

COMITÉ NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
CONSEIL SCIENTIFIQUE D'INSTITUT

# Compte rendu

---

Conseil scientifique de l'IN2P3  
26-27 Juin 2019

## Sommaire

<b>1. Introduction sur le thème de la physique nucléaire en faisceaux accélérés</b> .....	<b>4</b>
<b>2. GANIL : programme actuel et à court terme avec les cyclotrons</b> .....	<b>4</b>
2.1 Présentation du GANIL.....	4
2.2 Avis.....	5
2.3 Recommandation .....	6
<b>3. Projets FAIR</b> .....	<b>7</b>
3.1 Présentation des projets FAIR .....	7
3.2 Avis et recommandation .....	11
<b>4. Nu-Ball</b> .....	<b>13</b>
4.1 Présentation de Nu-Ball .....	13
4.2 Avis.....	13
4.3 Recommandations .....	14
<b>5. Campagnes des éléments super lourds (Riken, Dubna)</b> .....	<b>15</b>
5.1 Présentation .....	15
5.2 Avis et recommandation .....	16
<b>6. Drip-Line @Riken : SAMURAI, NEBULA, EXPAND</b> .....	<b>16</b>
6.1 Présentation .....	16
6.2 Avis et recommandation .....	17
<b>7. AGATA</b> .....	<b>18</b>
7.1 Présentation du projet AGATA .....	18
7.2 Avis et recommandation .....	19
<b>8. GRIT</b> .....	<b>19</b>
8.1 Présentation du projet GRIT.....	19
8.2 Avis et recommandation .....	20
<b>9. PARIS</b> .....	<b>21</b>
9.1 Présentation du projet PARIS.....	21
9.2 Avis.....	22
9.3 Recommandation .....	23
<b>10. Vie du conseil</b> .....	<b>24</b>
10.1 Note sur les membres du CSI nouvellement élus .....	24
10.2 Entretien avec le président de la section 01 .....	24
10.3 Perspectives IN2P3 .....	24
10.4 Retour sur l'organisation de la séance.....	25

**Présents** : G. Broojmans, B. Cros, N. Chanon, H. Costantini, O. Drapier, S. Escoffier-Martory, L. Fayard, B. Fernández Domínguez, V. Givaudan, S. Henrot, D. Laporte, M. Lindroos, F. Marion, R. Maurice, N. Neyroud Gigleux, C. Nones, B. Ramstein, M. Rousseau, C. Smith, R. Trebossen, G. Verde, M. Yamouni, F. Yermia

**Excusé** : P. Janot

**Orateurs** : O. Sorlin, S. Grevy, B. Jurado, J. Wilson, K. Hauschild, N. Orr, A. Lopez-Martens, D. Beaumel, I. Matea

**Rapporteurs** : W. Mittig, G. De Angelis, M. Petri, S. Siem, D. Ackermann, M. Block, A. Moro, F. Gramegna, N. Alamanos

**Invités** : R. Granier de Cassagnac (président de la section 01), P. Balcou (membre du CS CNRS)

### **Programme de la séance ouverte du 26 Juin :**

1) Introduction to nuclear physics with accelerated beams : Olivier SORLIN (GANIL)

2) **GANIL** : present & short-term physics programs with cyclotrons : Stéphane GREVY (CENBG). *Rapporteurs* : Wolfgang MITTIG, Giacomo De ANGELIS

3) **FAIR Projects** : Beatriz JURADO (CENBG). *Rapporteurs* : Marina PETRI, Wolfgang MITTIG

4) **Nu-Ball** : Jonathan WILSON (IPNO). *Rapporteurs* : Sunniva SIEM, Dieter ACKERMANN

5) **Super-Heavy Elements campaigns** (Riken, Dubna) : Karl HAUSCHILD (CSNSM). *Rapporteurs* : Giacomo De ANGELIS, Michael BLOCK

6) **Drip-Line @Riken** : SAMURAI, NEBULA, EXPAND : Nigel ORR (LPCC). *Rapporteurs* : Antonio MORO, Fabiana GRAMEGNA

7) **AGATA** : Araceli LOPEZ-MARTENS (CSNSM). *Rapporteurs* : Sunniva SIEM, Marina PETRI

8) **GRIT** : Didier BEAUMEL (IPNO). *Rapporteurs* : Nicolas ALAMANOS, Fabiana GRAMEGNA

9) **PARIS** : Iolanda MATEA (IPNO). *Rapporteurs* : Sunniva SIEM, Michael BLOCK

## 1. Introduction sur le thème de la physique nucléaire en faisceaux accélérés

Olivier Sorlin (GANIL) présente la physique nucléaire en faisceaux accéléré. La présentation, donnée à titre d'introduction, est disponible en ligne.

## 2. GANIL : programme actuel et à court terme avec les cyclotrons

**Questions de la direction** : quel programme scientifique, comment améliorer la distribution des forces à l'IN2P3 ?

### 2.1 Présentation du GANIL

Les faisceaux du GANIL accélérés par les cyclotrons permettent de délivrer une grande variété de faisceaux à la communauté de physique nucléaire de basse énergie (< 100 MeV par nucléon) en utilisant presque toutes les techniques de production de faisceaux disponibles.

Ces faisceaux stables ou radioactifs (qu'ils soient produits par fragmentation en vol ou par la technique ISOL puis ré-accélérés) sont couplés à un ensemble de spectromètres et d'appareillages expérimentaux variés.

Les activités de GANIL-Cyclotrons peuvent être séparées en trois grandes catégories suivant le type de faisceau :

1) *Les expériences utilisant les faisceaux stables du Carbone à l'Uranium de quelques MeV par nucléon (CSS1) à 95 MeV par nucléon (CSS1+CSS2).*

A moyenne énergie, cette première catégorie d'expériences utilise principalement le spectromètre VAMOS couplé à AGATA pour les réactions de transfert multi-nucléon ou couplé à SPIDER pour l'étude des processus de fission. Un mode « gaz-filled » a aussi été étudié ces dernières années, ce qui augmentera le nombre d'expériences réalisables avec celui-ci. L'étude des noyaux déficitaires en neutrons produits par fusion-évaporation sont également possibles avec l'utilisation d'AGATA et/ou EXOGAM couplé à des détecteurs de neutrons (NEDA) et/ou de particules chargées (DIAMANT). A plus haute énergie, le programme expérimental utilise principalement le détecteur INDRA-FAZIA pour l'étude des réactions induites par les ions lourds au voisinage de l'énergie de Fermi.

2) *Les expériences utilisant les faisceaux radioactifs produits par fragmentation en vol auprès du spectromètre LISE, (15-60 MeV par nucléon) (CSS1+CSS2).*

Cette seconde catégorie d'expériences ouvre différents axes de recherche couvrant la découverte et l'étude de la structure des noyaux exotiques, l'étude des décroissances radioactives exotiques, des moments nucléaires ou encore des structures à halo ou en cluster. Ces expériences utilisent des détecteurs tels que MUST2/MUGAST pour la détection des particules légères, EXOGAM2 pour la spectrométrie gamma, et la cible active ACTAR-TPC.

*3) Les expériences utilisant les faisceaux radioactifs produits par technique ISOL puis post-accélérés dans CIME jusqu'à 20 MeV par nucléon (SPIRAL1).*

A son démarrage SPIRAL1 ne pouvait accélérer que des faisceaux d'ions radioactifs d'éléments gazeux limitant les programmes de physique réalisables. Un projet d'upgrade a débuté en 2009. Cet upgrade consiste en l'installation d'un booster de type Phoenix permettant d'augmenter la charge des faisceaux et d'un ensemble cible-source FEBIAD.

Les principaux domaines de recherche utilisant SPIRAL1 sont l'étude de la structure et des propriétés électromagnétiques des noyaux exotiques, l'étude des réactions résonnantes et des états clusters ou encore l'astrophysique nucléaire. Ces expériences utilisent principalement le spectromètre VAMOS, AGATA, MUGAST et la cible active ACTAR-TPC.

En dehors du temps de faisceau dédié à la physique fondamentale, une partie du temps est attribuée à des recherches interdisciplinaires (interaction rayonnement/matière, physique des matériaux, radiobiologie...) et à des applications industrielles.

Le temps de faisceau dédié aux cyclotrons du GANIL est actuellement d'environ 4 mois/an (2000 h en 2018) avec un taux de fiabilité supérieur à 90%. Ce temps de faisceau, qui a fortement diminué sur les dix dernières années, est à l'avenir un point clé pour la réalisation des ambitions scientifiques du GANIL et devrait augmenter dans les prochaines années avec la diminution naturelle de l'implication des ingénieurs et techniciens du GANIL sur la construction de SPIRAL2.

