

PHYSIQUE NUCLÉAIRE ET CORPUSCULAIRE IN2P3

LETTRES DES DÉPARTEMENTS SCIENTIFIQUES DU CNRS

n° SPÉCIAL
mai 2002

PLAN D'ACTION 2002-2005



CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Sommaire

■ Introduction	3
■ Contexte scientifique	5
■ Physique des particules	7
■ Astroparticules, neutrinos et cosmologie	9
■ Physique du noyau et des hadrons	11
■ Au service des demandes de la société et d'objectifs pluridisciplinaires	13
■ Partenariat avec les universités et les autres organismes	16
■ Compétences techniques, accélérateurs du futur et transferts de technologie	17
■ Ressources humaines	19
■ Dimension européenne	20
■ Résumé des projets scientifiques	21
■ Sigles	22

Légendes des photos de couverture :

- *Un des 32 modules du calorimètre électromagnétique d'Atlas, une des quatre expériences auprès du LHC. © CNRS/IN2P3*
- *Casemate de production des noyaux exotiques de Spiral, le système de production et d'accélération des ions exotiques de Ganil. © Ganil, M. Desaunay*
- *Une des stations détectrices (cuves Cherenkov) du réseau de l'observatoire Auger de détection des rayons cosmiques d'énergies extrêmes. © Fermilab*

Introduction

Ce plan d'action est destiné à présenter les priorités de l'IN2P3 pour les années 2002-2005.

Sur le plan de l'activité scientifique, celles-ci sont au nombre de quatre :

- *La préparation des expériences auprès du LHC, le futur grand collisionneur de protons du Cern (bosons de Higgs, supersymétrie, recherche de dimensions supplémentaires, violation de CP et plasma de quarks et de gluons) et l'exploitation des expériences en cours sur ces thèmes*
- *La poursuite des activités en astroparticules, frontière de la physique des particules et de l'astrophysique, et notamment de l'ouverture vers le spatial*
- *L'exploitation du système de production et d'accélération de noyaux exotiques Spiral I au Ganil pour l'exploration des noyaux dans des conditions extrêmes loin de la stabilité et son extension à Spiral II en vue d'améliorer les intensités et d'élargir la gamme des masses des faisceaux disponibles*
- *Les études sur l'aval du cycle électronucléaire, pour répondre aux objectifs fixés par la Loi Bataille*

Nous serons particulièrement attentifs aux développements du projet de grille de calcul dans sa dimension indispensable à l'analyse des données LHC et dans ses perspectives scientifiques et industrielles. Dans le cadre de la priorité scientifique accordée à la biologie, le développement de l'interface physique-biologie sera encouragé, en particulier pour ce qui concerne l'imagerie du petit animal. Enfin, nous soutiendrons la R&D accélérateur coordonnée sur une base européenne, des progrès étant en effet nécessaires pour le futur de nos activités et de beaucoup d'autres au CNRS.

À la fin de la période couverte par ce plan, un certain nombre de projets pourraient / devraient arriver à maturité comme la participation à une expérience auprès d'un collisionneur d'électrons, l'amélioration de Virgo, l'extension d'Antares et la réalisation d'une troisième phase européenne de Spiral, appelée aujourd'hui Eurisol.

Une des forces de l'IN2P3 repose sur sa capacité technologique. Pour la maintenir, il faudra cependant s'adapter à l'évolution rapide des métiers, aux difficultés rencontrées sur le marché du travail et à l'évolution des effectifs.

Notre partenariat avec les différentes tutelles de nos unités sera renforcé en particulier à travers une politique de contrats d'objectifs. Les relations excellentes que nous entretenons avec la DSM du CEA seront poursuivies. Aux frontières de notre discipline, nos activités pluridisciplinaires seront renforcées. Enfin, l'intégration européenne de nos activités sera accentuée.

Intégré dans la stratégie globale du CNRS, ce plan d'action résulte du débat interne qui se déroule en permanence entre les chercheurs, les laboratoires et la direction, notamment au sein des instances scientifiques de l'Institut. La qualité et l'engagement du personnel de l'IN2P3 compteront pour une grande part dans sa réalisation.

Jean-Jacques AUBERT

Contexte scientifique

La physique subatomique s'intéresse aux constituants les plus élémentaires de la matière (les quarks et les leptons), aux forces qui régissent les interactions fondamentales et à l'assemblage des constituants élémentaires en hadrons, nucléons ou noyaux. L'ensemble de ces connaissances est ensuite confronté à ce que l'on connaît de la formation et de l'évolution de l'Univers.

Le modèle standard en physique des particules a permis d'organiser le foisonnement des informations acquises au cours des dernières années et ainsi de donner une description cohérente de la très grande majorité des résultats actuels.

L'asymétrie matière / antimatière observée dans l'Univers pourrait être expliquée par la violation de CP observée depuis longtemps en physique des particules mais dont la compréhension devrait venir de l'observation de cette violation dans la désintégration du méson beau.

Le phénomène de Higgs, qui explique l'origine de la masse, vient d'être mis en évidence de façon indirecte avec le collisionneur LEP au Cern. Le ou les bosons de Higgs ne devraient pas échapper au LHC, ni sous certaines conditions favorables au collisionneur américain Tevatron qui n'explore cependant qu'une petite gamme de masse.

L'existence d'un monde supersymétrique est un ingrédient probablement indispensable à la compréhension de la hiérarchie des forces. Là encore, le LHC mais aussi les recherches en astroparticules sur la nature de la matière noire et de l'énergie noire dans l'Univers, qui sont complémentaires des recherches au LHC sur la supersymétrie et sur les propriétés du vide quantique, pourraient révéler ce monde complètement inconnu.

Pour inclure la gravitation dans le monde quantique et unifier les quatre forces connues, une solution élégante est proposée qui fait appel à des supercordes, à des membranes et à une nouvelle théorie faisant intervenir des espaces à au moins onze dimensions. Une nouvelle phénoménologie est ainsi en train d'apparaître. La recherche des manifestations possibles de ces théories a commencé : les événements qui seront produits au LHC dans un futur proche, l'étude des phénomènes violents dans l'Univers et les contraintes imposées par les observations cosmologiques devraient permettre de mieux comprendre ce nouvel enjeu scientifique.

