

# Physique Nucléaire Fondamentale : Quelles missions ? Quelles perspectives ?



Synthèse écrite par J. Margueron (IPNL), J. Castillo (Irfu), A. Korichi (CSNSM), C. Munoz Camacho (IPNO) et D. Verney (IPNO).

## Résumé

*Les journées SFP de la division de physique nucléaire ont permis de discuter de la physique nucléaire fondamentale, des grandes questions afférentes, et du financement des très grands instruments de recherches (TGIR). Physiciens et représentants des tutelles ont discutés de ces points lors d'une table ronde. Trois représentants du ministère et de l'ANR ont enrichi les débats de leur analyse des moyens de financement de la recherche française et européenne. Ces journées ont permis de mieux comprendre l'évolution de notre domaine de recherche, de ses financements, ainsi que des grandes questions en suspens.*

Ces journées ont été initiées suite aux discussions entre collègues, principalement de jeunes collègues qui s'interrogent sur l'avenir de la physique fondamentale, et en particulier sur celui de la physique nucléaire. La multiplication des appels à projets pour de la physique appliquée tant en France qu'en Europe laisse présager d'une orientation de la recherche qui offrirait de moins en moins d'opportunités pour les investissements à long terme que nécessite la physique fondamentale. Face à ce questionnement, il nous a semblé nécessaire de mettre en relation d'une part, la communauté des physiciens nucléaires porteur de nouveaux projets ambitieux, et d'autre part, nos tutelles qui soutiennent ces projets ainsi que les représentants des agences de financement qui les sélectionnent. Nous avons donc associé à ces journées le ministère de la recherche, le CEA, l'IN2P3, ainsi que l'ANR et H2020.

Les difficultés budgétaires semblent être responsables de l'abandon de certains projets et du report d'autres au risque de voir partir l'expertise vers d'autres horizons. Ces difficultés nous invitent à questionner nos habitudes, et peut être à renouveler nos façons de penser. En effet, même s'il est fort probable que la physique nucléaire continue à accompagner le développement de nos sociétés, il est opportun de repenser la physique nucléaire fondamentale, se poser la question de ses missions, ses relations avec les autres sciences, et ses perspectives face aux évolutions du paysage de la recherche en France et en Europe.

Le noyau atomique est un laboratoire unique pour étudier comment la phénoménologie d'un système quantique complexe émerge des propriétés des interactions fondamentales. La physique nucléaire moderne étend son domaine d'investigation historique en cherchant à

comprendre comment l'interaction forte organise la matière nucléaire dans des conditions extrêmes d'isospin, de température ou de densité. Elle permet ainsi d'appréhender les diverses formes de la matière et des noyaux dans l'Univers (nucléosynthèse et processus violents) ainsi que l'évolution de la matière primordiale (le plasma de quarks et de gluons) à la matière actuelle (les hadrons).

Le programme que nous avons mis en place lors de nos journées nous a permis d'abord de discuter des grandes questions de notre domaine grâce à des interventions de physiciens, puis nous avons laissé la parole aux tutelles et aux représentants des agences de financement en France. Lors de la deuxième matinée, nous avons eu des exposés éclairant la structuration de notre communauté au niveau européen et mondial, ainsi qu'une présentation d'H2020. Par la suite, nous présentons un résumé des différentes sessions thématiques du programme.

### **Physique nucléaire de basse énergie: GANIL, SPIRAL2 et ALTO**

La physique nucléaire de basse énergie concerne l'étude des noyaux atomiques et leur comportement dans des conditions extrêmes de déformation, de spin, d'isospin et de température, dont l'immense majorité n'existe pas sur terre. Ces noyaux éloignés de la vallée de stabilité manifestent de nouvelles propriétés - noyaux à halo, peaux de neutrons, nouvelles formes - et nécessitent des instruments spécifiques pour être produits et étudiés sur des temps très courts. Le GANIL est le laboratoire national qui a ouvert la voie dans ce domaine il y a une vingtaine d'années. Jean-Charles Thomas (GANIL) nous a rappelé que des découvertes de tout premier plan y ont été faites, comme par exemple la découverte de certains noyaux à halo légers, de systèmes nucléaires furtifs et très riches en neutrons comme  ${}^7\text{H}$ , d'un nouveau mode de radioactivité par émission de deux protons, etc...