## **2.2 Avis**

Le programme scientifique autour des cyclotrons du GANIL est très large et d'un grand intérêt pour la communauté de physique nucléaire. Les objectifs scientifiques sont ambitieux. La combinaison des différents faisceaux et d'une instrumentation performante est très attractive.

Les faisceaux radioactifs ISOL post-accélérés ou produits en vol sont essentiels à la physique nucléaire moderne. La concurrence mondiale dans ce domaine est à prendre en compte dans la stratégie à moyen terme. En effet, plusieurs installations en fonctionnement (RIKEN, HIE-ISOLDE, GSI, TRIUMF, NSCL ...) ou en cours de développement (SPES, FRIB, FAIR...) permettent ou permettront de proposer à la communauté scientifique des faisceaux comparables et/ou complémentaires avec beaucoup plus d'intensité dans la plupart des cas.

Cependant, la fragmentation en vol auprès de LISE à 30 MeV par nucléon avec les nouveaux développements techniques (LISE QD6 et ZERO Degree Detection) rend, pour l'instant, cet équipement unique dans ce régime en énergie. La mise en marche du développement ZERO Degree Detection bénéficiera énormément à la communauté.

Pour les faisceaux de type ISOL, l'augmentation des intensités fournies par la source d'ions ECR représente une force de ce dispositif sur une courte échelle de temps. Il existe des niches qui peuvent être exploitées permettant d'atteindre un bon niveau de compétitivité. Pour cela, il est essentiel d'augmenter le nombre de faisceaux secondaires actuellement disponibles, en particulier les faisceaux lourds tels que le  $^{56}\text{Ni}$ . Le conseil est conscient qu'atteindre cet objectif demande d'investir du temps et de la main-d'œuvre.

La production de faisceaux stables à haute intensité permet l'exploitation d'un programme expérimental intéressant et fructueux basé sur le spectromètre VAMOS et la détection gamma (AGATA, EXOGAM). Le programme avec VAMOS++ est particulièrement ambitieux et actuel, permettant d'étudier les noyaux exotiques riches en neutrons par diffusions inélastiques profondes ou par fission. L'utilisation de VAMOS en mode « gaz-filled » ouvre également une fenêtre importante d'expérimentation dans le domaine des propriétés de fission, le transfert multi-nucléon et la formation de noyaux transuraniens.

### **2.3 Recommandations**

Le laboratoire est impliqué dans de très nombreuses activités. La dispersion des objectifs rend difficile le déploiement optimal des ressources et des effectifs nécessaires pour maximiser l'impact des résultats. La priorisation des activités est donc nécessaire pour atteindre l'excellence, surtout si l'on considère la réduction du temps de faisceau disponible pour la physique au cours des 10 dernières années (avec un facteur de réduction de l'ordre de 58%), réduction principalement liée à la mise en service de SPIRAL2 (Le développement de nouveaux faisceaux, tel que le  $^{56}\text{Ni}$ , demande lui aussi du temps dédié et accentue la réduction du temps faisceau).

Avant le démarrage des futurs autres grands sites expérimentaux (3 à 5 ans) que sont RIBF, SPES ou FAIR, les faisceaux radioactifs produits sur LISE restent une niche dont il faut tirer parti.

Le conseil recommande de les exploiter au mieux. De même, le développement de nouveaux faisceaux sur SPIRAL1 est un point clé si le GANIL veut rester compétitif à

moyen terme dans ce domaine. Une planification de ces développements faisceaux est essentielle pour les futurs utilisateurs. Le conseil recommande que GANIL puisse clarifier sa planification faisceau de manière réaliste, en considérant en même temps le développement de SPIRAL1 et de SPIRAL2. Dans ce sens, le conseil recommande à l'IN2P3 de travailler avec le CEA sur les recrutements pour que le démarrage de SPIRAL2 ne diminue pas ce temps de développement ainsi que le temps de faisceau qui sera disponible sur les cyclotrons du GANIL lorsque SPIRAL2 sera en exploitation.

A plus long terme, le GANIL devra compter sur une forte concurrence, et sa place d'excellence ne pourra être maintenue sans de nouveaux investissements majeurs (SPIRAL2 phase2).

### 3. Projets FAIR

**Questions de la direction** : Les chercheurs français font des expériences au GSI depuis des décennies. Le détecteur AGATA va s'installer à FAIR. Pertinence du programme expérimental proposé, pertinence de s'investir dans ce programme étant donné les forces en présence et les projets nationaux ?

#### 3.1 Présentation des projets FAIR

##### *L'infrastructure FAIR*

Le complexe d'accélérateurs FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research) est une infrastructure internationale en construction à Darmstadt en Allemagne. Elle est basée sur l'extension des installations existantes du GSI (Centre Helmholtz de recherche sur les ions lourds). L'amélioration du linac UNILAC et du synchrotron SIS18 permet d'obtenir des faisceaux de haute intensité, d'énergie précise et de faible émittance, allant des protons jusqu'à l'uranium 238 à 1 GeV par nucléon, et l'anneau CRYRING couplé à l'anneau ESR, permet de refroidir et stocker des faisceaux de basse énergie d'ions totalement épluchés. Cette phase, appelée « FAIR-Phase 0 » est déjà opérationnelle. Dans la phase suivante seront ajoutés plusieurs éléments, dont un nouveau séparateur (Super-FRS) et un nouveau synchrotron (SIS100) qui offriront une large variété de conditions expérimentales, telles que des faisceaux radioactifs de basse ou de haute énergie, avec des intensités 1000 fois supérieures à celles disponibles actuellement. Les noyaux radioactifs produits, jusqu'à l'uranium, pourront être dirigés vers une voie de haute énergie (R3B) pour l'étude des réactions ou une voie basse énergie (LEB) permettant notamment des études de spectroscopie de précision.

Les physiciens français travaillent à GSI depuis de nombreuses années, et la construction de FAIR a été confiée à une compagnie de droit allemand, créée pour cela (FAIR GmbH), dont l'actionnaire majoritaire (70%) est le GSI GmbH, et dont la France détient 2.6% du capital, réparti pour moitié entre le CEA et le CNRS. Le coût total de la construction est de plus de 1.3 milliard d'euros, et la France est engagée

pour la construction du Super-FRS et du linac-protons. Concernant les sujets de physique explorés grâce à ces installations, ils se répartissent en quatre thématiques : physique atomique, physique des plasmas et applications (APPA), matière baryonique à haute densité (CBM), structure nucléaire, astrophysique et réactions nucléaires (NUSTAR), annihilation protons-antiprotons (PANDA). La part des coûts pris en charge par la France l'est au travers d'un TGIR, mais celui-ci n'inclut pas à l'heure actuelle de financement pour des expériences de physique. Le démarrage des nouvelles installations de FAIR est prévu pour 2025, du moins en ce qui concerne le Super-FRS, la situation du synchrotron SIS100 paraissant moins claire. Les groupes de l'IN2P3 proposent de s'investir sur les six sujets de physique (qui font tous partie de la thématique NUSTAR) exposés dans les paragraphes suivants.

### *1) Corrélations di-neutrons et tétra-neutrons à proximité de la drip-line.*

Bien que ni le di-neutron ni le di-proton ne soient des systèmes liés, l'appariement joue un rôle central en physique nucléaire. On s'attend à observer de nombreux phénomènes particulièrement intéressants, notamment la formation de « clusters »  $2n$  ou  $4n$ , ou encore la transition d'un appariement de type BCS (Bardeen-Cooper-Schrieffer) à une condensation de type Bose-Einstein (BEC) lorsque l'on va vers des noyaux de plus en plus riches en neutrons. L'étude de ces phénomènes requiert de perturber le moins possible les neutrons émis. Ceci peut être obtenu par les faisceaux de « haute énergie » (500 MeV par nucléon et au-delà) de FAIR, qui peuvent éjecter du noyau étudié un proton profondément lié, ce qui a pour effet de changer soudainement l'énergie du cœur du noyau, et de libérer dans le continuum les neutrons les moins liés sans affecter leurs caractéristiques. Une première expérience réalisée à l'aide du set-up R3B auprès du FRS montre une très forte corrélation des neutrons dans la désintégration de  $^{18}\text{C}$  en  $^{16}\text{C} + 2n$ . La poursuite de ces études avec le FRS, puis ultérieurement le Super-FRS, nécessitera de compléter le dispositif expérimental R3B, en augmentant notamment le nombre de panneaux du détecteur NeuLAND et en complétant le détecteur de gammas CALIFA. L'utilisation d'une cible cryogénique d'hydrogène, actuellement en construction au CEA-Saclay, est également prévue. L'IN2P3 n'a actuellement pas d'engagement technique ou financier dans l'expérience R3B. À l'heure actuelle ni le détecteur NeuLAND ni CALIFA ne sont financés intégralement. L'équipe propose de contribuer « in cash » soit à l'un soit à l'autre. La demande financière se monte au total pour les cinq années à venir à environ 290 k€ dont 150 k€ pour l'amélioration des détecteurs.