L'observation récente de l'existence d'une masse pour le neutrino est une des premières indications de phénomènes au-delà du modèle standard. La compréhension de cette masse et des couplages associés constitue un vaste chantier d'étude pour les prochaines années. L'Univers est de plus en plus utilisé en physique subatomique. C'est en effet un laboratoire qui peut fournir des énergies extrêmes. C'est aussi un observatoire qui doit pouvoir être décrit en cohérence avec les constituants élémentaires et leurs interactions. De nouvelles fenêtres d'observation de l'Univers ont été ouvertes ou vont être ouvertes avec les rayonnements cosmiques de très haute énergie (photons, hadrons, neutrinos) et les ondes gravitationnelles.

En ce qui concerne la compréhension du noyau, on est passé de l'étude de la matière stable ou proche de la région d'équilibre à l'étude de la matière dans des conditions extrêmes.

Le plasma de quarks et de gluons, état de la matière lors des premiers instants de l'Univers, est étudié dans les collisions d'ions lourds ultra-relativistes, des énergies actuellement disponibles à celles du futur collisionneur LHC. Les premières indications ont été obtenues au SPS du Cern. Elles se poursuivront à Rhic, puis auprès du LHC où les phénomènes pourront être observés événement par événement.

La physique du noyau cherche aujourd'hui à comprendre comment se sont formés les éléments dans l'Univers à travers les divers processus de nucléosynthèse, quelles sont les limites de la stabilité de la matière nucléaire, comment se comporte celle-ci dans des états extrêmes d'isospin, et quels sont les éléments liés les plus lourds. Pour cela, des faisceaux de noyaux fortement exotiques doivent être utilisés. Spiral à Ganil est un outil bien adapté à cette recherche frontière, mais pour rester compétitif, il devra être amélioré par étapes quant à l'intensité et à la diversité des faisceaux qu'il délivre. Spiral II, en cours d'étude, devrait permettre d'atteindre cet objectif. À la fin de la décennie, une troisième étape plus ambitieuse devra être franchie à l'échelle européenne.

Des études menées principalement à Cebaf (États-Unis) (accélérateur d'électrons) et à Desy (Allemagne) (collisionneur électron-proton) permettent d'affiner la compréhension de la structure interne du nucléon et de participer à la compréhension du confinement des quarks.

PLAN D'ACTION

Le programme électronucléaire français engendre des déchets dont la gestion est un enjeu important de société. L'IN2P3 a fait de ces études, qui entrent dans le cadre de la loi de 1991 sur l'aval du cycle électronucléaire, un axe majeur de recherche en collaboration avec les autres départements du CNRS, avec le CEA et de nombreux autres partenaires français et européens. Le programme Pace, qui vise à étudier des méthodes innovantes dans les domaines de la transmutation et du stockage, va se poursuivre ainsi que la recherche de nouvelles filières pour les réacteurs du futur.

Pour permettre la réalisation des expériences de physique subatomique, de nombreux outils ont été et sont développés. Nombre d'entre eux ont été utilisés dans d'autres domaines et continueront à l'être, comme en physique de la matière condensée, en physique des agrégats, dans l'étude et l'utilisation des traceurs. Un effort spécifique se développe pour apporter notre expertise à la mesure des faibles radioactivités et transférer nos développements en microélectronique analogique dans le tissu industriel. Quant aux applications de l'instrumentation dans le domaine de la biologie, elles seront soutenues et coordonnées avec les Sciences de la Vie, pour l'imagerie du petit animal, l'étude de l'effet des faibles doses de radiation et l'étude d'agrégats biologiques. L'IN2P3 apportera aussi son soutien aux projets d'hadronthérapie.

L'avenir de la physique subatomique repose sur des développements instrumentaux, aussi bien au niveau des détecteurs qu'au niveau des accélérateurs dont les performances devront s'accroître à un coût à peu près constant. Nous devons amplifier nos efforts, au sein des collaborations européennes, sur la recherche et le développement en techniques d'accélération pour un large spectre de machines : étude européenne pour un futur accélérateur d'isotopes rares Eurisol, accélérateurs linéaires d'électrons (Tesla, NLC et Clic), accélérateurs de protons à fort courant, nouveaux faisceaux de neutrons et aimants à très grand champ.

L'arrivée des expériences LHC, lesquelles nécessiteront de traiter de très grands flux d'informations, impose le développement de nouveaux outils adaptés à des moyens informatiques (base de données et moyens de calcul) répartis. L'IN2P3 s'est engagé à travers le CNRS dans le développement d'une grille de calcul et de ses potentialités d'application à de nombreux domaines.

L'IN2P3 s'est investi dans des projets qui, pour satisfaire les besoins scientifiques, nécessitent de gros efforts coordonnés. La nécessaire liberté intellectuelle de chaque chercheur trouve sa pleine expression lors de la création d'idées nouvelles, qu'elles soient conceptuelles, expérimentales ou d'analyse des données. Dans les grandes collaborations, paradoxalement, les jeunes scientifiques ont une réelle possibilité d'émerger et d'acquiescer une reconnaissance internationale. Nous soutenons et soutiendrons ces possibilités d'épanouissement pour les plus jeunes, en particulier à travers un appel d'offre ouvert.

L'IN2P3 s'appuie sur des unités mixtes de recherche, ses partenaires étant majoritairement les universités et les écoles d'ingénieurs. La participation au développement de l'université devra être développée et des contrats d'objectifs seront progressivement mis en place entre chaque laboratoire et leurs tutelles. La physique subatomique française a une composante CEA forte. La collaboration actuelle, qui existe à tous les niveaux, doit continuer ; toutes les opportunités pour l'améliorer seront recherchées.

Enfin, une longue tradition de collaboration et de coordination européenne, qui concerne l'ensemble de nos activités, existe à l'IN2P3. La physique subatomique bénéficie ainsi de la synergie des cultures des participants à un même projet. Quant à l'Europe, elle possède la bonne dimension pour les enjeux scientifiques de demain. Les outils de coordination existent déjà dans nos domaines : Cern, ECFA, NuPECC, ApPEC. Nous devons cependant faire fonctionner ApPEC qui vient d'être créé et resserrer les liens de NuPECC avec les organismes de recherche qui, in fine, prennent les décisions.