Georgi Georgiev (CSNSM), coordinateur scientifique d'ALTO, a présenté ce nouvel instrument inauguré en 2013 et qui a bénéficié du reconditionnement de l'injecteur d'électrons du LEP. Il met en œuvre une solution technologique unique au monde pour la synthèse de noyaux radioactifs par fission induite de l'uranium soumis au rayonnement de freinage des électrons. L'utilisation de cette technique lui permet d'être complémentaire à d'autres instruments comme SPIRAL2 et d'offrir un programme scientifique de haute qualité pendant plusieurs années. De plus, les nouveaux détecteurs pour SPIRAL2 peuvent y être testés.

Avec le projet SPIRAL2, le GANIL va étendre significativement ses capacités de production de faisceaux. Hervé Savajols (GANIL), responsable scientifique du projet, a présenté ce nouvel équipement qui se décompose en deux phases: la première phase, presque entièrement financée et en cours de construction, permettra d'accéder à un programme scientifique de tout premier plan mondial sur l'étude des noyaux super-lourds, la spectroscopie des noyaux déficients en neutrons, l'étude des interactions fondamentales et l'astrophysique nucléaire. Cette première phase du projet dotera également le GANIL d'une

installation très compétitive pour la recherche fondamentale et les applications à l'aide de faisceaux intenses de neutrons. La pièce maitresse de cette première phase du projet, un accélérateur linéaire supraconducteur, sera opérationnelle en 2016 avec une première expérience prévue début 2017. La deuxième phase doit permettre la production « supplémentaire » de faisceaux radioactifs qui seront soit (post-)accélérés puis transportés vers des salles d'expériences actuelles du GANIL, soit directement conduits vers l'installation DESIR (faisceaux radioactifs de basse-énergie). Ces faisceaux de hautes intensités et post-accélérés devraient permettre à SPIRAL 2 d'accéder à un leadership mondial en structure et dynamique nucléaire. En raison du contexte budgétaire très tendu des organismes, en particulier sur les TGIR, sa construction est actuellement reportée. La communauté a donc engagé une réflexion sur des alternatives susceptibles d'être financées à court terme et des améliorations du projet initial permettant à SPIRAL2 d'être toujours compétitif à l'horizon 2025. La physique liée à la phase 2 de SPIRAL2 reste donc une priorité majeure de la communauté de physique nucléaire de basse énergie.

### **Physique hadronique et QGP**

L'objectif de la physique hadronique est de comprendre les propriétés fondamentales de l'interaction forte, émergeant de la théorie QCD, et de la phénoménologie associée, comme par exemple la formation des mésons et des baryons. L'interaction forte, bien formalisée théoriquement, présente toute sa complexité à basse énergie dans un régime dit non-perturbatif. Etudier la structure interne des hadrons avec une sonde électromagnétique est une méthode expérimentale privilégiée, comme l'a montré Fabienne Kunne (Irfu/SPhN). Elle implique une grande partie de la communauté française sur deux sites expérimentaux: l'expérience COMPASS au CERN et Jefferson Lab (JLab) aux Etats-Unis. A plus haute énergie, et à travers des collisions d'ions lourds ultra-relativistes, Yves Schutz (SUBATECH) a décrit le nouvel état de la matière prédit par la QCD, le plasma de quarks et de gluons. L'étude de ses propriétés fait l'objet de l'expérience ALICE au CERN, avec une forte contribution française.

A plus long terme, un nouveau collisionneur électron-ion (EIC) serait la machine la plus adaptée pour accéder à une physique encore mal connue où les interactions sont dominées par les gluons. Franck Sabatié (Irfu/SPhN) propose que cette nouvelle machine, qui démarrerait aux Etats-Unis à l'horizon 2025, rassemble les équipes françaises travaillant en ce moment à COMPASS et à JLab. D'autres projets ont cependant aussi été évoqués pendant les discussions, comme par exemple PANDA à FAIR et le projet AFTER de cible fixe au LHC. De nombreuses voies existent donc pour l'avenir.

### **Discussions avec les tutelles, le ministère et l'ANR**

La physique nucléaire, la physique du complexe et des processus nucléaires du cosmos, bénéficie d'un très grand potentiel de découvertes et tous les pays industrialisés investissent dans ce domaine. Au niveau national, les différentes thématiques de recherches ont été

décrites, et les moyens humains et financiers qui leur sont attribués ont été présentés par Dominique Guillemaud-Mueller (IN2P3) et Patricia Roussel-Chomaz (CEA/DSM). Le rôle du ministère dans l'élaboration de sa stratégie scientifique pour les très grands instruments de recherche (TGIR) a été présenté par Christian Chardonnet (MENESR). Il en ressort que les communautés liées à physique du plasma de quarks et de gluons et à la physique hadronique sont bien structurées, et que les finances de ces thématiques ne présentent pas de problèmes insurmontables dans un avenir proche. Cependant, dans les prochaines années un positionnement clair de la France sur les différents projets (EIC, PANDA et AFTER) sera nécessaire pour permettre une implication française de premier plan.