### *2) Radioactivité deux protons*

La radioactivité deux protons est un phénomène spécifique des noyaux de  $Z$  pair situés légèrement au-delà de la drip-line, pour lesquels l'effet tunnel à travers la barrière coulombienne permet l'émission de deux protons fortement corrélés par l'effet d'appariement, alors que l'émission d'un seul proton est énergétiquement impossible. Les candidats à cette désintégration se situent aux alentours de  $A=50$  et ce phénomène est encore mal modélisé sur le plan théorique. A ce jour, seuls quatre émetteurs  $2p$  sont connus :  $^{45}\text{Fe}$ ,  $^{48}\text{Ni}$ ,  $^{54}\text{Zn}$  et  $^{67}\text{Kr}$ , et la caractérisation de nouveaux

émetteurs permettrait de mieux contraindre les modèles. La détection, tout d'abord réalisée par implantation dans un détecteur silicium, est maintenant principalement effectuée dans une TPC qui permet une meilleure caractérisation de l'énergie et des angles d'émission des protons. Le programme proposé à FAIR est d'identifier spécifiquement les possibles émetteurs 2p parmi les noyaux compris entre les noyaux magiques en protons  $Z=28$  (Ni) et  $Z=50$  (Sn) grâce au Super-FRS et au détecteur silicium de la collaboration NUSTAR/DESPEC, puis, pour les nucléides d'intérêt, de caractériser les distributions des protons grâce au nouveau détecteur ACTAR TPC, récemment utilisé avec succès au GANIL.

### *3) Moments magnétiques nucléaires*

Du fait de sa forte corrélation avec l'état du noyau, le moment magnétique apporte une information sur la configuration précise des orbitales, qui peut se révéler précieuse pour contraindre les modèles théoriques dans des zones où se développent de forts effets collectifs conduisant à des configurations isomériques. Le projet gSPEC proposé vise à explorer trois régions de noyaux doublement magiques particulièrement riches en isomères dont le moment magnétique est inconnu :  $^{208}\text{Pb}$ ,  $^{100}\text{Sn}$  et  $^{132}\text{Sn}$ . Ces études bénéficieront de la possibilité d'avoir à FAIR des faisceaux de noyaux lourds complètement épluchés. Elles nécessiteront la construction d'un aimant supraconducteur dans lequel se situeront les nouveaux détecteurs au germanium de haute pureté (HpGe). La réalisation de ce dispositif requiert une phase importante de simulation et de développement. La conception de l'aimant est prise en charge au CSNSM. Le développement des détecteurs auxiliaires pour haut champ magnétique sont en cours de conception et réalisation au CSNSM. Le développement des détecteurs HpGe (design « DEGAS ») est réalisé conjointement avec le GSI, et leur construction sera assurée par d'autres partenaires de la collaboration. Le coût de l'aimant lui-même (780 k€) représente une part importante du soutien financier nécessaire aux équipes IN2P3 (1420 k€ au total d'ici 2024).

### *4) Mesure précise des probabilités de décroissance*

La connaissance précise des probabilités des différentes voies de désexcitation des noyaux exotiques apporte des informations très contraignantes pour les modèles de structure nucléaire. L'absence de telles données pour certains noyaux conduit à des prédictions imprécises des sections efficaces d'absorption de neutrons sur de nombreux noyaux à vie courte, intervenant aussi bien dans les processus S et R de nucléosynthèse que dans la conception des réacteurs de génération 4. Du fait que la constitution d'une cible de noyaux à vie courte ou de neutrons est impossible, une façon d'étudier ces réactions est de leur substituer une réaction de production du noyau final en cinématique inverse (par transfert de nucléons ou par collision inélastique) et d'en étudier simultanément toutes ses voies de désintégration (fission, neutrons, gammas). Le programme proposé consiste à développer un ensemble de détecteurs et une méthodologie pour utiliser l'anneau de stockage CRYRING à cet effet, au sein de la collaboration APPA/SPARC. Trois ensembles de détecteurs mesureront les caractéristiques des résidus de la cible, des fragments de fission, et des noyaux lourds produits après émission gamma ou neutron. Le soutien financier

nécessaire est important : 1180 k€ au total sur les cinq années à venir, essentiellement consacrés aux détecteurs et équipements associés. Des dossiers ont été déposés auprès de l'ANR et de l'ERC, ce qui permettrait, en cas de succès, de réduire significativement la demande financière auprès de l'IN2P3.

#### 5) *Études de la fission avec SOFIA*

Outre son intérêt fondamental pour la compréhension de la dynamique des réactions nucléaires, l'étude de la fission est également primordiale pour les applications liées à l'énergie, tant au niveau de la conception des réacteurs que pour les études de chaleur résiduelle ou de radio-toxicité des combustibles irradiés. Si les distributions de masses des fragments sont généralement bien connues, certaines distributions isotopiques manquent, particulièrement pour les noyaux autres que les actinides à vie longue les plus étudiés. Seule la cinématique inverse permet de connaître simultanément le noyau qui fissionne et d'identifier complètement la masse et la charge des fragments par spectrométrie magnétique. Le faisceau secondaire résultant de la fragmentation des  $^{238}\text{U}$  primaires à 1 GeV par nucléon est séparé par le FRS, et les noyaux d'intérêt sont envoyés dans le dispositif SOFIA qui permet d'étudier des isotopes ayant des durées de vie descendant jusqu'à la milliseconde. La fission est induite par interaction électromagnétique avec une cible d'uranium ou de plomb. Le spectromètre aval est construit autour de l'aimant GLAD, équipé de chambres à ionisation pour la mesure de la charge par  $dE/dX$ , de détecteurs de temps de vol, et de chambres à fils pour la mesure de la rigidité. Cette expérience, conduite par le CEA/DAM, a déjà pris des données en 2012 et 2014, et l'IN2P3 y est visible au travers des contributions de l'IPNO (chambres à fils) et du CENBG (cible active). Le projet consiste à utiliser une cible d'hydrogène et le détecteur de gammas CALIFA, afin d'apporter la connaissance de l'énergie d'excitation qui fait actuellement défaut. L'ajout du détecteur NeuLAND permettrait de détecter les neutrons produits. Enfin, l'utilisation d'un faisceau primaire de  $^{242}\text{Pu}$  permettrait d'étendre les études de fission dans toute la région U-Pu. Le développement d'un tel faisceau représente néanmoins un challenge en termes de radioprotection et de décontamination.

#### 6) *Spectroscopie LASER de haute résolution des noyaux super-lourds*

Les effets nucléaires d'origine quantique, tels que les effets de couches, jouent un rôle important dans la stabilisation des noyaux de très grand Z et sont à l'origine des prédictions de l'existence d'un possible îlot de stabilité pour les éléments super-lourds. Ces effets se manifestent également par l'apparition de déformations ou d'états isomériques qui, grâce à leur influence sur le cortège électronique, peuvent être étudiés par des méthodes de physique atomique. C'est notamment le cas du rayon de charge des isotopes 252 à 254 du nobélium, dont l'étude auprès de SHIP au GSI a montré l'existence d'une déformation maximale dans cette région, conforme aux prédictions des modèles. Le projet proposé consiste à étendre ces études à des isotopes plus exotiques du nobélium, et à l'élément suivant (lawrencium), à l'aide d'un appareillage nécessitant un nouveau laser, pour lequel un soutien financier de 100 k€ est demandé à l'IN2P3, ainsi que trois années de bourses de thèse. Il est à noter que ce type d'expérience pourra être poursuivi auprès de S<sup>3</sup>, lorsque

l'installation SPIRAL2 aura démarré au GANIL.

