le spectre en énergie des anti-neutrinos et les flux mesurés par les expériences de neutrino à moins de 100 m d'un cœur de réacteur pose une question importante à la fois sur la théorie des réacteurs, la physique nucléaire et la physique de particules. Cette anomalie a engendré une activité à la fois théorique et expérimentale pour vérifier ou infirmer l'existence de neutrinos dits stériles qui serait une explication à ces anomalies.

La thématique essentiellement étudiée par le laboratoire Subatech consiste à améliorer l'état des connaissances sur les propriétés de désintégration bêta des produits de fission afin d'obtenir des prédictions fiables des spectres des anti-neutrinos, la puissance résiduelle des réacteurs et des émissions de neutrons retardés. L'équipe a utilisé un instrument employant la technique de mesure par absorption totale de rayons gamma (TAGS) qui permet d'obtenir une représentation fidèle de l'émission bêta du noyau étudié. Des mesures ont été réalisées à Jyväskylä et une proposition a été faite sur l'installation ALTO. Les mesures nécessaires reposent principalement sur cette technique TAGS et sont

complétées par la mesure des spectres en énergie des électrons. En 2014, le groupe a utilisé le nouveau détecteur TAGS mis au point par l'IFIC Valencia pour DESPEC sur l'installation IGISOL4. Cette expérience a permis de mesurer pas moins de 23 noyaux, dont l'analyse est répartie entre l'IFIC et le laboratoire Subatech. L'objectif en 2018 est de publier le bilan de ces campagnes expérimentales, en calculant l'impact cumulé de toutes les mesures sur les observables d'intérêt (anti-neutrinos et puissance résiduelle) et en fournissant de nouvelles prédictions accompagnées d'incertitudes.

Etude de l'interaction faible

La physique nucléaire, et en particulier les mesures de précision en décroissance bêta, ont joué un rôle essentiel dans l'établissement des lois de la physique au niveau le plus fondamental et dans la construction du Modèle Standard des particules élémentaires. On peut citer comme exemples la découverte de la violation de la parité et la détermination de la nature vecteur axial-vecteur de l'interaction faible. Les mesures en décroissance bêta permettent de tester la nature de l'interaction faible et de ses symétries. Elles visent également à déterminer des quantités fondamentales telles que la constante de couplage vectorielle effective dans les processus semi-leptoniques. Ces approches font intervenir des mesures de haute précision à basse énergie et peuvent être complémentaires aux recherches effectuées auprès des collisionneurs.

Ces expériences requièrent la disponibilité d'une large gamme de noyaux, avec des faisceaux radioactifs intenses et purs, pour assurer une précision statistique élevée et pour s'affranchir d'effets systématiques indésirables. Elles sont donc, dans la grande majorité des cas, basées sur l'utilisation des plateformes de type ISOL telles que SPIRAL1, ISOLDE, Jyväskylä et TRIUMF, et pourront bénéficier à l'avenir des futures installations telles que SPIRAL2 et FAIR.

Trois laboratoires de l'IN2P3 sont impliqués dans cette thématique, à savoir le CENBG, le LPC Caen, et le GANIL. Les projets et expériences menés par ces équipes visent à répondre aux principales questions :

- Existe-t-il des courants exotiques de l'interaction faible, de type scalaire et tenseur, ou faisant intervenir des interactions d'hélicité non-standard ?
- Quelle est la valeur précise de l'élément V_{ud} de la matrice de mélange de quarks Cabibbo-Kobayashi-Maskawa, l'hypothèse CVC (conserved vector current) peut-elle être validée et la matrice CKM est-elle unitaire?
- Y a-t-il violation de la symétrie par renversement du temps dans les processus de décroissance bêta ?

Ce travail s'articule, d'une part, autour de projets nécessitant un développement expérimental sur des échelles de 5 à 10 ans, tels que les projets LPCTrap2 (SPIRAL1 puis DESIR), MORA (Jyväskylä puis DESIR) et WISArD (ISOLDE), qui sont dédiés à la mesure de corrélations angulaires.

L'expérience LPCTrap, installée sur la ligne LIRAT du GANIL depuis 2005, a été conçue pour effectuer la mesure précise du paramètre de corrélation angulaire bêta-neutrino en décroissance bêta. Elle est basée sur le piégeage et le confinement des ions radioactifs dans un piège de Paul permettant la détection en coïncidence des particules bêta et des ions de recul. La valeur du paramètre est alors déduite de la forme du spectre en temps de vol des ions de recul qui reflète la distribution en énergie de ces derniers. L'erreur

statistique relative sur le paramètre de corrélation est de 0,3% pour l'hélium ${}^6\text{He}^+$ et de 0,15% pour l'argon ${}^{35}\text{Ar}^+$. Une détermination non-biaisée requiert une simulation très précise de l'ensemble des conditions expérimentales, et notamment des caractéristiques du nuage d'ions piégés. Ce travail d'analyse des effets systématiques est toujours en cours et il semble qu'obtenir une précision relative meilleure que 0,5% s'avèrera extrêmement difficile alors que les contraintes futures sur les couplages exotiques imposées par le LHC requièrent un niveau de précision de l'ordre de 0.1%.

En raison des limites de précision atteignables avec ce dispositif, le groupe a décidé de se tourner vers des mesures de désintégration bêta miroir dans le cadre d'une détermination de la constante de couplage vectoriel g_V , de la conservation du courant vectoriel, de la détermination de l'élément V_{ud} et de l'unitarité de la matrice CKM.

Ce nouveau programme s'appuie sur une amélioration du dispositif expérimental, LPCTrap2, qui permettra d'augmenter la sensibilité statistique du dispositif. L'objectif final est une mesure avec une précision meilleure que 0,5% du coefficient de corrélation angulaire a_{β_V} dans la décroissance des noyaux ${}^{37}\text{K}$, ${}^{35}\text{Ar}$, ${}^{33}\text{Cl}$, ${}^{23}\text{Mg}$ et ${}^{21}\text{Na}$. En parallèle de ce projet LPCTrap, l'équipe du LPC est impliquée dans deux projets similaires visant la mesure du paramètre de corrélation dans la décroissance d'atomes ${}^6\text{He}$ au CENPA (Université de Washington) et le paramètre A_β dans la décroissance de l'argon ${}^{35}\text{Ar}$ à ISOLDE (projet mené par l'IKS-Leuven).

Le projet MORA a pour but de développer et tester un dispositif expérimental innovant permettant de rechercher une violation de type renversement du temps (TRV) par la mesure du paramètre de corrélation D dans la désintégration bêta d'ions ${}^{23}\text{Mg}$ polarisés. Ce projet, entièrement financé par la Région Normandie, démarrera en 2018. Le dispositif consiste en un piège de Paul inspiré de l'actuel LPCTrap, en opération auprès du GANIL, auquel est couplé un système laser permettant l'orientation des spins des noyaux suivant l'axe du piège. En parallèle, un système de détection inspiré du dispositif de la collaboration emiT sera développé. A l'issue de cette étape, le GANIL et le LPC Caen disposeront d'un dispositif expérimental unique en son genre, présentant des performances et sensibilités inégalées pour la recherche de TRV, et plus généralement de nouvelle physique au-delà du Modèle Standard. Des simulations montrent un gain d'un facteur de l'ordre 10 sur les contraintes issues de la mesure des paramètres de corrélation.