La physique de basse énergie avec le projet SPIRAL2, est en revanche en face de très préoccupantes voire graves difficultés. En effet, si le projet SPIRAL2 est encore considéré comme la priorité nationale au sein des tutelles, le financement de sa deuxième phase fait défaut et son avenir a été largement discuté pendant la table ronde. Dans ce contexte incertain, la participation de partenaires européens et internationaux au financement du projet pourrait contribuer à emporter la décision.

Nous avons aussi discuté avec Patrick Monfray (ANR) du rôle de l'ANR dans le financement de la recherche. Le problème principal réside dans le nombre très faible de projets retenus, environ 1/3 de pré-projets, environ 1/4 en sélection finale, ce qui fait environ 1/12 à l'arrivée. Ce taux est paradoxalement plus faible que celui des ERC au niveau européen. Il résulte d'une forte réduction du budget de l'ANR, 0,5 milliards cette année alors qu'il était prévu initialement de croître jusqu'à 1,5 milliard, et d'une croissance depuis une décennie du nombre des projets soumis. Tous les "défis" de l'ANR sont affectés de la même façon, et on peut déjà faire le constat d'un énorme gâchis pour l'ensemble de la communauté quant au temps de travail qui n'a pas été consacré à notre cœur de métier. L'encouragement à déposer le plus grand nombre de demandes de financement pour accroître statistiquement le nombre de projets retenus illustre une fuite en avant qui ne sert pas les intérêts de la recherche.

### **Les autres projets européens et internationaux, ENSAR2, EURISOL-DF et HPH**

La communauté française est fortement impliquée sur d'autres installations européennes et internationales comme ISOLDE (CERN), RIKEN (Japon) et TRIUMF (Canada). Selon Yorick Blumenfeld (IPNO), cette implication internationale est guidée par l'émergence de nouvelles installations qui sont dans certains domaines de recherches plus performantes que celles dont nous disposons en France. Elle ne remet pas en cause les machines nationales, d'ailleurs exploitées par de nombreux chercheurs étrangers. La contribution française à la recherche internationale s'accompagne aussi d'investissements instrumentaux : le dispositif MINOS construit au CEA/Saclay, financé par une bourse ERC, est installé au RIKEN en est un exemple, ou encore la contribution à l'augmentation de l'acceptance du détecteur NEBULA via l'ANR EXPAND (LPC, IPNO, SPhN). Dans la période actuelle, cette

contribution à l'international a tendance à augmenter du fait du report de la Phase 2 de SPIRAL2 et de la réduction du nombre d'heures de faisceaux disponible au GANIL.

Au niveau européen, Marek Lewitowicz (Directeur adjoint du GANIL) a présenté l'activité intégrée ENSAR2 qui fait suite à EURONS (FP6), ENSAR (FP7), et est financé dans le cadre de H2020 à hauteur de 10 M€. Un des objectifs principaux est l'accès aux infrastructures en organisant la communauté des utilisateurs autour des 10 sites retenus comme Trans National Access (TNA) facilities. En synergie avec ENSAR2 le projet EURISOL-DF (DF pour « distributed facility ») consiste à rassembler plusieurs installations européennes au sein d'une coordination unique ainsi qu'à définir la machine ISOL de génération ultime en Europe. Ce projet rassemble déjà SPIRAL2/GANIL, ISOLDE/CERN, HIE-ISOLDE/CERN, SPES/INFN, BEC-Belgique et COPIN Pologne.

Le projet HPH est l'analogue d'ENSAR2 pour la physique hadronique. Il n'a pas été retenu lors du dernier appel H2020, mais est autorisé à répondre au nouvel appel en cours. Barbara Erasmus (SUBATECH) a présenté les modifications envisagées, qui portent principalement sur la cohérence globale du projet et envisage, par exemple, une réduction de la part prise par l'installation FAIR dont le retard affaiblirait le projet. Le nouveau projet pourrait aussi s'ouvrir d'avantage sur le LHC et JLab. Par ailleurs, il semble envisageable de considérer JLab comme TNA. Enfin, le rôle de la France dans le projet HPH doit être renforcé au niveau des projets proposés.