Physique des particules

En physique des particules, le plan d'action 2002-2005 s'articule autour de deux priorités scientifiques :

- La préparation à la découverte et à la mesure des propriétés du boson de Higgs et la recherche de nouvelles particules
- La compréhension du mécanisme de violation de la symétrie matière / antimatière (violation de CP)

Les expériences au LHC, futur collisionneur du Cern, permettront d'apporter des réponses décisives à ces interrogations fondamentales. Elles constituent donc l'axe de travail prioritaire de l'Institut. Les deux autres axes privilégiés sont l'exploitation des expériences en cours et la préparation de la génération d'expériences qui viendra renforcer et compléter celles auprès du LHC.

L'exploitation des expériences en cours

Il existe un fort potentiel de découverte dans deux domaines prioritaires :

- La chasse au boson de Higgs et la recherche de nouvelles particules avec l'analyse détaillée des dernières données du LEP, où une première indication d'un signal de boson de Higgs semble avoir été observée, et le démarrage des expériences D0 et H1 auprès des collisionneurs Tevatron (Chicago) et Desy (Hambourg) dans leur phase à haute luminosité.
- La mesure de la violation de CP et la recherche de l'origine de l'asymétrie matière / antimatière avec les résultats définitifs de l'expérience NA48 au Cern et surtout ceux de l'expérience Babar auprès de l'accélérateur PEP-II de Stanford.

La préparation de la prochaine vague d'expériences auprès du LHC

Même si les expériences auprès du Tévatron ont un réel pouvoir de découverte dans une fenêtre limitée en énergie, c'est auprès du collisionneur LHC du Cern, d'une énergie et d'une luminosité nettement supérieures, qu'il appartiendra de découvrir et d'établir les propriétés du boson de Higgs ainsi que l'existence éventuelle de particules supplémentaires dites supersymétriques prédites par de nombreux modèles : le boson de Higgs, qui permet aux particules élémentaires d'acquiescer une masse, est la clé de voûte du modèle standard et les particules supersymétriques sont les partenaires des particules usuelles dans une théorie où des degrés de symétrie supplémentaires permettent d'envisager l'unification des interactions fondamentales. Cette structure révolutionnaire d'un Univers ayant un certain nombre de dimensions supplémentaires pourrait donc s'observer au LHC.

Le LHC entrera en service en 2007 et l'Institut est très fortement impliqué dans la construction de détecteurs qui exploiteront le formidable potentiel de ce nouvel outil. Il s'agit de détecteurs très complexes au calendrier de construction très tendu. La période 2002-2005 correspond précisément à la période de construction massive des éléments de ces détecteurs et à l'installation de ces nouvelles expériences (Alice, Atlas, CMS, LHCb). Après une période de rodage délicate en 1999-2000, on assiste maintenant au démarrage régulier de l'activité de production, avec un taux de fabrication compris entre 20 % et 40 % selon les cas. La réalisation des détecteurs du LHC constitue la plus forte priorité de l'ensemble des programmes de l'Institut qui y affecte une proportion considérable de ses moyens humains et financiers. L'objectif étant d'établir de façon stable un rythme soutenu de production et d'assemblage, un potentiel technique important et bien rôdé sera nécessaire. Il sera donc essentiel de pouvoir notamment remplacer rapidement tous les départs d'ingénieurs et de techniciens jouant un rôle clé pendant cette phase. Ceci est d'autant plus important que l'attractivité du secteur privé dans certains secteurs critiques comme la microélectronique et l'informatique a considérablement augmenté.

PLAN D'ACTION

En outre, les données engendrées par les expériences LHC nécessitent un changement d'échelle dans les techniques et moyens mis en jeu pour les traiter. Des efforts importants devront donc continuer à être mobilisés pour la réalisation de développements en informatique.

La réflexion à plus long terme

Étant donné le très long laps de temps nécessaire entre la définition d'un nouvel outil de recherche d'une taille comparable à celle du LHC et sa mise en service (13 ans dans le cas du LEP, 20 ans dans celui du LHC), les réflexions sur le futur au-delà du LHC doivent commencer dès maintenant. Cet au-delà s'articule autour de deux axes : le développement de nouveaux outils pour mieux explorer les propriétés des objets qui seront découverts au LHC, et en particulier le boson de Higgs, et l'exploration du domaine d'énergie au-delà du LHC.

UN COLLISIONNEUR À ÉLECTRONS POUR L'ÉTUDE DÉTAILLÉE DES PARTICULES MISES EN ÉVIDENCE AU LHC ?

Les modèles théoriques actuels, soutenus par les mesures de haute précision effectuées au LEP, permettent de prédire avec beaucoup de confiance la mise en évidence du boson de Higgs auprès du LHC, qui, si elle a lieu, constituera un succès immense. Toutefois, nous savons déjà que certaines des propriétés du boson de Higgs ne pourront être mesurées avec toute la précision voulue. Il convient donc de s'interroger sur l'intérêt d'une nouvelle machine capable d'effectuer cette étude très fine.

L'Institut a déjà démarré cette réflexion à l'occasion de ses journées de prospective. Il ressort que, quoi qu'il en soit des améliorations potentielles du collisionneur LHC (en énergie ou luminosité), seul un collisionneur $e+e-$ d'environ 500 GeV dans le centre de masse permettra d'atteindre la précision souhaitée. La communauté internationale (Europe, États-Unis, Japon) s'est déjà prononcée en ce sens dans trois rapports indépendants. Plusieurs projets de telles machines existent en Allemagne, aux États-Unis et au Japon et c'est au cours de la période considérée que la situation devra se décanter. Leur coût apparaît aujourd'hui très élevé (4 à 5 GEuros) mais il devra être réparti au niveau mondial ce qui devrait permettre de dégager à terme une certaine marge pour d'autres initiatives telles que celles dé-

crites ci-dessous. Si l'on fait l'hypothèse de l'approbation en 2004-2005 de l'un de ces projets, une collaboration internationale sera alors formée pour construire le détecteur. Des équipes françaises participeront sûrement à cette réalisation, et d'ici 2005 la réflexion sur l'appareillage et la R&D nécessaire seront soutenues. L'expertise accumulée en technique d'accélération pourrait aussi être valorisée.

COMMENT EXPLORER LE DOMAINE D'ÉNERGIE AU-DELÀ DU LHC ?