Le projet WISArD (Weak Interaction Studies with ${}^{32}\text{Ar}$ Decay) enfin a pour premier objectif une amélioration des contraintes sur l'existence de couplages scalaires de l'interaction faible via la mesure très précise du paramètre de corrélation dans la décroissance de l'argon ${}^{32}\text{Ar}$. L'expérience WISArD va mesurer les coïncidences positron-proton et ainsi procéder à une mesure différentielle. En raison du recul du noyau fils suite à l'émission du positron et du neutrino, le proton est émis par une source en mouvement et est soumis à un effet Doppler. WISArD propose de remplacer la mesure de l'élargissement Doppler par une mesure du décalage Doppler. L'expérience est actuellement en cours d'installation à ISOLDE.

1.2. Avis général

Le conseil souligne le haut niveau scientifique des activités développées par la communauté française dans le domaine de la physique nucléaire de type ISOL basse énergie. Les équipes françaises ont un rôle très visible et sont porte-paroles de

nombreuses campagnes de mesures, de développements instrumentaux ou de développements techniques uniques et novateurs.

Le conseil répond de façon globale aux questions posées par l'IN2P3 puis détaille son avis et présente ses recommandations liées aux divers thèmes dans la suite du document.

Questions posées par l'IN2P3

- ***Comment l'expérience répond aux questions théoriques ? Et vice-versa ?***

Les aspects expérimentaux et théoriques sont intimement liés. De nouvelles voies s'ouvrent en ce qui concerne les développements théoriques : calculs du modèle en couches à grande échelle, méthode Monte-Carlo appliquée au modèle en couches, degré de liberté dans la déformation hors-axe au-delà du champ moyen pour les noyaux de nombre de masse impair, dynamique de la fission, calculs *ab initio* avec les forces déduites de QCD ; elles devraient offrir un éclairage nouveau. A titre d'exemple, les mesures de masses et de rayons de charge ont permis de mettre en lumière la contribution de l'interaction à trois corps dans les chaînes isotopiques dans la région du calcium à travers les calculs *ab initio*. De même, la mesure de la transition $0^+ \rightarrow 0^+$ dans le ^{80}Ge est importante dans la construction de l'interaction nucléon-nucléon au voisinage du ^{78}Ni dans le cadre du modèle en couches, qui en retour permet une description microscopique des évolutions de couches.

Ces progrès expérimentaux et théoriques conduisent à de nouvelles campagnes expérimentales, il y a ainsi une connexion clairement établie à l'échelle globale, les travaux théoriques n'étant naturellement pas tous conduits en France. La force de la France réside actuellement dans le champ du modèle en couches nucléaires et du champ moyen. Ce dernier est particulièrement intéressant pour les noyaux lourds et super-lourds, et donc en cohérence avec les programmes à venir à S³-LEB et DESIR. Les groupes français participent également aux développements les plus récents des calculs *ab initio* qui ont vocation à s'appliquer aux masses intermédiaires qui seront explorées par ALTO (noyaux riches en neutrons) et S³-LEB/DESIR (noyaux riches en protons). Toutes ces activités se placent dans un cadre international.

- ***Comment se comparent les mesures ISOL avec les mesures en vol ? Quel avantage pour l'un ou l'autre ?***

La recherche sur les faisceaux d'ions radioactifs (RIB) constitue un ingrédient essentiel pour répondre aux questions-clés en physique et astrophysique nucléaires, ainsi que pour traiter des questions plus appliquées. La recherche RIB est réalisée de deux manières distinctes : la méthode dite en vol et la méthode de séparation isotopique en ligne (ISOL).

Les deux approches RIB fournissent des informations complémentaires pour répondre aux questions fondamentales car les faisceaux fournis diffèrent en termes de gamme d'énergie, de propriétés du faisceau d'ions (émittance longitudinale et transversale) et d'intensité. De manière générale, on peut affirmer que la méthode en vol pousse la frontière de la découverte en examinant un nombre limité de propriétés fondamentales des nouveaux isotopes, tandis que la méthode ISOL pousse la frontière de la précision en raison de ses propriétés de faisceaux spécifiques pour des noyaux moins exotiques.

Les faisceaux ISOL sont idéaux pour effectuer des mesures de masse et de spectroscopie laser de haute précision (énergies de liaison, intervalles de couches, moments magnétiques et quadripolaires, rayons de charge et spins), des études de décroissance (niveaux

d'énergie, probabilités de transition électromagnétique, émission bêta, émission de particules, distribution de la force bêta, corrélations bêta-neutrino). Ces observables sont obtenues d'une manière indépendante des modèles et sont essentielles pour tester et développer des modèles de structure nucléaire et pour alimenter les prédictions des modèles utilisés dans les domaines de l'astrophysique nucléaire et des interactions fondamentales.

Les faisceaux de type en vol sont idéaux pour effectuer des mesures de temps de vie et de radioactivités exotiques dans des noyaux éloignés des zones de stabilité. Ces mesures sont bien-sûr complémentaires aux mesures de type ISOL.

En dehors du périmètre considéré par ce conseil, les faisceaux ISOL peuvent être accélérés, augmentant les possibilités de recherche à l'excitation Coulombienne, aux réactions de transfert de quelques nucléons, aux réactions profondément inélastiques ainsi qu'aux réactions de fragmentation secondaire.

Il est à noter que ces outils abordent également d'autres observables, mais toujours les mêmes questions-clés, et qu'une condition préalable est la production du faisceau ISOL à basse énergie. En tant que tel, l'investissement réalisé pour produire les faisceaux ISOL (accélérateurs, systèmes de source d'ions et de cibles, manipulation / purification de faisceaux d'ions) est essentiel à la fois pour les programmes de basse et de haute énergie.

- ***Quelles sont les caractéristiques des installations françaises et étrangères ? De leurs faisceaux ? Plus d'exotisme, ou de meilleurs instruments ? Comment se comparent les projets de l'IN2P3 avec les projets étrangers ?***

À l'heure actuelle, trois grandes installations de la prochaine génération utilisant la technique en vol sont actuellement disponibles ou en construction: la Radioactive Ion Beam Factory (RIBF) à RIKEN (Tokyo, Japon), la Factory for Rare Isotope Beam (FRIB) à NSCL-Michigan State University (East Lansing, USA), et la Facility for Anti-protons and Ion Research (FAIR) à GSI/FAIR (Darmstadt, Allemagne). La méthode ISOL est utilisée au GANIL par SPIRAL1 et 2 et à ALTO (France), à ISOLDE (CERN), à JYFL (Finlande), à CARIBU (USA) et à TRIUMF (Canada).