## **NuPECC et H2020**

NuPECC existe en Europe depuis plus de 25 ans. Sa mission consiste à suivre l'évolution de la physique nucléaire en Europe, à favoriser la synergie entre installations de recherche et à émettre des recommandations quant à la structuration de la recherche en physique nucléaire sur le long terme. Quelques critiques ont émergé durant ces journées quand à la capacité de NuPECC à effectuer des choix stratégiques en Europe, comme NSAC aux Etats-Unis. Selon Nicolas Alamanos (Irfu) cette demande ne correspond pas à la mission de NuPECC. Le problème viendrait plutôt de la multiplication des agences de financement en Europe qui brouille la capacité de construire des projets cohérents, quand il n'en existe essentiellement que deux aux Etats-Unis. Par ailleurs, il a été annoncé que NuPECC élaborera en 2016 un nouveau rapport de prospectives à long terme, établi tous les 5 ans.

Jean-Pierre Caminade (MENESR) nous a rappelé que l'Europe se mobilise depuis les années 80 pour l'accès aux infrastructures de recherche (IR). Ces infrastructures contribuent à l'excellence scientifique européenne et l'Europe veille, au fur et à mesure de ses programmes cadres, à l'augmentation du nombre d'utilisateurs des IR. Décidée en 2002, la feuille de route ESFRI des IR européennes pour le 21<sup>ème</sup> siècle illustre la stratégie des gouvernements européens en matière de grandes infrastructures. Sur 48 projets initialement identifiés, 29 ont été réalisés, 15 sont en cours de construction, 4 ont été abandonnés et 6 nouveaux projets vont bientôt rejoindre la liste. SPIRAL2, FAIR et ELI en ont fait partie dès la première édition de la liste en 2006. L'inscription à l'ESFRI n'implique aucun financement

direct ou récurrent, mais il existe, avec H2020, des appels pour accompagner l'élaboration des projets à divers stades (appels INFRADEV). En outre, nous assistons actuellement à une explosion des e-infrastructures (réseaux, grilles, centres de données, clouds scientifiques, etc...), ce qui pourrait aussi intéresser notre communauté (appel E-INFRA). Le programme H2020 cherche à répondre aux questions portant sur le retour sur investissement des IR ainsi que sur leur insertion dans une société de la connaissance à logique marchande (appels INFRASUPP et INFRAINNOV). La coopération internationale s'inscrit aussi dans le cadre des appels INFRASUPP qui ont ciblé la préparation de grands projets internationaux. Enfin, H2020 cherche aussi à proposer des solutions pour pérenniser les ressources des IR. Ces nouveaux outils appellent aussi à la création de nouveaux emplois dans la recherche pour pouvoir évaluer l'impact socio-économique des IR, chercher de nouveaux vecteurs de financement, proposer des régimes d'exploitations adaptées, assurer la qualité des services rendus par l'IR, défendre la propriété intellectuelle, développer la valorisation, etc... Le besoin de ces nouvelles compétences implique une gestion dynamique de la mobilité à travers la formation et la reconversion interne, la mobilité inter-installation, ou encore les échanges entre pays.

Enfin, la table ronde animée par Navin Alahari (GANIL) et Michel Garçon (Irfu/SPhN) a donné lieu à des échanges plus approfondis sur nombre de points soulevés ci-dessus.

En conclusion, ces journées ont permis d'alimenter les réflexions de la communauté sur l'évolution de notre discipline et sa structuration autour des TGIR. Elles ont permis une meilleure compréhension des enjeux et des défis qui nous attendent. L'Europe joue un rôle primordial dans l'émergence et la structuration des communautés et de leurs besoins. Elle cherche aussi à rapprocher la science de l'industrie à travers des programmes innovants. Au niveau national, la France investie dans des projets comme SPIRAL2 et semble réclamer d'ailleurs une plus grande implication de nos partenaires Européens et internationaux. Au sujet du financement de projets de type ANR, il faudrait réussir à remonter de taux de sélection qui est tombé extraordinairement bas. Enfin, de façon plus générale, il a été évoqué lors de nos journées qu'un grand projet européen structurant toute la physique nucléaire (basse et haute énergie) pourrait voir le jour à l'avenir. Nos journées ont montré la richesse et la cohésion de notre communauté, ce qui est en soit une preuve de sa grande vitalité et de ses perspectives très nombreuses.

Ces journées en appellent d'autres, et nous avons conclu sur la nécessité d'aborder dans un avenir proche les grandes questions de notre discipline. Cela sera fait en associant expérimentateurs et théoriciens, avec l'intention de contribuer à une meilleure valorisation et éventuellement, à une présentation renouvelée de nos grandes questions. La SFP continuera donc à jouer son rôle d'accompagnement des réflexions des chercheurs sur l'exercice et le sujet de leur métier.

L'ensemble des exposés est disponible sur le site de la sfp : <https://www.sfpnet.fr/physique-nucleaire-fondamentale-queles-missions-queles-perspectives>