### **3.2 Avis et recommandations**

Le conseil reconnaît l'excellente qualité scientifique et la pertinence des projets proposés, qui couvrent un large domaine de la discipline. L'ensemble procurera aux équipes françaises une excellente visibilité auprès de FAIR, qui offrira des conditions uniques au monde pour certaines études. Le conseil note cependant qu'il est difficile d'établir des priorités claires entre des projets aux besoins financiers très divers, et dont certains produisent déjà des résultats alors que d'autres n'en sont qu'au stade des études de détecteur. Le conseil considère qu'il est très important que le TGIR puisse soutenir une participation française au programme de physique de FAIR, mais que le dossier qui sera présenté pour cela devra mieux faire apparaître l'effet structurant de ce programme dans le contexte de la communauté française de physique nucléaire. Le conseil regrette notamment que le projet n'implique à chaque fois qu'un petit nombre de FTE. Un renforcement des équipes concernées autour d'un programme donné permettrait sans doute d'optimiser leur impact et leur visibilité dans FAIR. Le conseil recommande également de procéder à une estimation du nombre de physicien(ne)s de la communauté française soutenant une telle participation à FAIR et souhaitant s'y engager une fois que le calendrier de disponibilité des faisceaux sera mieux connu.

*Concernant le détail des projets :*

Les études de corrélation di-neutrons et tétra-neutrons utiliseront de façon optimale l'énergie des faisceaux, qui est une spécificité de FAIR. Les résultats obtenus sur le carbone 18 soulignent l'importance de ces études dans lesquelles l'IN2P3 est très visible, et le conseil recommande que la poursuite de ce programme soit soutenue. Le conseil regrette que le financement demandé soit destiné à acheter des détecteurs, sans contribution technique des équipes de l'IN2P3. L'ajout de nouveaux détecteurs à NeuLAND, qui permet d'accéder aux corrélations 4n, semble prioritaire, mais l'évaluation du bénéfice à améliorer également CALIFA mériterait une présentation spécifique, incluant le plan de financement des deux détecteurs et de la répartition des responsabilités internationales actuelles (analyse de risque incluse) ainsi qu'une mise en perspective de l'impact sur les buts de physique si les détecteurs ne sont pas complets.

Pour les études de la radioactivité 2p, c'est la combinaison de l'intensité élevée et de la haute énergie des faisceaux qui sera ici primordiale pour la recherche de potentiels émetteurs au-delà du  $^{67}\text{Kr}$ . Le principal risque identifié est lié aux incertitudes sur le planning de disponibilité des faisceaux de FAIR. Du fait de l'utilisation de détecteurs existants, l'investissement est relativement modeste. Le potentiel de découverte est important, avec une bonne visibilité de l'IN2P3, et le conseil recommande que ce programme soit soutenu.

La spécificité de la mesure des moments magnétiques à FAIR repose sur l'énergie des faisceaux qui offre la possibilité d'avoir des ions totalement épluchés, évitant ainsi la perte d'orientation. Cette caractéristique majeure est particulièrement importante pour les noyaux les plus chargés, et la priorité devra en conséquence être

portée sur l'étude de la région du  $^{208}\text{Pb}$ , afin de profiter au mieux de cette spécificité. Le conseil estime que ce programme est très pertinent, amène une bonne visibilité des équipes françaises au sein d'une collaboration comportant une large part internationale, et devrait en conséquence être soutenu. Cependant, le coût extrêmement élevé du détecteur paraît hors de portée d'un financement par l'IN2P3 seul. Il est prévu de faire une demande ANR et/ou ANR/DFG dès qu'un appel est ouvert pour lequel le projet est éligible. Le conseil note enfin que le nombre de FTE correspondant aux ingénieurs du CSNSM, du LAL et de l'IPNO (0.7 FTE/an) semble faible au regard de l'investissement et des enjeux techniques sur le solénoïde. Le conseil propose que le déblocage des fonds pour la fabrication (externalisée) de l'aimant ne se fasse qu'après une revue technique de design organisée par l'institut.

La mesure précise des probabilités de désintégrations proposées auprès de l'anneau de stockage CRYRING est un projet ambitieux dont le conseil reconnaît la pertinence scientifique et dans lequel la participation française est importante sur le plan des ressources humaines. La difficulté technique réside principalement dans la nécessité de développer des détecteurs compatibles avec les conditions d'ultravide imposées par l'utilisation d'un anneau de stockage. Là encore, le conseil estime que ce programme doit être soutenu, mais que les sommes importantes nécessaires au développement des détecteurs ne sont probablement pas compatibles avec un financement par l'IN2P3 seul avec le planning envisagé. Le conseil encourage la collaboration à prévoir une source alternative de financement au cas où les demandes ANR/DFG et ERC ne seraient pas couronnées de succès. Il est à noter qu'il serait important de compléter la proposition par une étude approfondie du niveau de maturité des détecteurs cellules photovoltaïques et du plan de tests nécessaires afin de réduire les risques, ainsi qu'un chiffrage des ressources correspondantes.

Les études de haute précision sur la fission à l'aide du détecteur SOFIA sont complémentaires aux mesures de voies de désintégration discutées dans le paragraphe précédent. Elles ont déjà conduit à de nombreux résultats pour des isotopes de première importance dans la physique des réacteurs. La poursuite de ce programme constitue un investissement à faible risque et à haut apport sur le plan scientifique, bien que le nombre de physicien(ne)s engagé(e)s dans ces travaux semble faible. Les études prévues sur l'influence de l'énergie d'excitation seront une bonne façon d'exploiter la synergie avec d'autres détecteurs, notamment CALIFA, ou même NeuLAND pour la détection des neutrons. Un éventuel programme à plus long terme basé notamment sur le développement d'un faisceau de  $^{242}\text{Pu}$  reste aujourd'hui extrêmement hypothétique, compte-tenu des contraintes liées à la décontamination et à la toxicité du plutonium. Le conseil note que la demande fait mention d'un manque de ressources humaines pour le retour scientifique, alors que les chercheurs impliqués sont également co-proposants de la demande « anneau de stockage » : le conseil recommande d'étudier le recouvrement entre les projets en matière de ressources humaines de manière globale.

La spectroscopie LASER de haute précision constitue la poursuite de l'expérience RADRIS qui a étudié avec succès les rayons de charge des isotopes du nobélium auprès de FAIR/SHIP. Le conseil considère que l'ajout d'un nouveau LASER à haut

taux de répétition et largeur spectrale réduite, qui permettra d'accéder aux propriétés d'isotopes plus lourds du nobélium et surtout au lawrencium, devrait être soutenu. En effet, il permettra un excellent retour scientifique avec un investissement relativement modeste. Ce programme constituera en outre une préparation à l'installation d'une expérience similaire auprès de  $S^3$  au GANIL.

## 4. Nu-Ball

**Questions de la direction** : Projet IN2P3 terminé en 2019 : rapport d'étape et perspectives ?

### 4.1 Présentation de Nu-Ball

Le projet Nu-Ball est un spectromètre gamma disponible sur l'installation ALTO (Accélérateur Linéaire et Tandem à Orsay) de l'IPNO. La particularité de Nu-Ball est d'être un spectromètre hybride combinant des détecteurs Germanium avec des scintillateurs LaBr<sub>3</sub> rapides, entouré d'une enceinte de scintillateurs BGO anti-Compton. Couplé à la source de neutrons directionnelle LICORNE d'ALTO, le projet Nu-Ball est né d'une lettre d'intention en 2015 et a été construit en 2017. Les questions scientifiques adressées par le projet Nu-Ball concernent la compréhension de la structure nucléaire des isotopes très riches en neutrons loin de la vallée de stabilité nucléaire, ainsi que la compréhension du mécanisme de fission nucléaire induite par les neutrons rapides.

La première campagne de prise de données a eu lieu de novembre 2017 à juin 2018, avec près de 3200 heures de temps de faisceau délivrées et la participation de plus de 150 scientifiques à travers les expériences approuvées par le Comité d'expériences d'ALTO (PAC). Les équipes de l'IN2P3 sont porte-paroles de plusieurs campagnes de mesures et ont un rôle très visible. Les premiers résultats de cette campagne, qui concerne essentiellement les études de fission et la spectroscopie des noyaux riches en neutrons, sont en cours. D'autres études autour de réactions induites par des ions-lourds ont été réalisées lors de cette première campagne.

Une deuxième campagne Nu-Ball est prévue pour 2021-2022. Dans ce contexte, un workshop a eu lieu fin 2018 afin de définir la stratégie scientifique pour les années qui viennent.

### 4.2 Avis

Le détecteur hybride Nu-Ball permet de rivaliser avec les instruments les plus récents pour l'étude de l'énergie nucléaire, la structure des noyaux exotiques et la fission des actinides, tout en ayant adopté une stratégie bas coût par la réutilisation des modules de détection gamma issus de la collaboration européenne GammaPool et les scintillateurs LaBr<sub>3</sub> issus de la collaboration FATIMA.