Il n'existe pas encore de prédictions théoriques précises sur ce que l'on pourrait observer dans ce domaine. Il est clair toutefois que même si la supersymétrie ou si des dimensions supplémentaires à notre Univers devaient exister, l'ensemble des manifestations de ces bouleversements fondamentaux ne sera pas visible au LHC, bien que celui-ci suffise très vraisemblablement à en établir l'existence. Il apparaît donc qu'il sera indispensable de se laisser guider par les résultats du LHC pour mieux définir les paramètres d'une prochaine machine exploratoire. Techniquement, celle-ci pourrait prendre la forme soit d'un super LHC, soit d'un collisionneur linéaire $e+e-$ de quelques TeV ou d'un collisionneur circulaire $\mu+\mu-$ de la même gamme d'énergie. Ces trois options, qui soulèvent toutes les trois des défis technologiques majeurs, font déjà l'objet de R&D dans le monde. Mais de cinq à dix ans seront encore nécessaires pour aboutir à une preuve de faisabilité suffisamment forte. Même si un tel projet ne pouvait donc voir le jour qu'aux environs de 2020, il convient d'ores et déjà d'y réfléchir et de s'y préparer, tant au niveau de la physique que de la R&D sur la machine. L'Institut participe déjà à la R&D menée au Cern sur le projet Clic, collisionneur $e+e-$ de plusieurs TeV basé sur un principe nouveau d'accélération, et sur un accélérateur de protons à fort courant, première étape d'un collisionneur à muons.

Ces réflexions doivent être menées bien sûr au niveau national, européen et mondial avec pour objectif central la mise en place d'une stratégie permettant d'optimiser le potentiel de découverte des différentes régions du monde au cours des vingt prochaines années. Il faudra accentuer les efforts de R&D pour relever les défis technologiques et abaisser les coûts des différents projets. Durant la période considérée, il conviendra également de maintenir un spectre suffisamment large à cette R&D pour pouvoir faire les meilleurs choix, lesquels seront dictés, in fine, par les résultats du LHC.

Astroparticules, neutrinos et cosmologie

Depuis plusieurs années, une thématique scientifique nouvelle se développe à l'interface de la physique des particules et des noyaux et de l'astrophysique et la cosmologie. Elle a pris le nom d'astroparticules. Elle utilise bien souvent des développements instrumentaux et des méthodes dont beaucoup sont issus de dispositifs utilisés auprès des accélérateurs. C'est un domaine prioritaire qui a crû très fortement au cours des dernières années et qui associe des équipes de l'IN2P3, du Dapnia/CEA, de l'INSU et des théoriciens de SPM ou du SPhT/CEA.

Cette thématique pose les questions suivantes :

- Quelle est la nature de la matière noire et de l'énergie noire dans l'Univers ?
- Quelle est l'origine des rayons cosmiques, quels en sont les mécanismes d'accélération et comment interagissent-ils dans la haute atmosphère ?
- Quelles sont les sources dans le ciel qui émettent des neutrinos ou des ondes gravitationnelles ?
- Quelles sont les propriétés des neutrinos et quelles en sont les implications en cosmologie et pour l'évolution stellaire ?

Cosmologie théorique et observationnelle

La cosmologie s'appuie sur les théories des particules et sur les observations des distributions spatiales et temporelles des constituants de l'Univers à grande échelle : galaxies, amas de galaxies, quasars, matière noire, fond diffus cosmologique, supernovæ lointaines... Toute percée en physique des particules a donc des implications en cosmologie. En retour, les résultats expérimentaux apportent des limites plus précises aux modèles cosmologiques et à leurs paramètres, ce qui a des conséquences sur la physique subatomique. Les recherches directes (comme Edelweiss et Eros) ou indirectes (comme l'étude du rayonnement fossile, Archeops et Planck, et l'étude des supernovæ lointaines, programmes SCP, SNIFS et dans un avenir plus lointain SNAP) sur la nature de la matière et de l'énergie noires dans l'Univers seront au centre de cette problématique.

Phénomènes à haute énergie dans l'Univers

LES RAYONS COSMIQUES DE HAUTE ÉNERGIE

Il existe dans l'Univers des objets dans lesquels règnent des conditions extrêmes, bien au-delà de ce qui est accessible en laboratoire. Ils émettent des rayonnements de haute énergie et contribuent à l'accélération des particules. Comprendre la nature de ces objets et ces mécanismes d'accélération est donc d'un grand intérêt à la fois pour les physiciens et les astrophysiciens. Leur observation repose en partie sur des techniques issues de la physique des particules et sur des techniques spatiales : AMS sur la station spatiale, Auger en Argentine et peut-être bientôt Euso à nouveau sur la station spatiale étudieront les rayons cosmiques jusqu'aux énergies les plus extrêmes. L'exploration de rayons cosmiques de la plus haute énergie, dont on ne comprend pas encore l'existence aujourd'hui, sera prioritaire dans ce domaine.

DE NOUVELLES FENETRES SUR L'UNIVERS

Les rayons gamma de haute énergie (Hess en Namibie, Glast en satellite), les ondes gravitationnelles (Virgo) et les neutrinos (Antares dans la mer Méditerranée) sont les nouveaux messagers de l'Univers qui permettront de découvrir et d'étudier des phénomènes cosmiques parmi les plus violents. En fonction des résultats obtenus, on envisagera à l'horizon 2010 un détecteur d'ondes gravitationnelles plus sensible et un détecteur type Antares d'un volume plus grand, voisin du kilomètre cube. La réalisation d'une cartographie des phénomènes violents dans l'Univers avec ces nouveaux messagers est un objectif prioritaire.

L'étude des neutrinos

À ce jour, les neutrinos restent des particules dont toutes les propriétés n'ont pas encore été révélées. Toute avancée dans la connaissance de ces propriétés aura des conséquences fondamentales non seulement pour la

PLAN D'ACTION

physique des particules, mais aussi pour la compréhension de l'Univers. Les études s'effectuent en utilisant des accélérateurs, des réacteurs, le rayonnement cosmique, les neutrinos solaires et les neutrinos de supernovæ. L'expérience Nemo de Fréjus étudie les relations entre neutrinos et antineutrinos tandis que l'expérience Opera en Italie étudiera les transitions entre espèces de neutrinos (ou oscillations) avec un faisceau de neutrinos provenant du Cern et qui aura donc parcouru 730 km. À l'horizon 2010, les résultats obtenus par les premières expériences d'oscillation des neutrinos ouvriront des perspectives nouvelles.