En Europe, une nouvelle installation est en construction à SPES (Italie) et actuellement GANIL SPIRAL2-phase 1 est en cours de développement tandis que la décision de mettre en œuvre la phase 2 (objectif de fission de grande puissance) a été reportée. L'installation RIB à la base d'ISOL à haute puissance ultime EURISOL a été proposée, mais n'est actuellement pas encore en phase de construction. Une collaboration internationale existe pour lancer EURISOL-DF (pour EURISOL Distributed Facilities) avec les installations actuelles GANIL/SPIRAL2, SPES et ISOLDE et avec des partenaires en Finlande (JYFL), Pologne et Belgique.

Les chercheurs et ingénieurs français mènent des campagnes expérimentales comme porte-paroles et ont développé des installations du plus haut niveau. Les instruments en place à l'étranger servent souvent de référence pour l'instrumentation à l'état de l'art développée et construite en France. L'expérience acquise sur les faisceaux d'ions radioactifs a montré que ces instruments doivent continuellement être améliorés par l'implémentation de nouvelles méthodologies et de nouvelles techniques.

En ce qui concerne les noyaux lourds et super-lourds, les Japonais et les Russes se concentrent sur la recherche de nouveaux éléments, les noyaux les plus lourds, alors que la communauté française a fait le choix de mesures plus précises sur des noyaux lourds et

super-lourds. L'instrument S³-LEB n'a pas de concurrent pour les noyaux avec N~Z. Avec SPIRAL2-phase 2, le GANIL aura des possibilités uniques au niveau mondial.

En résumé, les instruments en cours de construction en France sont à l'état de l'art et incluent dans certains cas de nouvelles approches. Une autre caractéristique de ces installations est la qualité des faisceaux disponibles. Par la photofission, ALTO peut offrir des faisceaux compétitifs par rapport à SPES et ISOLDE. S³-LEB est unique dans les régions de masses N=Z et des noyaux lourds. Les projets menés à l'IN2P3 ont donc tout-à-fait leur place dans la compétition mondiale.

- ***Quelle installation pour quelle physique dans un futur proche, lointain ? Séquençage des actions ? ALTO/S³-LEB/DESIR ?***

Le séquençage ALTO/S³-LEB/DESIR ne présente pas de recouvrement. L'instrument S³-LEB offre des possibilités uniques en termes de type de faisceau et d'intensité. Cette installation sera un instrument phare pour la communauté dans la décennie à venir. Le besoin premier est naturellement le faisceau et donc le fonctionnement du LINAG. DESIR et le nouvel injecteur, avec S³-LEB, constitueront un ensemble particulièrement performant en raison de l'intensité et de la pureté du faisceau ainsi que de la région de la charte des noyaux accessibles, parfaitement complémentaire à ce qui se fera à ISOLDE et à TRIUMF.

Dès lors que cette installation produira son premier faisceau, la discussion sur SPIRAL2-phase 2 devra être reprise afin d'évaluer les diverses options à long terme. Considérant le contexte européen EURISOL-DF, le GANIL pourrait permettre à la France de jouer un rôle moteur dans ce projet.

En raison du contexte scientifique international, il y a une opportunité scientifique pour l'instrument ALTO au cours des prochaines années, jusqu'au démarrage de SPES (Italie) et ARIEL (Canada). De plus, cet instrument permettra le maintien d'une partie des activités de la communauté ISOL en France. Néanmoins, si on veut exploiter efficacement ALTO dans les temps, jusqu'au démarrage de DESIR, ARIEL et SPES, il semble indispensable de renforcer les ressources IT d'ALTO. Pour ces personnels dédiés à l'exploitation, la participation, en parallèle, à des activités de R&D est indispensable pour garantir les compétences futures.

Dans la perspective de SPIRAL2-phase 2, le conseil note le besoin de conserver, voire accroître, l'expertise cible/source d'ions en France. Ce rôle pourrait être rempli par ALTO tel qu'originellement prévu.

- ***Quelles priorités scientifiques à soutenir ?***

La recherche française dans le domaine de la physique nucléaire de basse énergie est de très haut niveau. Le conseil souligne la nécessité d'avoir une approche globale à l'intérieur de la technique ISOL, ne privilégiant pas une observable par rapport à d'autres.

Les instruments sont mutualisés pour tous les thèmes de physique associés à ce sujet. Le spectre des possibilités est très large et ces domaines doivent tous être étudiés : structure nucléaire, interactions fondamentales et données pour l'astrophysique, physique des réacteurs et des neutrinos. Les équipes françaises sont bien positionnées sur ces sujets.

La recherche basée sur la technique ISOL est considérée comme une priorité à l'échelle mondiale et la France possède à la fois une large communauté experte dans cette technique ainsi que des instruments. Ce qui manque aujourd'hui est une installation

nationale qui délivre des faisceaux compétitifs. L'amélioration de SPIRAL1 et SPIRAL2-phase 1 (comprenant S³-LEB, DESIR et injecteur avec A/Q=7) permettra à la France d'être au meilleur niveau international sur cet aspect également. Le projet SPIRAL2-phase 2, qui couvrirait la région des isotopes riches en neutrons, représente un projet compétitif à l'échelle internationale pour un programme de physique avec un fort intérêt scientifique.

Le conseil estime que la mise en service complète de SPIRAL2-phase 1 doit avoir la plus haute priorité.

- *Quelle est la cohérence des activités au niveau national. Peut-on l'améliorer ?*

Les activités citées précédemment sont cohérentes pour se doter d'une plateforme compétitive et d'envergure européenne ; elles sont en accord avec les efforts au niveau international. Tous les équipements nécessaires sont prêts ou en préparation. Le programme scientifique proposé par les chercheurs de l'IN2P3 s'inscrit totalement dans la feuille de route européenne proposée par NuPECC.

Le conseil encourage la communauté à poursuivre, voire amplifier, les interactions pour garantir la cohérence et la complémentarité des recherches et garantir une vision optimale sur le long terme. La clarification des perspectives concernant la phase 2 de SPIRAL2 aidera beaucoup la communauté à préparer efficacement l'avenir, du court au long terme.

De plus, la plus grande attention doit être portée à la disponibilité des faisceaux sur les installations françaises au regard des objectifs scientifiques. Les développements sur la partie cible/source entre ALTO et SPIRAL1 et 2 bénéficieraient d'une meilleure coordination et d'une collaboration plus étroite entre les divers acteurs.

Le programme ALTO à court terme, S³-LEB à moyen terme, DESIR à long terme est cohérent pour permettre aux physiciennes et physiciens de réaliser des programmes de grande qualité. La stratégie sur le site du GANIL est cohérente et pertinente.

La France devrait jouer un rôle dans le projet EURISOL-DF et participer aux efforts faits pour définir clairement ce projet unique qui rassemble différentes installations internationales. Ce contexte est idéal pour transformer le GANIL en une installation véritablement internationale.