Le projet Nu-Ball apparaît donc comme un projet qui offre de belles opportunités scientifiques au sein de l'installation ALTO. Dans un contexte compétitif des grandes infrastructures européennes et internationales, il semble important au conseil de conserver cette structure locale car elle est très utile à la communauté et permet

d'accroître la visibilité de l'installation ALTO, fait attesté par le nombre important de doctorants et de post-doctorants qui travaillent sur ces projets.

Les résultats scientifiques de la première campagne semblent prometteurs, mais le contexte international est concurrentiel. En ce qui concerne les études de fission, la compétition mondiale, y compris française, est forte. Les expériences de fission menées au JAEA-tandem à Tokai avec SOFIA à GSI, avec VAMOS au GANIL ou celles de fission induite par neutrons à nTOF produisent des résultats de très haute qualité. Le projet Nu-Ball pourra profiter d'une fenêtre d'opportunités au cours des prochaines années en utilisant des cibles de noyaux qui ne sont pas encore disponibles sur d'autres installations.

Pour la spectroscopie gamma des noyaux produits par des réactions de fission induites par neutrons, le projet Nu-Ball est limité à l'étude des noyaux pour lesquels une des transitions a été identifiée auparavant dans d'autres installations de faisceaux radioactifs comme ceux du GANIL (France) ou de RIKEN (Japon). Ces installations internationales, qui permettent d'identifier totalement les fragments de fission en sortie ainsi que l'émission gamma associée, sont des concurrents très sérieux. Néanmoins, le projet Nu-Ball, en mesurant l'émission gamma émise par les fragments en cinématique directe, offre des opportunités intéressantes pour compléter ces études avec une très bonne précision, où l'effet Doppler, dû à l'émission en vol du rayonnement gamma, est minimisé. Il faut aussi noter que la disponibilité du temps de faisceau dans d'autres installations internationales est limitée, permettant ainsi au projet Nu-Ball de pouvoir jouer un rôle important.

### **4.3 Recommandations**

Le projet Nu-Ball a achevé sa première campagne de mesure et les résultats préliminaires semblent confirmer le fort impact scientifique attendu. Cependant, dans le contexte compétitif actuel, le conseil recommande à la collaboration de mettre la priorité sur les analyses de données en cours, avant de préparer la prochaine étape du projet nu-ball2. A plus long terme, le programme expérimental de physique de nu-ball2 doit être clarifié et se focaliser sur les opportunités scientifiques identifiées lors de la première campagne.

Pour la phase 2, il semble important que le projet Nu-Ball bénéficie de quelques améliorations techniques afin de rester dans la compétition. En particulier, le conseil recommande d'implémenter l'identification des fragments de fission afin d'augmenter la sélectivité des canaux de la réaction (identification partielle déjà utilisée sur ALTO avec PARIS) et de vérifier la production des produits de fission.

Enfin le conseil a noté que le MoU de Gammapool, le réseau qui coordonne en Europe les ressources pour la spectroscopie gamma et en particulier celles de l'ancien détecteur Euroball, date de 2003. Si les campagnes SHE@JYFL ont pu être menées grâce au GammaPool, le conseil recommande à l'IN2P3 de vérifier que ce MoU est toujours d'actualité et qu'il dessert bien les intérêts français. En particulier il serait utile que le MoU précise davantage les règles d'emprunt (prévoir un temps pour remettre en état le matériel avant de le remettre dans le pool, définir les actions en cas de vieillissement des détecteurs, faire des bilans pluriannuels des emprunts).

## 5. Campagnes des éléments super lourds (Riken, Dubna)

**Questions de la direction :** Programme scientifique : développé en ce moment à Riken, Dubna et JYFL. En projet à S<sup>3</sup>. Quelles sont les priorités stratégiques entre les 3 sites actuels ? Perspectives au GANIL ? Comment renforcer et améliorer la préparation des projets au GANIL ?

### 5.1 Présentation

La recherche en physique nucléaire sur les éléments super-lourds vise à découvrir de nouveaux éléments avec un numéro atomique  $Z$  de plus en plus grand ainsi qu'à caractériser les propriétés de ces éléments (durée de vie, structure, etc.). Ces recherches permettent de mieux comprendre la stabilité des noyaux, et en particulier, d'établir quelles sont les limites d'existence des systèmes nucléaires finis et de rechercher un éventuel îlot de stabilité prédit théoriquement autour de valeurs de  $Z$  allant de 114 à 126. Pour les chimistes, la connaissance de nouveaux éléments super-lourds ainsi que la compréhension de leurs propriétés électroniques permettent de pousser la classification périodique dans ses ultimes retranchements.

Deux équipes de l'IN2P3 du CSNSM (Orsay) et de l'IPHC (Strasbourg) s'impliquent sur trois axes de recherche principaux : la production de nouveaux faisceaux de haute intensité et la synthèse de nouveaux éléments (en forte collaboration avec les laboratoires d'accueil : GANIL, Caen, RIKEN, Japon et JINR, Russie), la spectroscopie de décroissance (JINR, Russie) et la spectroscopie prompte (JYFL, Finlande). Ces travaux impliquent plusieurs chercheurs de l'IN2P3 ainsi que des étudiants en thèse. Ces équipes participent également à la conception des facilités au GANIL (S3/SIRIUS). De plus, lorsque FAIR sera disponible au GSI (Allemagne), du temps de faisceau pourra aussi être demandé à cet endroit.

1. Concernant la production de nouveaux éléments via des réactions asymétriques, les équipes de l'IN2P3 sont actuellement incontournables grâce au développement du procédé « MIVOC » pour les faisceaux de titane, vanadium et chrome. Cette expertise assure une place à ces équipes au JINR et à RIKEN lors des prochaines campagnes, visant la découverte des éléments 119 à 122 via l'utilisation de ces faisceaux sur des cibles transuraniennes (Cm, Bk, Cf). Il est à noter que le développement et la synthèse de composés originaux par ce procédé requiert une expertise en chimie, assurée jusqu'à présent par Zouhair Asfari (IPHC). Ce programme est donc clairement pluridisciplinaire. Finalement, l'implication des équipes au JINR (Russie) sera renforcée lorsque la SHE-Factory sera opérationnelle.

2. Les activités en spectroscopie de décroissance sont centrées sur l'exploitation et l'upgrade du détecteur GABRIELA installé au JINR. Grâce à ce détecteur, différentes campagnes d'analyse de la spectroscopie d'isotopes et d'isomères des éléments <sup>102</sup>No, <sup>104</sup>Rf et <sup>105</sup>Db ont été menées. A court terme, ce détecteur pourrait jouer un rôle dans l'identification de nouveaux éléments super-lourds, pourvu que ses capacités soient significativement et rapidement améliorées dans la détection des rayons X. A cette fin, un projet d'upgrade est lancé. Finalement, l'expérience des équipes impliquées a été et sera

encore mise à profit dans le développement de SIRIUS au GANIL.

3. Les activités en spectroscopie prompt permettent l'étude d'états à très courts temps de vie, et des campagnes d'études d'isotope des éléments  $^{101}\text{Md}$ ,  $^{102}\text{No}$ ,  $^{103}\text{Lr}$  ont été menées il y a quelques années en Finlande. Depuis, ces activités sont plus marginales, le dispositif expérimental atteignant ses limites. L'installation d'AGATA au JYFL permettrait de les relancer, mais ce n'est pas prévu avant la fin des années 2020.

## 5.2 Avis et recommandations

La recherche de nouveaux éléments s'attaque à l'une des questions les plus fondamentales de la physique, celle de la limite d'existence des éléments. De plus, elle est une vitrine pour la physique nucléaire, amenant une très forte visibilité et une reconnaissance du public pour ce domaine dans la société. Par leur implication sur les deux sites, RIKEN au Japon et JINR en Russie, les équipes du CSNSM et de l'IPHC permettront certainement à l'IN2P3 d'être associé à la découverte des prochains noyaux super-lourds ( $Z = 119-122$ ), indépendamment du site qui aura la primeur de l'événement. Le projet présenté est solide et cohérent, bien que plus de détails auraient pu être donnés, en particulier sur les calendriers, avec des priorités plus clairement définies et exposées.

Le conseil scientifique encourage ces équipes à renforcer leur implication au JINR (synthèse de nouveaux éléments et spectroscopie) tout en maintenant leurs activités à RIKEN, notamment pour continuer de tirer profit des efforts consentis ces dernières années sur la synthèse de composés grâce au procédé MIVOC. Ceci étant, le conseil encourage ces équipes à augmenter leur visibilité dans ces campagnes, en prenant en charge par exemple des analyses de données, définitions d'expériences clés (grandes premières). Pour atteindre cet objectif, un recentrage des activités du JYFL vers le JINR devrait se poursuivre, ainsi qu'un soutien rapide à l'upgrade de GABRIELA.