L'astrophysique nucléaire

Elle a été à l'origine de la compréhension des phénomènes énergétiques stellaires. L'observation de plus en plus fine des mécanismes de nucléosynthèse primordiale et stellaire et leur interprétation à partir des sections efficaces correspondantes nécessite une coopération étroite entre astrophysiciens et physiciens nu-

cléaires (projet Integral). Un apport significatif à ce domaine devrait venir également de l'étude des propriétés des noyaux exotiques, en particulier avec Spiral. Certains des développements de ce thème sont très liés à la problématique des neutrinos solaires, ainsi qu'à celle de la matière noire.

L'ouverture vers le spatial

Les physiciens travaillant dans ces domaines se tournent de plus en plus vers l'expérimentation dans l'espace. Ainsi, la cosmologie (fond diffus, supernovæ), l'étude du rayonnement cosmique (les gamma de haute énergie, les antiparticules, les rayons cosmiques de la plus haute énergie), l'astronomie neutrino et plus tard l'astronomie des ondes gravitationnelles font et feront appel à des missions spatiales. Ce domaine va donc s'appuyer de plus en plus sur les décisions et les moyens du Cnes. L'IN2P3 deviendra ainsi un nouveau partenaire du Cnes pour les missions spatiales concernant la physique fondamentale.

Physique du noyau et des hadrons

La physique nucléaire et hadronique comprend aujourd'hui trois domaines : l'étude du plasma de quarks et de gluons, la physique du noyau et la physique hadronique avec l'étude de la structure des nucléons et des mésons.

Durant la période 2002-2005, deux grandes priorités seront affichées :

- Mener à bien la construction du détecteur Alice pour la physique des ions lourds auprès du LHC
- Étudier la structure du noyau avec les outils privilégiés que sont le Ganil et son installation de faisceaux exotiques Spiral ; pendant cette période, on devrait initier le projet Spiral II et travailler au projet européen Eurisol dont la réalisation est souhaitée à plus long terme

Les ions lourds ultra-relativistes et le plasma de quarks et de gluons

Il s'agit là d'un domaine clef à la fois pour la compréhension des premiers instants de l'Univers, pour l'étude des propriétés macroscopiques de la chromodynamique quantique (QCD) et pour la compréhension des conditions nécessaires à la formation d'un plasma quarks-gluons et à l'existence d'une transition de phase.

LA PRÉPARATION DE L'EXPÉRIENCE ALICE AUPRES DU LHC

Après les résultats très encourageants obtenus au Cern auprès du SPS, dans les différentes expériences d'ions lourds et en particulier dans l'expérience NA50, sur l'existence de signaux clairs concernant la signature d'un plasma quarks-gluons, les équipes de l'Institut se sont engagées dans la préparation active de l'expérience Alice auprès du LHC. Cette implication forte des laboratoires de l'IN2P3 est essentielle pour cet axe qui est une des priorités de l'Institut. Le rôle des laboratoires français est majeur, mais le planning de construction est tendu. Au cours de cette période d'assemblage et de test, il faudra donc veiller à offrir un soutien suffisant, dans un contexte difficile du point de vue des ITA, pour que les équipes puissent respecter leurs engagements.

LES EXPÉRIENCES AUPRES DU COLLISIONNEUR RHIC

Durant la période 2002-2005, un engagement limité dans des expériences auprès du collisionneur Rhic à Brookhaven est prévu. En attendant le LHC, Rhic offre en effet le meilleur potentiel dans ce domaine. Les premiers faisceaux ayant été accélérés, les équipes de l'IN2P3 participent à deux grandes expériences, Star et Phenix, ce qui permet à l'Institut de rester présent dans cette physique.

La physique du noyau

Pouvons-nous définir l'interaction effective responsable de la liaison nucléaire ? Quelles sont les limites de la stabilité nucléaire ? Quel est le nombre de combinaisons neutrons-protons conduisant à des noyaux liés ? Quels sont les éléments liés les plus lourds ? Comment se sont formés les éléments dans l'Univers ? Telles sont les grandes questions de la physique du noyau aujourd'hui.

LA STRUCTURE DU NOYAU ET LA PHYSIQUE DES NOYAUX EXOTIQUES AVEC L'INSTALLATION SPIRAL DE GANIL

La physique des noyaux exotiques avec Ganil, laboratoire aujourd'hui largement ouvert sur l'Europe, constitue la priorité majeure de l'IN2P3 en physique du noyau. Les trois dernières années ont été riches en découvertes à Ganil : nouvelles structures exotiques telles que molécules nucléaires, nouveaux noyaux à halo ou encore bouleversements observés dans la structure en couches des noyaux proches de la limite de stabilité. Des avancées majeures sont attendues pour les quatre prochaines années avec Spiral. D'autres expériences sont actuellement menées auprès d'Isolde.

Par ailleurs, le système de séparation et de mesure auprès de Lise-III ayant été validé et l'élément lourd seaborgium ayant été produit, un programme d'étude des noyaux lourds et superlourds pourrait se développer à Ganil.

Enfin, le programme sur le comportement des noyaux à très haut spin, en particulier la mesure précise des propriétés des états superdéformés, va se poursuivre avec le détecteur Euroball auprès du Vivitron jusqu'à la fin 2002.

PLAN D'ACTION

LA DYNAMIQUE DES COLLISIONS AUX ÉNERGIES INTERMÉDIAIRES ET LA TRANSITION LIQUIDE-GAZ

La phase d'analyse des campagnes d'expériences réalisées avec Indra auprès de Ganil et de GSI va se poursuivre à un rythme soutenu. Les dernières analyses sont prometteuses quant à la signature non-ambiguë d'une transition liquide-gaz (un scénario de décomposition spinodale et la mise en évidence d'une branche négative pour la capacité calorifique du système). Une confirmation serait d'un apport indéniable pour les concepts de la physique statistique des systèmes finis.

LES ÉVOLUTIONS À MOYEN ET LONG TERMES

Ces évolutions devront s'inscrire dans une stratégie européenne de développement de la physique nucléaire, en particulier en liaison avec NuPECC, le comité européen de collaboration en physique nucléaire.

Noyaux exotiques

Une fois Spiral démarré, le projet ambitieux d'extension Spiral II (horizon 2005) pour la production et l'accélération de produits de fission sera discuté dans un contexte de complémentarité des installations au niveau européen. À plus long terme (horizon 2010-2012), l'avenir de cette physique passe par la construction d'une installation de nouvelle génération pour la production et l'accélération d'isotopes rares (projet européen Eurisol). La réalisation d'un tel projet impliquera qu'il se fasse au niveau européen.