1.3. Grands enjeux, observables & outils de mesures dans les expériences ISOL et feuille de route en structure nucléaire

En 2017, NuPECC a publié le document www.nupecc.org/lrp2016/Documents/lrp2017.pdf. Ce nouveau plan à long terme est issu d'une consultation de la communauté des chercheurs en Europe (approche ascendante) qui a permis d'examiner le domaine de la physique nucléaire. Cet exercice comprenait une évaluation des objectifs scientifiques du domaine, une mise à jour des questions scientifiques les plus importantes et un aperçu des outils disponibles en ce qui concerne les accélérateurs, les détecteurs et la théorie. Sur la base de ce travail et à la suite d'une discussion sur les différents rapports lors d'une assemblée générale, certaines recommandations ont été formulées. Ce rapport réaffirme l'importance de la science des faisceaux d'ions radioactifs (RIB). Cette priorité a également été soulignée à partir d'un exercice similaire réalisé en 2015 aux États-Unis qui a conduit à la publication du NSAC Long Range Plan 2015 (https://science.energy.gov/~media/nps/nsac/pdf/2015LRP/2015_LRPNS_091815.pdf).

NuPECC donne la plus haute priorité à l'achèvement de la construction de la prochaine génération d'installations RIB basées sur la méthode en vol (FAIR) et la méthode ISOL (SPIRAL2, HIE-ISOLDE et SPES réunis sous l'étiquette EURISOL-DF).

En termes d'observables, il est nécessaire de rappeler qu'on se limite ici aux faisceaux non post-accélérés. Les avancées en structure nucléaire nécessitent néanmoins la complémentarité entre expériences de basse énergie et réactions. La coupure imposée rend le travail du conseil difficile, en particulier pour l'examen des scénarios globaux qui doivent inclure les deux types d'expériences.

Les capacités instrumentales en France sont à l'état de l'art, voire unique au monde. Le conseil met en avant la complémentarité des modes de production très originaux, si tant est que les installations démarrent selon l'échéancier prévu (amélioration de SPIRAL1 en 2018 et S³-LEB en 2020). La disponibilité du temps de faisceau est essentielle pour mettre au point et étalonner l'instrument et ensuite pour faire de la physique. Il est également crucial de maintenir une R&D interactive entre instrumentation et faisceaux.

La communauté française ISOL est une grande communauté de près de 50 chercheurs de plusieurs instituts de recherche et des universités. Elle s'est organisée et a produit un document scientifique stratégique "Physique Nucléaire ISOL Basse Energie". Le but de cette initiative est de coordonner le programme scientifique et la R&D pour l'instrumentation et le développement et la R&D pour la production de faisceaux radioactifs utilisant la méthode ISOL. En régime de croisière, cette initiative pourrait devenir une excellente plateforme pour définir l'avenir de la physique ISOL en France. Cela pourrait, entre autres, conduire à une vision claire et cohérente de cette communauté sur les options futures à long terme.

Cette plateforme, en liaison avec la communauté internationale, sera essentielle lors de l'examen de l'option à long terme qu'est le projet SPIRAL2-phase 2 et la décision devrait être prise dès que possible. La plateforme peut déterminer le rôle des groupes français et plus spécifiquement de SPIRAL2 dans l'initiative EURISOL-DF. Cette initiative en cours de définition pourrait donner à la France l'opportunité de transformer SPIRAL2 en une installation véritablement internationale (incluant la phase 2 de SPIRAL2) et éventuellement conduire à terme le GANIL à être l'hôte de l'installation EURISOL. Une initiative de cet ordre peut amener le GANIL à devenir une installation RIB ISOL qui fonctionne au même niveau que RIBF au RIKEN (Japon), FRIB au NSCL-MSU (USA) et FAIR à Darmstadt (Allemagne).

Avis et recommandations

Le conseil accueille favorablement cette plateforme récemment lancée et considère qu'il est très important de maintenir son élan pour parvenir à une vision cohérente de la communauté française ISOL et de travailler sur son avenir à long terme. Ce pourrait être une stratégie efficace pour susciter un plus grand intérêt de la part des groupes internationaux dans les installations et le programme français.

Plusieurs groupes français sont actifs dans d'autres centres comme ISOLDE, Jyväskylä et TRIUMF et travaillent au sein de collaborations internationales importantes. Ils jouent souvent le rôle de porte-paroles dans les campagnes expérimentales et les doctorants français sont les premiers auteurs d'articles issus de ces campagnes. Vu le manque de faisceaux d'ions radioactifs disponibles en France, c'est un fonctionnement très efficace. Cette stratégie permet de développer de nouvelles idées, de nouvelles instrumentations et

d'effectuer des premières expériences dans d'autres installations avant de mettre en place ces systèmes au GANIL dans le hall DESIR. Cette stratégie conduit également à la mise en place de collaborations internationales très dynamiques, créant ainsi l'environnement nécessaire pour obtenir l'intérêt des équipes internationales pour travailler avec la future installation française. Cette activité des groupes français travaillant à l'étranger devrait être soutenue davantage.

A moyen et long terme, la communauté française ISOL présente une stratégie suivant trois scénarios différents. Il est important de noter que, à long terme, la post-accélération de RIB est une extension essentielle pour répondre aux questions-clés et, en tant que telle, l'exclusion de cette option sur le long terme, ne semble pas la bonne stratégie.

Compte-tenu des perspectives uniques, le conseil soutient avec la plus haute priorité l'amélioration de SPIRAL1, les projets S³-LEB, DESIR et l'injecteur d'ions lourds avec A/Q=7. Ce dernier est essentiel car, combiné avec l'instrumentation de pointe qui est actuellement en cours de développement dans le cadre de DESIR, il offrira des possibilités uniques qui auront un impact clair sur les questions de physique posées par les mesures le long de la ligne N=Z, isotopes lourds et super-lourds. Il est impératif que ces projets soient réalisés dans les temps impartis. Les plannings actuels ne semblent pas être consolidés en termes de ressources humaines et le conseil recommande qu'une attention toute particulière soit portée à la mise en place des ressources nécessaires le plus rapidement possible. En plus de lancer un programme de physique convaincant et compétitif, à l'échelle internationale, la réalisation complète de la phase 1 permettrait également de relancer la discussion sur la phase 2 de SPIRAL2 au sein de la communauté française et internationale et des agences de financement dans le cadre de EURISOL-DF.

Le programme ISOL à ALTO devrait permettre aux groupes français de réaliser des expériences sur des produits de fission à court terme, mais les conditions doivent être compétitives en ce qui concerne les propriétés du faisceau (intensité, disponibilité, émittance) avec celles des installations concurrentes (principalement JYFL et ISOLDE). À partir des taux de production actuels et de l'instrumentation de pointe disponible, il semble qu'ALTO possède une fenêtre temporelle intéressante mais limitée à quelques années. Le conseil est en outre préoccupé par la quantité très limitée de temps de faisceau qui serait disponible dans l'installation. Il faut noter que très peu de temps de faisceau a été délivré ces deux dernières années en raison notamment d'un manque de personnel. Le taux d'occupation d'ALTO devra être amélioré dans le futur pour que l'installation puisse rester pertinente. Ainsi, les capacités instrumentales sont, certes, importantes mais le conseil met en avant les interrogations sur le temps de faisceau disponible et les ressources humaines trop limitées pour exploiter pleinement ces temps de faisceau.