Étant donné que le détecteur SIRIUS devrait être prêt dans deux ou trois ans, le conseil incite fortement le GANIL et les équipes françaises associées à ne pas retarder la mise en route de la ligne  $S^3$  et à accélérer le développement de la source d'ions  $A/Q=7$ . Ces équipements sont indispensables à la réalisation de recherches sur les noyaux super-lourds en France, et devraient être fonctionnels au plus tard à l'horizon 2025.

## 6. Drip-Line @Riken : SAMURAI, NEBULA, EXPAND

**Questions de la direction** : Retour sur le programme expérimental à Riken (information et avis).

### 6.1 Présentation

Le projet EXPAND est consacré à l'exploration de la structure des noyaux riches en neutrons et des phénomènes associés, qui représentent un champ important de la physique nucléaire expérimentale et théorique. Cette exploration permet d'améliorer notre compréhension de l'interaction nucléon-nucléon et de sonder les limites de l'existence de noyaux au voisinage de la dripline neutron, avec des applications pour l'astrophysique et l'origine des éléments.

Le projet est scientifiquement très compétitif et s'appuie sur un ensemble d'éléments extrêmement performants : l'installation RIBF qui fournit une grande variété de faisceaux exotiques de haute intensité, la cible active à l'hydrogène liquide MINOS (qui sera complétée dans le futur par le système Straße) couplé au dispositif expérimental SAMURAI et les matrices de détecteurs de neutrons les plus avancées, NEBULA et NeuLAND.

L'équipe a mis en œuvre une stratégie payante en exploitant la matrice existante NEBULA et le démonstrateur NeuLAND pour mener un programme scientifique de qualité à RIKEN. Parmi les résultats obtenus, on peut citer la découverte de plusieurs isotopes légers riches en neutrons, offrant de riches possibilités pour tester de nouveaux modèles et approfondir la compréhension de l'interaction neutron-neutron dans la matière diluée telle que celle qui caractérise les noyaux à halo.

L'ambition du projet NEBULA-Plus est d'étendre son programme de physique, grâce à une mesure plus efficace des corrélations multi-neutrons dans les désintégrations de systèmes exotiques, qui sont produits dans des réactions induites par des faisceaux radioactifs. L'amélioration expérimentale repose sur l'ajout de modules de scintillateurs permettant d'ajouter deux couches de détection supplémentaires à NEBULA. Les porteurs du projet ont démontré leur compétence et leurs atouts pour mener à bien ce programme, comme en témoigne la liste des articles publiés à ce jour dans des revues à haut facteur d'impact.

Sur le plan financier, la collaboration s'est montrée habile pour mettre à profit de façon harmonieuse différentes sources de financement, françaises et européennes. Concernant le temps faisceau, bien que l'offre annuelle de RIKEN soit limitée, la collaboration se dit convaincue que le programme de physique est suffisamment ambitieux et porteur pour continuer à obtenir le temps nécessaire, en particulier pour permettre la recherche ardue de tétra-neutrons. Concernant les ressources humaines, le plan présenté par la collaboration semble raisonnable et correctement justifié. Le conseil note toutefois qu'elle appelle de ses vœux un meilleur soutien théorique en France.

## **6.2 Avis et recommandations**

Le conseil félicite l'équipe EXPAND pour les très bons résultats obtenus dans un contexte qui n'a pas été exempt de difficultés.

Le conseil recommande à l'IN2P3 de compléter le financement du projet à la hauteur demandée.

Le conseil encourage la collaboration à renforcer les liens avec la théorie afin d'élaborer les nouvelles observables nécessaires pour mener à bien les volets les plus ambitieux du programme de physique, notamment la mise en évidence de tétra-neutrons. Une implication théorique accrue semble cruciale pour atteindre les objectifs scientifiques de la collaboration, notamment vis-à-vis de l'enjeu consistant à obtenir du temps faisceau à RIKEN.

Le conseil encourage la collaboration à envisager une future participation à FAIR, où des études similaires pourront être menées sur de nouveaux isotopes exotiques.

Dans un contexte où l'IN2P3 considère l'implication future de chercheurs français à FAIR comme une priorité, l'équipe engagée sur EXPAND apparaît comme particulièrement apte à mener des projets majeurs à R3B. Le conseil recommande donc aux porteurs du projet de considérer FAIR comme une future opportunité et non comme une menace.

## 7. AGATA

**Questions de la direction :** La phase I de la construction du détecteur arrive à son terme en 2020. La collaboration construit son programme (livre blanc) pour motiver la construction de la phase II, un détecteur  $4\pi$  en 2030, pour un budget global de 40M€. (La France investirait typiquement de l'ordre de 8M€, dont un peu plus de 5 pour l'IN2P3 si on garde les proportions actuelles de la collaboration). Pertinence de s'investir dans ce programme ?

### 7.1 Présentation du projet AGATA

AGATA (Advanced Gamma Tracking Array) est une collaboration internationale de 40 instituts dans 12 pays européens, avec contributions majeures de l'Allemagne, la France et l'Italie, qui vise la construction d'un détecteur  $4\pi$  disposant d'un tracking gamma haute résolution pour des expériences dans le domaine de la structure nucléaire, de l'astrophysique nucléaire et des réactions nucléaires. AGATA peut être associé à des détecteurs de particules chargées (GRIT), de neutrons ou de gammas de plus haute énergie (PARIS) et équiper différentes lignes expérimentales sur des grands sites internationaux (Legnaro, GANIL, FAIR, JYFL, ISOLDE). Le détecteur dans sa configuration finale comprendra 180 cristaux de Ge ultra-purs. AGATA est un dispositif évolutif, déjà en cours d'exploitation, qui s'enrichit progressivement de nouveaux cristaux, de façon à couvrir un angle solide de plus en plus grand. Dans son récent programme à long terme, NuPECC a identifié AGATA comme un équipement majeur pour exploiter les faisceaux d'ions stables ou radioactifs et a recommandé de poursuivre la construction du détecteur jusqu'à sa phase finale.

Après la phase de démonstrateur en 2003-2008 (15 cristaux), la 1<sup>ère</sup> phase de construction correspondant à environ 1/3 du détecteur (2009-2020), régie par un MoU, est en cours d'achèvement. Cette phase a conduit à une production scientifique très significative (environ 40 articles publiés) et très variée (ex : mesures de canaux de décroissance, mesures de durée de vie,...) sur les sites de Legnaro (2009-2011), GSI (2012-2014) et actuellement au GANIL (2015-2021).

L'IN2P3 a déjà investi 2.2 M€ pour les deux premières phases (sur 15.8 M€ au total), et contribué aux coûts opérationnels à hauteur de 0.39 M€. Il a fourni environ 12 FTE en moyenne, avec des responsabilités importantes dans la collaboration et des contributions techniques variées (électronique, détecteurs, acquisition, algorithmes, outils d'analyse...). La collaboration aborde maintenant la 2<sup>ème</sup> phase de construction avec un nouveau MoU prévoyant une augmentation progressive du nombre de cristaux jusqu'en 2030. La demande de budget pour cette phase 2, en supposant une continuité dans la contribution de l'IN2P3 (61% de la part française qui représente 20% du total), est de 480 k€/an environ de 2021 à 2030 (4.7 M€ total

pour l'IN2P3 pour un budget total de 38.3 M€) et un investissement en personnel de 8 à 10 hommes.an (au moins jusqu'en 2025).

## 7.2 Avis et recommandations

AGATA est un instrument de pointe hautement prioritaire pour la communauté de physique nucléaire (mis en avant dans le rapport NuPECC) dont la réalisation partielle a déjà fourni des résultats remarquables. La collaboration est bien structurée et la France a une forte visibilité dans la structure de construction et l'utilisation du détecteur. La montée en capacité du détecteur vers  $4\pi$  présente peu de risques techniques puisque la technologie a déjà été testée et aura un fort impact sur les résultats attendus.

En résumé, La validité du projet AGATA ne fait aucun doute. Le projet est fédérateur, la collaboration est bien structurée, la France joue un rôle très important. Le conseil recommande que le projet soit financé.

Etant donné la somme demandée pour le projet, le conseil recommande que soit mis en place un « financial board » au niveau de la collaboration pour contribuer à l'élaboration d'un profil de financement réaliste en fonction du temps et à la recherche de financements extérieurs. Un plan précis d'utilisation des ressources humaines pour la construction du détecteur et pour son exploitation avec une couverture géométrique partielle devrait aussi être élaboré.