Évolution de la physique à basse énergie avec des faisceaux stables

Le Vivitron accueillera le détecteur Euroball jusqu'à la fin de 2002. Sa fermeture a été décidée pour la fin 2003. Il est cependant important d'envisager la participation à un projet de machine européenne moderne et performante, de basse énergie, à faisceaux stables et de très haute intensité, dédiée en particulier à l'étude des phénomènes rares et des noyaux lourds et superlourds. Une réflexion française puis européenne devra être menée.

Parallèlement à ces réflexions sur toutes ces évolutions, un programme soutenu de R&D dans le domaine de l'instrumentation sera poursuivi: détecteurs gamma du futur utilisant les méthodes de tracking (Agata), nouveaux moyens de détection pour la physique de l'isospin, mesures de masses, etc.

La physique hadronique

Les équipes de l'Institut sont engagées auprès des laboratoires TJNAF, ESRF, Mayence et GSI. Ce domaine de physique concerne la compréhension de la structure du nucléon et la description quantitative du confinement des quarks à l'aide de QCD.

L'engagement le plus important se situe clairement au TJNAF avec les expériences G0 de mesure de la violation de parité, DVCS d'étude de la structure interne du proton et DeepRho d'électroproduction exclusive de mésons et de photons.

À l'ESRF, l'expérience Graal concerne la photoproduction de mésons. Des expériences de double polarisation pourront être effectuées avec la cible HD polarisée Hy-dile. Le programme doit s'achever à la fin 2002.

Enfin, l'Institut est engagé à GSI dans l'expérience Hades d'étude des effets du milieu nucléaire sur les propriétés des mésons. Hades est un détecteur de dileptons pour l'étude de mésons vecteurs. La période de prise de données est prévue durant les années 2002-2005.

Une réflexion sur les développements à venir dans ce champ scientifique devra être menée. Cela concerne en particulier à moyen terme l'évolution du programme à TJNAF et à plus long terme le positionnement de l'Institut vis-à-vis d'une augmentation d'énergie éventuelle de l'accélérateur Cebaf.

Au service des demandes de la société et d'objectifs pluridisciplinaires

Si le développement de la physique subatomique découle d'une logique scientifique motivée par la curiosité intellectuelle, plusieurs thèmes récents de recherche proviennent d'une volonté de l'Institut d'apporter une réponse à une demande de la société. Par ailleurs, l'Institut a également le souci de partager ses connaissances et ses outils technologiques avec d'autres domaines scientifiques.

En France, les réacteurs nucléaires existent et ils engendrent des déchets vis-à-vis desquels le législateur a fixé des objectifs. Dans ce contexte, l'IN2P3 a fait du programme Pace sur l'aval du cycle électronucléaire une de ses priorités. Ce programme est réalisé en collaboration avec les autres départements du CNRS, le CEA et des partenaires industriels.

La physique des particules traite une très grande quantité d'informations dans de très larges collaborations. Elle constitue donc une plate-forme d'expérimentation idéale pour de nouveaux moyens informatiques. Le Web en a été un exemple. Aujourd'hui, des grilles de calcul sont en cours de développement, autour desquelles le CNRS associe différents acteurs.

Enfin, les possibilités d'applications des détecteurs de particules à l'instrumentation médicale ont depuis longtemps engendré des collaborations entre physiciens, biologistes et médecins. Pour améliorer encore la réponse de l'Institut aux besoins des biologistes, une coordination avec les Sciences de la Vie a débuté.

Aval du cycle électronucléaire

Le CNRS est engagé dans le programme pluridisciplinaire Pace qui coordonne les recherches sur la gestion des déchets nucléaires en accord avec la loi du 30 décembre 1991. L'IN2P3 est le coordonnateur de ce programme qui est une priorité majeure de l'Institut. La période concernée par le plan d'action sera cruciale pour Pace car la loi impose qu'en 2006 un bilan global soit effectué et que des solutions précises soient proposées.

L'IN2P3 est impliqué dans trois GDR.

Le GDR Gedeon (Gestion des déchets par des options nouvelles) concerne l'étude de solutions innovantes dans le domaine de la transmutation (réacteur hybride et combustibles). L'IN2P3 poursuivra sa participation active à ce GDR, notamment sur les points suivants :

- La mesure de données nucléaires liées à la spallation (programme à GSI et n-TOF en particulier au Cern)
- La neutronique des milieux sous-critiques (expérience Muse-IV auprès du réacteur expérimental Masurca)
- Des études de scénarios pour la transmutation (cycle du thorium, matériau caloporteur...) et la recherche de solutions innovantes pour des réacteurs du futur
- Des études physico-chimiques dans différents domaines (programme Megapie à PSI de test d'une cible liquide de spallation pour un réacteur hybride)
- Le développement d'un accélérateur de protons injecteur de haute intensité (projet Iphi, 10 MeV, 100 mA) et R&D sur les accélérateurs linéaires pour un futur démonstrateur
- Un avant-projet de réacteur hybride (programme européen XADS)

Le GDR Practis (Physico-chimie des actinides et autres radioéléments en solution et aux interfaces) concerne directement les équipes de radiochimie de l'Institut. Les thématiques sont variées. Elles ont trait à la chimie des actinides et du technétium, à la recherche de molécules extractantes et à la thermodynamique des actinides à l'interface solides-solution.

Le GDR Nomade (Nouveaux matériaux pour les déchets) est orienté vers l'élaboration de nouveaux matériaux pour le conditionnement des déchets. Les équipes de l'IN2P3 y sont actives (par exemple pour le conditionnement des actinides dans le phosphate de thorium).

Tous ces programmes sont porteurs pour l'Institut et vont se poursuivre durant les trois ans qui viennent. Le CNRS, et notamment l'IN2P3, apporte une complémentarité enrichissante par rapport au CEA, son partenaire naturel sur ces programmes. L'Institut veillera à accroître la visibilité de sa contribution, ses équipes faisant preuve d'un réel dynamisme et d'un enthousiasme qu'il convient de soutenir.

Développements en informatique

Les très gros besoins en calcul nécessaires à l'analyse des données que produiront les expériences LHC ont été récemment étudiés et validés par un comité de revue du Cern : ils vont nécessiter des évolutions profondes. L'IN2P3 se prépare à y faire face en s'engageant vigoureusement dans des développements concernant le traitement massif de très gros volumes de données.