Compte-tenu des possibilités restreintes, le conseil s'interroge sur la nécessité d'agrandir la salle d'expérimentation. De plus, le conseil est d'avis que la mission initiale d'ALTO, à savoir la caractérisation des cibles actinides et le développement de systèmes sources d'ions à haute température, devrait être revitalisée parallèlement aux futures discussions sur la phase 2 de SPIRAL2, car il est essentiel de maintenir l'expertise cible/source d'ions en France. Enfin, un lien de collaboration plus fort entre les efforts de développement des cibles et des sources d'ions à haute température au GANIL (SPIRAL1 et 2) et à l'IPNO devrait être établi, en coopération avec d'autres laboratoires sur le plateau.

Les projets présentés sont largement basés sur l'utilisation des installations françaises. Il est néanmoins indispensable d'avoir un équilibre entre utilisation des installations en

France et à l'étranger, notamment si on souhaite que le GANIL accueille aussi des chercheurs étrangers, et plus particulièrement des chercheurs de laboratoires ayant eux-mêmes des installations de physique nucléaire.

1.4. Structure nucléaire : Propriétés statiques du noyau & Structure nucléaire dans les régions des nombres magiques de spin-orbite 28, 50 et 82

La mesure de la masse, des moments électromagnétiques et du spin sont des mesures de grande précision où l'amélioration des techniques expérimentales est un effort continu. Pour la communauté française, le programme de construction et de mise en service se focalise sur MLLTrap, LINO et POLAREX pour ALTO, REGLIS et PILGRIM pour S³-LEB et PIPERADE pour DESIR. Tous ces dispositifs sont en cours de finalisation. La compétition mondiale est forte et la plupart des installations de faisceaux radioactifs de classe mondiale ont des programmes expérimentaux de basse énergie. Onze programmes de mesure de masse sont en cours de réalisation, attestant cette compétition. Par exemple, le programme autour de l'instrument CARIBU est actuellement en cours de réalisation et porte sur les mêmes noyaux que ceux qui seront accessibles à MLLTrap.

En termes d'opportunités, ALTO dispose d'une fenêtre de tir particulièrement avantageuse jusqu'en 2021-2022 pour les mesures de masses en utilisant MLLTrap et les mesures de spin/parité avec POLAREX et LINO dans le contexte de l'arrêt du CERN et avant la mise en service de ARIEL et SPES. Au-delà, ALTO pourra continuer à offrir le temps de faisceau qui pourrait manquer à la communauté concernée dans les domaines des mesures sur faisceaux à basse énergie.

SPIRAL2 pourra démarrer lorsque S³ entrera en fonctionnement, soit pas avant 2020. Le choix du mécanisme de production et de la méthode d'extraction des faisceaux ISOL en cellule à gaz, combiné aux intensités uniques de faisceaux d'ions lourds délivrées par le LINAG, assure à ce dispositif une place unique dans le paysage ISOL mondial. L'objectif est par la suite de conduire les faisceaux radioactifs produits par le dispositif REGLISE vers le hall DESIR. Cette phase d'exploitation des faisceaux pourra démarrer une fois DESIR construit, soit au-delà de 2023.

Les installations ISOLDE, MARA-LEB, RIKEN et GSI sont des concurrents de SPIRAL2 pour étudier la région des noyaux N-Z et des noyaux lourds. Le positionnement des machines de type SHE factory comme RIKEN est sur des éléments au plus proche de Z=120. S³-LEB ne se positionne pas pour le moment sur cette région de masse mais sur des noyaux plus légers, pour des mesures de haute précision qui sont des bonnes contraintes pour les prédictions théoriques du prochain îlot de stabilité. Dans la région du ¹⁰⁰Sn, les taux de production à S³-LEB seront plus importants qu'à RIKEN et MARA-LEB. A long terme, l'installation DESIR, alimentée par SPIRAL1 après sa mise à niveau et S³-LEB permettra encore un gain en sensibilité et en précision.

Avis et recommandations

Il n'y a aucun doute que les mesures de masses, de spin et des moments électromagnétiques sont essentielles et ont un impact sur les études de structure nucléaire. Elles apportent une palette de mesures par une approche globale, permettant une étude approfondie des évolutions de la structure nucléaire.

La France doit donc être impliquée et visible dans cette thématique, en particulier avec la prochaine mise en service du LINAC de SPIRAL2, l'amélioration de SPIRAL1 et la

construction de DESIR. Il est essentiel d'apporter le soutien nécessaire à cette communauté pour les projets S³-LEB et DESIR à SPIRAL2.

ALTO apparaît comme une étape vers SPIRAL2 avec une fenêtre d'opportunités de 3 à 4 ans dans la spectroscopie des fragments de fission mais ne peut pas être considéré comme une installation de niveau international à long terme dans le contexte du démarrage de ARIEL (Canada) ou SPES (Italie) et de la continuité de ISOLDE (CERN) pour les mesures de masse, moment électromagnétique et spin/parité. Le fonctionnement d'ALTO à court terme pour mettre en œuvre des instruments, réaliser les premières mesures et ainsi construire la communauté doit être soutenu, dans la perspective de S³-LEB et DESIR.

Le programme scientifique sur ALTO est pénalisé par le peu de temps de faisceau, l'effort modeste de développement fait sur les ensembles cible-source et la puissance maximale limitée à 500 W. Pour avoir un impact scientifique significatif sur cette courte fenêtre en temps, les moyens nécessaires humains et financiers doivent être mis en œuvre pour être en adéquation avec les opportunités scientifiques identifiées. Il est important que la communauté S³-LEB et DESIR anticipe la prochaine génération de développements techniques instrumentaux, mais surtout, un effort vigoureux dans le domaine très compétitif du développement des ensembles cible-source doit être initié et soutenu si l'installation ALTO veut développer un programme scientifique d'intérêt. Ces compétences acquises à ALTO et SPIRAL2-phase 1 sont fondamentales pour le long terme en vue d'une phase 2 de SPIRAL2. Compte-tenu des échéances en temps, la phase PALTO n'est pas jugée prioritaire.

La disponibilité des faisceaux (temps de faisceau et qualité des faisceaux) est critique à ALTO. Sa capacité à proposer un programme scientifique compétitif dépend de la disponibilité de ces faisceaux ISOL. La fenêtre d'opportunités de 3-4 ans n'a de sens que si elle est associée à un effort technique pour mettre à disposition des faisceaux de qualité mondiale..

A moyen terme, le démarrage de S³-LEB est prioritaire pour les études des noyaux N-Z et des noyaux lourds et donnera la visibilité internationale de cette communauté. Les programmes scientifiques à S³-LEB sur les noyaux lourds et autour de l'étain ¹⁰⁰Sn sont pertinents et doivent être soutenus. Le prolongement et le développement à long terme vers DESIR sont cohérents et doivent être soutenus.

Au-delà de la thématique ISOL dite de basse énergie, l'absence de perspectives claires vers une réalisation du projet SPIRAL2-phase 2 dans le cadre de l'approche globale incluant une discussion des apports des expériences avec des faisceaux ré-accélérés est regrettable. Il est important de clarifier cet aspect pour le futur de la physique nucléaire afin d'y apporter une cohérence aussi bien au niveau de la basse énergie que des expériences en faisceaux post-accélérés.