## 8. GRIT

**Questions de la direction** : Nouveau projet, MoU en construction. Pertinence du programme expérimental proposé, pertinence de s'investir dans ce programme étant donné les forces en présence et les projets nationaux.

### 8.1 Présentation du projet GRIT

GRIT (Granularité Résolution Identification Transparence) étudiera principalement les réactions nucléaires directes auprès de faisceaux d'ions radioactifs, pour sonder les noyaux loin de la vallée de stabilité. GRIT est un projet qui vise à mettre en place un nouveau détecteur en Silicium, d'acceptance proche de  $4\pi$ , hautement granulaire, qui pourra naturellement s'intégrer dans AGATA ou PARIS. Dans ce cadre, GRIT détectera les particules chargées légères en coïncidence avec les photons. GRIT est un projet unique, dans le sens où il n'existe pas d'autre projet connu de détecteurs permettant la mesure couplée de particules chargées et de gamma pour la physique nucléaire. L'identification des particules détectées sera effectuée à l'aide de la méthode PSA (pulse shape analysis) et avec un haut taux d'échantillonnage. La cible d'hélium d'Orsay et la cible d'hydrogène CHYMENE sont particulièrement adaptées aux buts de physique de GRIT.

Une étape intermédiaire du projet, MUGAST, est actuellement en opération au GANIL avec AGATA et VAMOS depuis Avril 2019. En 2022-2023, une nouvelle version de MUGAST sera implantée sur la ligne LISE en utilisant le dispositif

EXOGRAM pour la détection de  $\gamma$ . La configuration sur LISE profitera des nouveaux développements techniques (LISE QD6 et ZERO Degree Detection). Puis l'exploitation de GRIT dans sa version finale démarrera à GANIL ou SPES. La prise de données dépendra de la disponibilité des faisceaux au GANIL ou à SPES. Le projet était initialement prévu pour les faisceaux de SPIRAL2.

Les MoU du projet GRIT sont actuellement en construction, avec pour contributeurs principaux l'IN2P3, GANIL, INFN, BARC, et dans une moindre mesure Univ. Surrey, Univ. Santiago de Compostella. L'apport du GANIL est encore en discussion mais devrait être décidé cette année.

## 8.2 Avis

Les tests de l'électronique PLAS v1 ont montré des difficultés à atteindre le taux d'acquisition de 80 MHz initialement prévu. Ces problèmes ont été réglés par l'équipe de Valencia bien que l'ASIC v2 n'ait pas été envoyé en fonderie. Depuis, le développement de PLAS a été transféré au LPC Caen et la soumission est attendue pour fin 2019. Toutefois, cette électronique PLAS est aussi affectée par un rapport signal/bruit potentiellement trop bas. Les tests diront s'il y a besoin de modifications substantielles du circuit. Ces modifications potentielles semblent avoir été prises en compte de façon adéquate dans le calendrier du projet, les ressources humaines nécessaires au re-design sont prévues au LPC Caen. La charge de travail nécessaire à ces corrections doit être surveillée et évaluée attentivement pour ne pas retarder le projet, qui vise un démarrage en 2024.

Il est noté que le circuit préamplificateur TOT pourra atteindre une gamme dynamique de 40 MeV à 700 MeV, ce qui pourra être utile pour la détection de fragments chargés plus lourds.

Le conseil remarque que peu de détails sont donnés sur les senseurs épais de la deuxième couche du détecteur (un pitch de 1.5mm contre 0.8mm sur la première couche), pour la mesure de l'énergie résiduelle, et son électronique associée.

La période de prise de données de GRIT est prévue pour 2024, mais le calendrier inclut une production des senseurs jusqu'en 2025. Avec ce calendrier, au démarrage, le détecteur ne sera pas encore complet. Il ne semble pas clair, d'après le calendrier, comment sera effectuée la complétion du détecteur.

Les chercheurs impliqués dans le projet sont intéressés, en priorité, par des mesures avec des faisceaux exotiques, méthode privilégiée pour se rapprocher des frontières de la connaissance en structure nucléaire. Il est entendu que les excellentes caractéristiques de GRIT permettraient au détecteur d'être potentiellement utilisé pour étudier les réactions induites par des faisceaux stables de basse énergie, utiles à la compréhension de phénomènes d'astrophysique nucléaire.

## 8.3 Recommandations

Le projet GRIT a un programme expérimental très riche, le détecteur est innovant et la visibilité devrait être au rendez-vous. Cependant le projet SPIRAL2-Phase 2, dédié à la production de faisceaux d'ions exotiques intenses et pour lequel ce détecteur

trouverait probablement toute sa pertinence, est suspendu pour le moment. De plus, la communauté attend la décision de savoir si les faisceaux de SPIRAL2-Phase 1 et ceux du GANIL seront livrés simultanément ou non pour les expériences. Cette décision affectera significativement la disponibilité des faisceaux exotiques du GANIL et donc l'impact scientifique de GRIT. Le conseil encourage GRIT à mettre en place un planning cohérent auprès du GANIL et d'autres infrastructures.

Le conseil encourage également le GANIL à préciser sa position quant à son engagement financier et à son planning faisceau, attendu par la communauté sur ce projet.

Le conseil invite l'IN2P3 à rester vigilant sur l'avancée de la nouvelle électronique PLAS, et recommande à GRIT d'établir un planning plus détaillé.

Il est aussi recommandé que soit mis en place un « ressource board » dans la collaboration, qui semble manquer pour le moment.

## 9. PARIS

**Questions de la direction :** Nouvelle phase de la construction du détecteur. Pertinence du programme expérimental proposé, pertinence de s'investir dans ce programme étant donné les forces en présence ?

### 9.1 Présentation du projet PARIS

Le multidétecteur PARIS est dédié à l'étude de la structure nucléaire, notamment les propriétés des noyaux chauds et la dynamique des réactions qui les produisent, à travers la mesure des émissions gamma de haute énergie. Il a été conçu pour agir simultanément comme calorimètre à haute énergie, comme spectromètre de spin ou encore comme détecteur de grande efficacité avec une résolution en énergie moyenne.

Le développement de PARIS a été initié dans le cadre du projet SPIRAL2 phase2 et est basé sur un programme scientifique vaste : l'étude des résonances dipolaires géantes (GDR) à haute température et haut moment angulaire, le mélange d'isospin (isospin mixing) ou encore l'existence des états moléculaires de noyaux produits dans la capture radiative des noyaux lourds. Ce programme scientifique a été formalisé par l'écriture de 18 lettres d'intentions (LoI). Bien qu'initié dans le cadre de SPIRAL2, PARIS a été conçu dès le début pour pouvoir être déplacé facilement vers différentes installations dans le monde.

La première phase du projet a été dédiée à un programme de R&D important afin de répondre aux exigences énoncées dans les lettres d'intentions. Cette première phase de R&D a abouti au développement de clusters de 3\*3 phoswichs constitués d'une première couche de LaBr3(Ce) ou de CeBr3 (2x2x2 pouces) suivie d'une seconde couche de NaI(Tl) (2x2x6 pouces). Chaque phoswich est lu par un seul photomultiplicateur. Le signal est déconvolué au niveau de la DAQ. Le programme

de R&D a été financé en grande partie par l'ANR PROVA.

Le projet est basé sur une collaboration structurée (PARIS Steering Committee, PARIS Collaboration Council, PARIS Project Manager et PARIS Management Board). Un premier MoU a été signé en 2012 ayant pour but la construction d'un démonstrateur (PARIS-Phase2) constitué de 5 Clusters qui devait se terminer en 2015. Le projet a pris du retard à cause de problèmes de production des phoswichs par Saint-Gobain. Ce MoU doit être amendé par toutes les parties et devrait aboutir finalement à un démonstrateur constitué de 9 clusters en 2021.

Le planning pour la construction de la phase 3 (12 Clusters pour une couverture angulaire de  $2\pi$ ) et de la phase 4 (24 clusters,  $4\pi$  p) seront rediscutés au sein de la collaboration à partir de 2022.

Depuis 2012 différentes expériences ont été acceptées utilisant des clusters de PARIS :

- A GANIL couplés avec AGATA (3 expériences acceptées dont 1 réalisée)
- A ALTO couplés à Licorne (NUBALL), Corset et ORGAM (10 expériences acceptées dont 7 réalisées)
- A Cracovie (4 expériences acceptées dont 1 réalisée).

Les expériences acceptées mais non encore réalisées devraient l'être dans les prochaines années.