La solution s'appuie sur un modèle de calcul fortement distribué, avec une répartition hiérarchisée des ressources au niveau mondial. Pour le calcul nécessaire au LHC, le nœud central de cette grille sera situé au Cern pour environ le tiers des ressources. Les grands centres nationaux formeront un deuxième ensemble, de puissance totale équivalente, et le reste sera fourni par les laboratoires.

Pour utiliser de façon efficace ces ressources, il faudra les relier entre elles par des réseaux d'environ 1 Gbit/s et disposer de logiciels permettant d'y accéder de manière transparente. En ce qui concerne les réseaux, l'Institut suivra de près l'évolution du réseau national Renater et du réseau européen Geant pour s'assurer de la bonne connectivité entre ses laboratoires et les sites les plus importants que sont le Cern et Lyon. En ce qui concerne les logiciels, le projet européen Datagrid piloté par le Cern, au sein duquel l'IN2P3 joue un rôle moteur dans le cadre d'un programme interdisciplinaire du CNRS, a pour but de les développer et d'en livrer une version opérationnelle en 2003. À cette date, une infrastructure prototype représentant environ 20 % du potentiel final sera déployée au Cern, à Lyon et dans quelques autres centres européens. Une participation très active de l'IN2P3 sera nécessaire au bon succès de cette opération.

Dès 2002, une première démonstration de grille avec fonctionnalité simplifiée sera fournie par l'expérience Babar dont l'objectif est d'utiliser à cette date, de façon transparente, les ressources du centre de Slac en Californie et de celui de l'IN2P3 à Lyon. Ceci constituera une grande première et marquera un pas décisif vers la nouvelle ère du calcul fortement distribué.

Ce programme ambitieux, et notamment l'achat de l'infrastructure matérielle nécessaire au centre de calcul de Lyon en prévision du démarrage du LHC en 2005-2006, nécessitera une augmentation progressive entre

2002 et 2005 des moyens du centre de calcul. Un effort très marqué sera par ailleurs accompli pour développer au maximum les retombées de ce nouveau concept de grille dans les mondes académique et socio-économique. À titre d'exemple, des contacts sont d'ores et déjà noués avec une société d'imagerie radiologique afin de développer des solutions pour le stockage et la distribution de radiographies digitales vers les médecins.

Applications à la biologie

Une activité importante s'est développée à l'Institut autour d'applications dans le domaine des Sciences de la Vie. Elle concerne les interfaces physique-médecine et physique-biologie au sein desquelles les compétences instrumentales acquises par l'Institut, essentiellement dans le cadre de ses recherches propres, peuvent être valorisées

Il s'agit par exemple du développement de gamma-caméras compactes, de techniques de tomographie à émission de positons (PET et SPECT), ou d'appareils de radiologie X pour la médecine. En biologie, il s'agit en particulier de l'imagerie du petit animal, y compris in-vivo, et de l'analyse cellulaire et sub-cellulaire par micro-faisceau d'ions (effets des faibles doses) ; l'IN2P3 poursuivra notamment son engagement récent dans le nouveau programme interdisciplinaire du CNRS sur l'imagerie du petit animal, un volet important du programme post-génomique.

Certaines équipes sont déjà reconnues dans leur capacité à développer des outils performants en liaison étroite avec des équipes de biologie. D'autres émergent ou vont émerger. L'Institut veillera à assurer un développement concerté dans ce domaine de l'instrumentation qu'il conviendra d'accompagner dans de bonnes conditions d'évaluation scientifique, en particulier en liaison avec le département des Sciences de la Vie. Il conviendra aussi de soutenir les applications à la biologie dans le domaine de la modélisation et de l'analyse des données, où les compétences de l'Institut sont indiscutables. Enfin, compte tenu de son savoir-faire dans le domaine des accélérateurs, l'IN2P3 continuera à apporter un fort soutien aux projets de développement de protonthérapie et d'hadronthérapie proposés par les médecins.

Autres recherches interdisciplinaires.

Les développements importants dans le domaine de la détection, de l'électronique, des accélérateurs et de la modélisation aux fins de réalisation des programmes majeurs de l'Institut ont naturellement des potentialités d'application et de transfert de technologie vers d'autres domaines. L'environnement favorable de nos laboratoires doit être utilisé pour favoriser de tels rapprochements interdisciplinaires, lesquels présentent souvent l'avantage de permettre une interaction très active avec le milieu régional, ce qui est une source de bonne intégration locale pour les laboratoires.

Des activités traditionnelles autour de la radiochimie continueront d'être soutenues en liaison avec le département des Sciences chimiques. Les équipes concernées sont largement impliquées dans le programme Pace.

Une activité importante dans le domaine de la physique théorique, en particulier nucléaire, existe dans nos laboratoires. Il conviendra de stimuler la réflexion sur la place de ces équipes, sur leur rôle nécessaire dans le développement des objectifs de l'Institut et sur la coordination indispensable avec le département des Sciences physiques et mathématiques et la section 02.

D'autres domaines encore sont concernés : les domaines liés aux applications des techniques de mesures de basse radioactivité et le large domaine de l'interaction ion-matière avec la physique de la matière condensée, les agrégats, la canalisation ou encore la physique des plasmas.

D'une manière générale, en ce qui concerne l'ensemble des activités pluridisciplinaires, une réflexion devra être menée sur le mode d'évaluation des recherches poursuivies à l'IN2P3.

Partenariat avec les universités et les autres organismes de recherche

Toutes nos unités de recherches sont mixtes, avec le plus souvent comme partenaire une université ou une grande école.

Pour des raisons historiques, l'implantation des laboratoires de l'IN2P3 est concentrée dans une dizaine d'universités, une situation différente de celles qui prévalent en Allemagne et en Italie. Or, une implantation géographique plus large est souhaitable, ne serait-ce que pour l'enseignement de la physique subatomique. Aussi, une nouvelle équipe s'est-elle installée récemment à Montpellier, une politique que nous encourageons.

Si elle est favorable à la recherche, l'intégration européenne des équipes a l'inconvénient de rendre plus difficile la participation à la vie universitaire du campus. Un effort volontariste doit être fait dans cette direction. L'ensemble de la politique des unités doit être défini, avec les tutelles universitaires et l'IN2P3. À cet effet, des contrats d'objectifs vont être mis en place. Outre la politique scientifique, ceux-ci définiront des engagements sur la participation des unités aux activités universitaires des campus et en particulier à l'enseignement.