Les initiatives de collaboration avec la théorie doivent être soutenues. Les mesures de masse, de moments électromagnétiques et de spin sont des contraintes fortes pour la théorie. La communauté des chercheurs en théorie nucléaire est bien dimensionnée sur les méthodes dites de modèle en couches et de champ moyen. La communauté travaillant sur le modèle en couches a été renforcée par un recrutement à l'IPHC mais reste fragile. Pour le champ moyen qui sera un support aux études dans les trans-actinides, la communauté est suffisamment gréée. Néanmoins, sur les thématiques les plus innovantes actuellement, à savoir les calculs du type *ab initio*, le dimensionnement est encore trop faible en France. Un recrutement CNRS de 2017 porte sur cette thématique et la situation est jugée moins

critique qu'il y a quelques années. Du point de vue de la théorie, le positionnement de S^3 est bon pour les noyaux lourds et ^{100}Sn . Le conseil aurait souhaité une mise en perspective théorique plus élaborée sur les régions de masse à étudier où l'avantage d'avoir des mesures complémentaires aurait pu être plus explicité pour les programmes à venir.

1.5. Impact de la structure nucléaire sur d'autres thématiques de l'IN2P3

Le programme scientifique proposé dans le domaine de l'astrophysique se décline principalement sur deux grandes lignes correspondant à l'étude sur les faisceaux ISOL des propriétés des noyaux qui seraient sur les chemins des processus r et rp du mécanisme de nucléosynthèse ainsi que l'étude des noyaux d'intérêt impliqués dans les effondrements de cœur de supernovae de type II. Les six laboratoires impliqués dans ces études sont le GANIL, le CENBG, l'IPNO, SUBATECH, le CSNSM et le LPSC.

Les mesures réalisées ou proposées pour le processus r par la communauté française sont auprès des installations ALTO, JYFL, et ISOLDE. Ces mesures fournissent d'excellents tests pour les modèles théoriques. Parmi les projets, plusieurs expériences visant l'étude de noyaux autour de ^{132}Sn devraient se dérouler auprès d'ALTO dans un premier temps et une deuxième phase de mesures devant démarrer en 2019 est en cours de préparation. Cette deuxième phase permettra d'étendre considérablement le programme de mesures dans le secteur des masses intermédiaires et d'ouvrir à d'autres types d'observables. Ces capacités donneront à ALTO la toute première place mondiale dans le domaine de l'orientation nucléaire.

Pour les études concernant le processus rp, les activités de recherche sont axées sur un programme de mesure de masse des noyaux au voisinage de la double fermeture de couches ($N=50, Z=28$) à Jyväskylä (JYFL-Trap) initié récemment et sur le développement au GANIL d'un dispositif de mesure de la masse des noyaux N-Z qui seront produits par les installations SPIRAL1 à compter de 2018 et S^3 -LEB à compter de 2020. Ce programme scientifique, dans le futur, devrait s'articuler autour de mesures de masses de noyaux légers riches en neutrons (Ar, Cl, P et K) avec dans un premier temps le MR-TOF-MS PILGRIM et par la suite avec MLLTRAP et PIPERADE sur DESIR ainsi que des mesures de décroissances β -proton pour des noyaux légers déficients en neutrons (par exemple ^{22}Al , ^{26}P , ^{31}Ar , ^{35}Ca). L'installation S^3 -LEB sera unique au monde pour donner accès aux noyaux les plus exotiques contribuant le plus à l'astrophysique des sursauts X, et en particulier les noyaux réfractaires.

D'autres études portant sur l'observation de la décroissance bêta retardée et sur l'écrantage électronique sont proposées pour être effectuées à SPIRAL1, S^3 ou DESIR.

La réalisation des objectifs dans ces domaines demande des études spécifiques, notamment la poursuite des développements nécessaires à l'installation d'un TAGS auprès d'ALTO, l'analyse des possibilités qu'offrirait la future extension d'ALTO en utilisant le piège de Penning, de nouvelles propositions d'expériences auprès d'ISOLDE et de Jyväskylä ou encore l'étude concrète de la faisabilité technique de l'installation d'un TAGS dans DESIR.

Le programme scientifique sur le volet structure nucléaire pour la physique des réacteurs et des neutrinos est également un programme important qui rassemble des compétences et expertises relativement uniques au sein des laboratoires de l'IN2P3.

Les produits issus des réactions nucléaires contribuent à la puissance résiduelle du réacteur, c'est un point majeur pour des questions de sécurité et d'économie. Les mesures des γ et des β permettent de mieux suivre l'ensemble des produits de fission. Les mesures des fractions de neutrons retardés sont aussi très importantes pour le fonctionnement et le contrôle du réacteur. Des anti-neutrinos sortent également du réacteur ; ils peuvent donc être détectés pour suivre l'évolution du combustible mais également pour vérifier la non-prolifération nucléaire. Ces données prises à proximité des réacteurs se révèlent par ailleurs essentielles pour la physique fondamentale et l'étude des propriétés des neutrinos. Il est crucial de mesurer précisément sur un large spectre d'énergie les γ mais les mesures existantes possèdent un biais non négligeable dans les données nucléaires et leurs applications, dû entre autres à l'effet Pandémonium.

Le programme envisagé est basé sur l'obtention de plus de mesures TAGS pour améliorer les informations nucléaires dans les bases de données et quantifier précisément les incertitudes associées aux calculs dits de sommation. De nouveaux résultats issus des analyses de la campagne de mesures de 2014 effectuée à JYFL sont attendus en 2018. Une nouvelle expérience pour mesurer le spectre β venant de transitions interdites non uniques (projet E-Shape) a été initiée en collaboration avec Surrey (UK) et Valence (Espagne). La phase de R&D est en cours à Subatech. Des mesures supplémentaires TAGS à ALTO sont également prévues autour du ^{132}Sn pour l'étude du processus r . Le laboratoire Subatech réalise actuellement les développements mécaniques nécessaires à l'installation de ce TAGS et fournira également le détecteur bêta adapté à la ligne de faisceau.

Les données nucléaires contribuent à améliorer la sûreté nucléaire, que ce soit pour les réacteurs en exploitation ou pour la gestion du combustible. L'impact sociétal de cette recherche est donc direct, et l'IN2P3 contribue à cet effort de compréhension toujours plus fine du comportement des noyaux d'intérêt.

Avis et recommandations

Le programme actuel et envisagé pour les mesures liées à l'astrophysique est de grande qualité et compétitif au niveau international. Les groupes impliqués collaborent activement derrière chaque sujet avec des participations importantes des laboratoires mais aussi avec une participation importante au niveau international.

La stratégie proposée dans ce domaine se concentre sur un choix de noyaux en lien avec les capacités des différents sites de production de faisceaux ISOL (ALTO, SPIRAL1, et S³-LEB), permettant ainsi de rester compétitif au niveau international.