A plus long terme, dix lettres d'intentions ont été soumises pour l'utilisation de PARIS auprès de SPES (Italie) et d'autres campagnes expérimentales utilisant PARIS sont en cours de discussion auprès de différents accélérateurs TIFR Mumbai (Inde), JINR Dubna (Russie), HISPEC/DESPEC at FAIR-GSI (Allemagne).

## 9.2 Avis

Le développement des nouvelles installations de faisceaux radioactifs nécessite la construction d'un ensemble de nouveaux détecteurs Gamma. Comparé à AGATA, qui est un détecteur de très haute résolution pour la spectroscopie fine, PARIS est un détecteur polyvalent, granulaire, de grande efficacité pour les gammas de haute énergie et modulable. Cette modularité et la facilité de déplacement du détecteur permettent de choisir l'installation qui offre les conditions optimales pour la mise en œuvre des cas physiques pour lequel il a été développé. Cela permet également de combiner PARIS avec d'autres systèmes de détection.

La collaboration PARIS a rédigé un grand nombre de lettres d'intention pour SPIRAL2-phase2 et maintenant pour SPES, ce qui souligne l'intérêt important de la communauté pour cet équipement.

La collaboration PARIS est une collaboration internationale bien structurée où les membres de l'IN2P3 ont un rôle très actif. Les chercheurs de l'IN2P3 sont actuellement responsables de 3 groupes de travail sur 7 que compte la collaboration. A ce jour, la France a contribué à 33% du coût de construction (IN2P3 : 27 %, GANIL 6 %) et à 30 % des ressources humaines (IN2P3/Université : 23 %, GANIL 7 %).

Pour les 17 expériences ayant été acceptées et en cours de réalisation, 23 % sont portées par des physiciens de l'IN2P3 ce qui est en accord avec les ressources investies.

La demande de la collaboration, dans le cadre de l'amendement du MoU actuel, est un investissement de 200 k€ sur la période 2018-2021 pour l'achat d'un cluster. Le pourcentage de la contribution française resterait dans les chiffres actuels.

### **9.3 Recommandations**

PARIS a principalement été conçu en vue de SPIRAL2 phase2. Actuellement huit expériences sont encore à réaliser auprès de GANIL, ALTO et à Cracovie. A plus longue échéance, un nombre assez élevé de Lol ont été rédigées pour SPES et des discussions sont en cours pour installer PARIS sur différents accélérateurs dans le monde.

Dans ce cadre, le conseil recommande à la collaboration de mettre en place une stratégie concernant son programme expérimental de physique, afin de s'adapter aux nouvelles conditions de disponibilité des faisceaux. Le conseil recommande aussi de s'assurer de produire des résultats physiques au-delà de la phase de R&D afin de motiver l'implication des étudiants et des post-doctorants dans la collaboration.

Cette stratégie doit passer par une remise à jour du programme de physique prenant en compte la disponibilité des sites d'accueil et le gain d'efficacité de PARIS suivant la couverture angulaire. En particulier, les priorités sur certains cas de physique doivent être redéfinies en fonction de l'avancement de la construction du détecteur. Les expériences phares demandant un angle solide donné doivent être identifiées afin de maximiser l'impact scientifique de Paris dans ces différentes configurations. Notamment, la possibilité de couplage PARIS-FAZIA et/ou INDRA au GANIL permettrait des mesures inédites liées au processus de multifragmentation, et le conseil scientifique propose d'étudier cette possibilité.

Le conseil recommande également à la collaboration de clarifier le planning et de s'assurer d'avoir suffisamment de temps de faisceaux. Il serait souhaitable que les sites d'accueil, et en particulier ceux déjà impliqués dans le MoU, formalisent ce temps dédié aux expériences PARIS.

Le conseil a identifié, lors des discussions, deux risques importants sur le projet PARIS. Le premier, indépendant de la collaboration, est la méconnaissance du vieillissement des CeBr3 (ainsi que la consolidation du bon fonctionnement du LaBr3), le second est le retard important pris par la collaboration sur la définition et le développement d'une électronique dédiée à PARIS. Ce risque devenant rapidement critique avec l'augmentation du nombre de clusters, le conseil recommande vivement à la collaboration de tout mettre en place pour avancer sur ce sujet.

Malgré ces risques, la demande de la collaboration de passer à 9 clusters, et donc amender les MoU est en adéquation avec le programme de physique et les forces françaises impliqués dans les expériences qui sont envisagées à GANIL, ALTO et Cracovie. Le conseil donne un avis favorable à cette demande.

A plus long terme (Campagne SPES et au-delà), étant donnée la somme à investir

pour passer à 2 puis 4 $\pi$ ), le gain sur le programme de physique devra être rediscuté. La visibilité et l'implication des équipes françaises auprès de PARIS devront augmenter et être réévaluées.

## 10. Vie du conseil

### 10.1 Note sur les membres du CSI nouvellement élus

Suite à l'annonce au Bulletin Officiel du 28 février 2019, les candidatures aux sièges vacants du CSI (2 sièges au collège électoral A2, 1 siège B1 et 1 siège B2) ont été récoltées jusqu'au 5 avril. Les membres élus au conseil ont ensuite examiné les candidatures et ont procédé à l'élection des nouveaux membres suivants :

- Collège A2 : Régine Trebossen (CEA) et Patrick Janot (CERN)
- Collège B1 : Rémi Maurice (Subatech)
- Collège B2 : Claudia Nones (CEA)

Les nouveaux membres étaient présents à la séance du 26-27 Juin, à l'exception de P. Janot qui était excusé.

### 10.2 Entretien avec le président de la section 01

Raphaël Granier de Cassagnac, président de la section 01, se présente et aborde deux points, sur la politique de site et sur les concours à la section 01.

Le projet du Futur Laboratoire Unifié d'Orsay (FLUO) est abordé. Ce laboratoire représentera environ 23% du personnel de l'IN2P3, et regroupera les actuels laboratoires CSNSM, IMNC, IPNO, LAL et LPT sur la vallée d'Orsay. Ce nouveau laboratoire sera officiel au 01/01/2020, et la nomination du directeur d'unité devrait intervenir durant l'été.

Il a été demandé à la section 01 de donner un avis sur la pertinence du projet d'association du nouveau laboratoire avec le CNRS comme tutelle. L'avis rendu par la section est « favorable », mais pas « très favorable » car la visite du nouveau laboratoire n'a pas encore eu lieu. La visite du laboratoire aura lieu à la rentrée. Il n'y aura donc pas de divergence entre l'Institut et la section sur la formation du laboratoire, et le CSI ne sera pas saisi sur ce point.

Le recrutement dans la session 01 est discuté. Il y a environ 180 candidats pour 7 postes CRCN, et 80 auditions. Cette année le jury d'admissibilité aux postes CRCN a classé 7 personnes ex-aequo au-dessus de la barre, et 3 ex-aequo pour la liste complémentaire.

L'IN2P3 affiche des concours intégralement coloriés à la section 01 (c'est le concours le plus colorié parmi toutes les sections). La section 01 s'est émue plusieurs fois de ce mode de fonctionnement, car le concours est très contraint. Le coloriage est arbitré par l'IN2P3 à partir des demandes des directeurs de laboratoire.

### 10.3 Prospectives IN2P3

Les prospectives IN2P3 ont démarré, certains comités de pilotage des groupes

thématiques ont commencé à se réunir.

Le conseil scientifique de l'IN2P3 regrette que le CEA n'ait pas pu être associé au plus haut niveau dans les prospectives.

Il aurait été souhaitable que les nouveaux membres ayant rejoint le CSI en Juin puissent être rattachés à des comités de pilotage.

Il est recommandé d'intégrer plus d'organiseurs locaux des « town meetings » aux comités de pilotage des groupes de travail.

#### **10.4 Retour sur l'organisation de la séance**

Le conseil souhaiterait disposer en avance du programme de la prochaine séance du 15-16 Octobre.

Le conseil réitère son souhait d'examiner un nombre plus restreint de projets (de l'ordre de 4 au lieu de 8), car la séance du 26-27 Juin était extrêmement chargée.

Le conseil vise fin Juillet pour rendre le rapport de la séance du 26-27 Juin. Il sera assemblé à partir des rapports des groupes de travail composés des membres du CSI qui ont examiné un projet donné. Le rapport de chaque groupe de travail tiendra compte de la présentation et des documents fournis par les orateurs et les projets. Le rapport de chaque groupe contiendra une introduction et un résumé du projet (1/2 page à 1 page), puis donnera ses recommandations (1 page maximum).

Un compte-rendu à chaud a été donné à la direction pour le projet PARIS 10 jours après la séance du 26-27 Juin. Ce compte-rendu a été retravaillé et intégré dans le présent document.