Le développement autour de SPIRAL1 des installations des instruments MR-TOF-MS PILGRIM et par la suite MLLTRAP et PIPERADE sur DESIR devrait permettre d'accroître significativement le potentiel de mesures intéressantes pour l'astrophysique, en particulier pour les masses autour de N-Z.

Le conseil considère essentiel et important de poursuivre ce programme visant à étudier l'impact de la structure nucléaire sur les phénomènes de nucléosynthèse et l'effondrement des cœurs d'étoiles. Le conseil recommande de maintenir à un niveau suffisant les ressources pour couvrir ces travaux et soutient les initiatives visant à développer des collaborations avec la théorie pour couvrir les aspects de modélisation.

Le programme de physique des réacteurs et neutrinos est extrêmement pertinent et offre des retombées importantes pour le domaine de la physique fondamentale et sur le fonctionnement des réacteurs. Les groupes impliqués possèdent une expertise de haut

niveau. La thématique est importante et l'équipe de Subatech occupe une position de première importance, notamment dans le cadre des collaborations TAGS européennes. Le conseil souligne de nombreux points positifs : le couplage direct des mesures avec les simulations des réacteurs ou des spectres, les collaborations avec les théoriciens et les évaluateurs de données nucléaires ainsi que l'interdisciplinarité de ces activités (neutrino, nucléaire, réacteur) et ce malgré la présence d'un seul laboratoire de l'IN2P3 impliqué dans ces analyses TAGS.

La physique des neutrinos issus des réacteurs est étroitement liée à la compréhension des spectres bêta. Ce sujet nécessite une précision importante, motivant ainsi de nouvelles mesures pour améliorer ces spectres. La méthode TAGS offre une solution à l'effet Pandémonium pour ne plus biaiser à haute énergie. Il est important d'exploiter les systèmes TAGS les plus performants ou d'en développer de nouveaux. Il est à noter que les mesures à venir sont très dépendantes d'ALTO et il est important que le temps nécessaire pour réaliser ces expériences soit effectivement obtenu.

Le conseil apprécie la contribution à la base de données internationale pour garantir le retour scientifique par l'accessibilité des résultats. L'équipe de Subatech a construit un programme important en contribuant avec les publications directes d'expériences récentes et la réalisation de nouvelles expériences en étroite collaboration avec des partenaires européens (IFIC Valencia et Université de Surrey). Leur visibilité et leur contribution dans ces sujets avec une vision relativement claire dans le contexte de la physique nucléaire est remarquable.

Ils ont établi des accords assez forts pour leur permettre de continuer un programme expérimental avec ALTO, ISOLDE, JYFL et DESIR dans le futur. Le conseil note que les ressources humaines et le budget sont relativement limités par rapport au rôle tenu dans ce programme, l'intérêt et l'impact de ces activités.

La concurrence internationale existe sur les mesures et les calculs de spectre. Il est important que les activités françaises soient en phase avec les expériences neutrino sur réacteur en cours, expériences qui devraient obtenir des résultats importants dans les deux prochaines années, notamment pour la recherche de neutrino stérile.

1.6. Etude de l'interaction faible

Les trois principales installations, à savoir MORA, WISArD et LPCTrap, sont des dispositifs à la pointe de la technologie. Elles couvrent différents aspects expérimentaux et explorent une large palette de questions dans le domaine la physique de l'interaction faible. Ils recouvrent la plupart des principaux sujets d'actualité et peuvent être compétitifs vis-à-vis des dispositifs expérimentaux à l'étranger.

MORA, à JYFL puis à DESIR, est un nouveau projet qui devrait permettre de poser des contraintes sur le paramètre D dans la décroissance du noyau de ^{23}Mg . Cette mesure qui teste la symétrie par renversement du temps fait intervenir l'observation de corrélations angulaires triples entre l'électron, le noyau de recul et l'axe de polarisation du noyau. L'appareillage met à profit le haut degré de polarisation pouvant être obtenu avec des lasers et le système de détection inspiré du dispositif de la collaboration emiT qui a donné la meilleure limite sur ce paramètre D dans la désintégration bêta du neutron.

WISArD, à ISOLDE, est une nouvelle expérience qui se propose de faire une mesure très précise du paramètre de corrélation bêta-neutrino dans la décroissance de ^{32}Ar afin

d'améliorer les contraintes sur l'existence de couplages scalaires de l'interaction faible. Son approche reprend celle de l'expérience de la collaboration Adelberger et al. en y incluant la détection du positron et la mesure du décalage Doppler de l'énergie du proton émis dans la désintégration Fermi super-permise de l' ^{32}Ar . Cette stratégie va permettre de réduire une partie des erreurs systématiques sur la mesure.

Enfin, le dispositif LPCTrap, installé sur la ligne LIRAT du GANIL, est opérationnel depuis une dizaine d'années et a obtenu des résultats de renommée internationale en mesurant la valeur du paramètre de corrélation angulaire bêta-neutrino dans les transitions pures Gamow-Teller de l' ^6He , conduisant ainsi à l'amélioration des contraintes sur l'existence de couplages tensoriels de l'interaction faible. Mais il s'avère extrêmement difficile de contrôler les erreurs systématiques à un niveau permettant de rester dans la compétition mondiale sur le sujet. Le dispositif est donc en cours de réutilisation pour mesurer les corrélations angulaires dans les transitions miroirs.

L'une des implications de l'hypothèse CVC (conserved vector current) est que la contribution de nature vectorielle de l'interaction faible doit être universelle, donc identique pour toute transition de Fermi entre états analogues, qu'elle soit purement leptonique ou qu'elle intervienne au sein d'un noyau. Dans le cadre du Modèle Standard des particules, l'intensité du couplage vectoriel dans les processus semi-leptoniques à basse énergie est donnée par la matrice CKM. Le test de l'unitarité de cette matrice est un moyen de vérifier la cohérence du Modèle Standard ou de mettre en évidence les signes d'une nouvelle physique. La précision de ce test d'unitarité est à l'heure actuelle limitée par l'incertitude sur l'élément dominant V_{ud} . Ce dernier peut être déterminé en particulier via l'étude des transitions nucléaires $0^+ \rightarrow 0^+$ ou des transitions miroirs.

L'étude de transitions de Fermi super-permises $0^+ \rightarrow 0^+$ initiée depuis plus de 25 ans permet aujourd'hui la détermination de V_{ud} avec une précision relative de $2.2 \cdot 10^{-4}$. Cette analyse nécessite, pour chaque noyau étudié, de combiner les mesures précises du Q_{EC} , de son temps de vie, et du rapport de branchement $0^+ \rightarrow 0^+$ afin de déterminer la période comparée Ft de la transition. Le calcul des corrections théoriques (brisure de la symétrie d'isospin et corrections radiatives) permet ensuite la détermination de la valeur Ft corrigée qui, selon l'hypothèse CVC, est indépendante du noyau considéré et donne accès à V_{ud} . L'amélioration de la précision sur V_{ud} requiert la réduction de l'incertitude sur l'ensemble des mesures existantes et d'y adjoindre de nouveaux noyaux. Il est également crucial, sur le plan théorique, d'améliorer l'incertitude sur l'ensemble des corrections.

Actuellement les transitions $0^+ \rightarrow 0^+$ super-permises de 14 noyaux ont été déterminées avec une précision de l'ordre du pour-mille. Les groupes français du CENBG et du GANIL y ont contribué notamment par des mesures de la décroissance de ^{10}C , ^{14}O , ^{18}Ne , ^{26}Si , ^{30}S , ^{38}Ca , ^{42}Ti et ^{62}Ga . Ces mesures ont été effectuées principalement sur des installations de type ISOL (TRIUMF, ISOLDE, JYFL, SPIRAL). Les mesures les plus difficiles sont celles des rapports d'embranchement des transitions super-permises qui impliquent des mesures de désintégration bêta avec une précision de l'ordre de 10^{-3} . Pour acquérir cette capacité, un détecteur germanium a été étalonné en efficacité avec une précision de 10^{-3} dans une collaboration entre le CENBG et le GANIL. Seuls deux détecteurs au monde atteignent une telle précision.

Avis et recommandations

Le dispositif MORA devrait présenter des performances et une sensibilité inégalées pour la recherche de nouvelle physique. Cette expérience qui a donc un fort potentiel de découverte à court et moyen terme se doit d'être très fortement soutenue.

Avec l'utilisation du détecteur WISArD, une incertitude de l'ordre de 0,1% est accessible, alors le résultat final donnera la plus grande sensibilité à la nouvelle physique dans les désintégrations Fermi et sera compétitive avec les futures expériences au LHC. Cependant, pour atteindre une telle précision, des améliorations progressives portant sur les réglages du faisceau ou refroidissement des détecteurs par exemple seront nécessaires et des mesures supplémentaires doivent être envisagées pour estimer certaines incertitudes systématiques. Cette expérience se doit donc d'être fortement soutenue.

Le programme associé au LPCTrap s'appuie fortement sur le développement des nouveaux faisceaux de l'installation SPIRAL1 puis DESIR. Les taux prévus de production des noyaux miroirs vont permettre de fournir les données nécessaires au calcul des valeurs $\mathcal{F}t$ des transitions miroir, d'envisager des tests de l'hypothèse CVC et la mesure de l'élément de matrice V_{ud} dans certains noyaux.

L'étude de transitions de Fermi super-permises $0^+ \rightarrow 0^+$, initiée depuis plus de 25 ans, a permis la détermination de la valeur V_{ud} avec la meilleure précision relative mondiale. Cette précision est maintenant limitée par l'erreur systématique théorique. La combinaison de S³-LEB et DESIR permettra, pour la première fois, à l'horizon 2023, de mesurer les rapports d'embranchement des transitions super-permises de noyaux plus lourds (⁶⁶As, ⁷⁰Br, ⁷⁸Y, ⁸²Nb...) avec la précision requise. De ce point de vue, l'arrivée de ces équipements sera un grand pas en avant dans ce type d'étude et ouvrira des possibilités uniques pour les groupes français travaillant sur le sujet. Cette expérience se doit d'être soutenue.

L'étude des transitions miroirs super-permises permet une détermination indépendante de V_{ud} . Il est nécessaire ici de mesurer un paramètre supplémentaire donnant le ratio ρ entre les contributions Gamow-Teller et Fermi. Actuellement, la valeur de V_{ud} extraite de cet ensemble de transitions est dotée d'une incertitude environ dix fois supérieure à celle issue des transitions $0^+ \rightarrow 0^+$. La précision des mesures des transitions miroir est limitée par la précision qui peut être obtenue pour le rapport ρ . LPCTrap, alimenté par les nouveaux faisceaux de SPIRAL, sera particulièrement bien placé pour ce genre de mesure. Si un effort suffisant est entrepris, on peut s'attendre à une amélioration rapide de cette incertitude car il existe un grand nombre de nouveaux noyaux propices à ces mesures.

2. Vie du conseil

2.1. Comptes rendus

Le compte-rendu du conseil de juin 2017 a été adopté à l'unanimité moins une abstention lors d'un vote électronique en septembre avec 19 votants sur 22 membres.

2.2. Fonctionnement du conseil

Le poste du collège B1 laissé vacant a été soumis à candidature. Deux dossiers ont été reçus et Emmanuel Clément du GANIL a été élu.

Les membres présents déplorent le nombre d'absents à ce conseil, ainsi que l'absence du directeur de l'IN2P3, mais le conseil a apprécié la présence de la directrice adjointe et de la DAS physique nucléaire à l'ensemble des débats.

Le conseil constate qu'il n'a aucune nouvelle des perspectives de l'IN2P3, perspectives auxquelles il était censé participer et va interroger la direction à ce sujet.

2.3. Échange avec la section 01

Pour le concours 2018, neuf postes ont été annoncés par la direction en réunion avec les directeurs d'unité, dont probablement deux DR2 extérieurs, ce qui semble surprenant vu les besoins et le nombre de candidats CR potentiels (le nombre de concours au niveau CR passant de dix à sept). A priori, comme l'an dernier, chaque poste sera annoncé avec un fléchage thématique et géographique, un système que le président de la section continue comme beaucoup de regretter.

On ne sait pas s'il y aura un seul concours avec un nombre encore indéterminé d'affectations à envisager dans le projet de recherche ou plusieurs concours. Si l'idée d'autoriser une certaine mobilité à l'entrée reste intéressante, le président de la section remarque les limites du système de pré-affectation face aux souhaits des lauréats. Il semble en effet que deux des neuf CR2 embauchés de l'an dernier ne passeront qu'une fraction de leur temps dans les lieux d'affectation initialement annoncés. Le président continue de penser urgent d'introduire des degrés de liberté supplémentaires dans le système.

Les grades de CR2 et de CR1 sont désormais fusionnés. La première promotion de CR hors-classe aura lieu au printemps 2018 avec effet rétroactif à l'automne 2017. Les syndicats encouragent le passage des agents CR en carrière bloquée afin d'améliorer leur situation, consigne soutenue par le CNRS.

2.4. Recommandation sur le service de pré-print

Le conseil a été contacté par le conseil scientifique de l'institut de biologie (INSB) concernant une recommandation sur les archives ouvertes pré-printing. Dans notre communauté, les sites de pré-prints sont largement utilisés mais la quasi-totalité des articles est déjà acceptée ou a vocation à être publiés dans des revues - les autres font généralement suite à des présentations en conférence ou sont de grandes revues de collaboration.

Le président du conseil va présenter à l'INSB ces informations ; le conseil ne ressent pas la nécessité de publier une recommandation à ce sujet étant donné le fonctionnement actuel raisonnablement satisfaisant pour notre communauté. Le CERN, qui concerne une large partie de cette communauté, est d'ailleurs largement impliqué dans toutes les actions sur les outils ouverts de dépôt de publication scientifique.

2.5. Futurs conseils

Les dates des conseils suivants sont les 8 et 9 février, 28 et 29 juin, 25 et 26 octobre 2018 ; les domaines étudiés seront la physique hadronique, les neutrinos puis la matière noire. Le détail des programmes n'est pas encore établi.