L'IN2P3 attachera une grande importance à l'accroissement de ses relations avec le monde universitaire. Il encouragera la mobilité vers l'enseignement supérieur, la participation de son personnel CNRS à l'enseignement

et une plus grande solidarité avec les jeunes maîtres de conférence. Dans ce contexte, le Groupe de réflexion sur l'enseignement de la physique subatomique (GREPS), qui rassemble des physiciens de l'IN2P3 et de la DSM, continuera à jouer un rôle important.

La physique subatomique en France est partagée entre l'IN2P3 et le CEA (DSM/Dapnia). Les convergences entre les deux organismes sont nombreuses et les actions communes sont presque la règle. Leurs moyens de calculs centralisés sont partagés, comme le sont également le Ganil et le Laboratoire Souterrain de Modane, deux unités mixtes CEA-CNRS.

Les laboratoires de l'IN2P3 et de la DSM sont impliqués dans des actions intégrées sur les grands projets, ceux-ci étant de plus en plus gérés par une structure unique. Des réunions de concertation régulières entre les deux directions permettent de converger vers des objectifs partagés. La coordination des conseils scientifiques peut encore être améliorée.

Traditionnellement l'IN2P3 a depuis sa création des liens forts avec l'Université et depuis de nombreuses années avec le CEA. Hors de la physique subatomique, l'IN2P3 s'impliquera davantage dans des collaborations avec d'autres organismes français.

Compétences techniques, accélérateurs du futur et transferts de technologie

Bien que constitué de 18 laboratoires distincts, l'IN2P3 possède une identité forte, illustrée en particulier par l'usage des mêmes outils et des mêmes méthodes, par le partage des tâches entre laboratoires et par la culture de projet. La recherche d'une efficacité toujours renforcée sera particulièrement importante durant les quelques années à venir car l'IN2P3 est fortement engagé dans différents projets, et en particulier dans les grandes expériences liées à la construction et au démarrage du LHC, pour lesquels les engagements pris en termes de performances, coûts et délais doivent être tenus. En outre, ces réalisations devront être menées à bien dans un contexte de diminution des effectifs techniques, qu'il faudra donc compenser par une augmentation de l'efficacité.

Le savoir-faire de l'IN2P3 est également reconnu dans le domaine des accélérateurs où, là aussi, les besoins exprimés tant par la recherche que par la société civile feront dans l'avenir l'objet de développements nouveaux.

Enfin, les transferts de technologie et la valorisation sont l'objet d'une attention particulière de la part de la direction de l'Institut.

Les compétences techniques

L'IN2P3 s'est attaché à développer les compétences techniques en son sein et à uniformiser les grands outils utilisés par la communauté, essentiellement en CAO électronique et en CAO mécanique.

Cet effort va se poursuivre, en particulier avec l'évolution des logiciels pour l'électronique et la microélectronique et avec la mise en place d'une nouvelle méthodologie plus moderne en CAO mécanique.

À l'initiative de la direction technique, un groupe d'experts étudie la mise en place d'un logiciel de Gestion des documents techniques (GDT) qui, à l'instar de ce qui se passe au Cern, permettra une gestion rigoureuse et précise de tous les documents liés à chaque projet. La mise en service de cette GDT, qui devrait intervenir de manière expérimentale dès le premier semestre 2002, permettra à toute personne de l'Institut, moyennant une hiérarchie de privilèges d'accès, d'accéder aux documents techniques ou de gestion de projets en cours.

Les communautés de métiers sont également une réalité à l'IN2P3. Des réunions de spécialistes des domaines les plus pointus des techniques actuelles sont régulièrement organisées pour une mise en commun des expériences acquises, des succès enregistrés, mais également des difficultés rencontrées, voir des échecs. Grâce à ces rencontres, ces spécialistes apprennent à se connaître et à utiliser leur complémentarité: ils peuvent ainsi mettre en place une synergie qui leur permet d'aborder les problèmes les plus ardues. Ces rencontres seront maintenues et étendues aux communautés qui le souhaiteraient.

Les actions de formation et la politique des ressources humaines accompagnent et accompagneront l'évolution des compétences techniques.

Afin de développer l'efficacité de ses agents dans la gestion des projets, la direction technique de l'IN2P3 a mis deux outils à leur disposition: le Guide méthodologique de la gestion de projet (sur support papier dans les laboratoires), et le Référentiel qualité (sur le web). Ces outils seront utilisés dans les réalisations en cours et à venir.

Les accélérateurs du futur

La France occupe une place de choix au niveau mondial dans la conception et la réalisation d'accélérateurs de particules. Ce savoir-faire est réparti pour l'essentiel à l'IN2P3 et au CEA (Dapnia/SEA), ainsi qu'au Lure (et à Soleil) pour les machines à rayonnement synchrotron.

Les besoins scientifiques sont importants et ont été explicités dans les pages précédentes. Même si les options finales et les calendriers sont loin d'être définis, des axes sont tracés et des actions de R&D déjà entreprises.

Citons:

- Pour la physique nucléaire:

Le développement de faisceaux radioactifs obtenus par accélération de fragments de fission nécessite l'étude de la production de ces fragments par photofission ou par neutrons. Ces études requerront un accélérateur d'électrons de 40 à 80 MeV à fort courant ou un accélérateur de deutons ou de protons également à fort courant. Elles se poursuivront afin d'optimiser scientifiquement et économiquement les choix pour Spiral II. L'IN2P3 a

PLAN D'ACTION

également pris une responsabilité importante dans l'étude et la définition de la future machine européenne pour les ions radioactifs: le projet Eurisol qui fait appel à un accélérateur de protons de l'ordre du GeV à fort courant.

■ Pour la physique des particules :

Outre des développements qui se poursuivront pour améliorer la conception et le coût d'un collisionneur à électrons de 500 GeV, des études diversifiées seront amplifiées pour préparer l'après LHC (étape postérieure à 2010). Des collisionneurs multi-TeV à électrons (Clic) ou à muons, des usines à neutrinos et des améliorations du LHC font partie des options possibles. Ces efforts seront bien sûr coordonnés au niveau européen.

Dans tous les cas, les sauts technologiques sont importants. Ils nécessiteront la mise au point de nouvelles méthodes d'accélération. Ils font d'ailleurs déjà l'objet d'un effort de R&D vigoureux en vue d'atteindre des objectifs réalistes. Actuellement, l'Institut participe avec le CEA à la réalisation et aux tests d'Iphi (Injecteur de protons de haute intensité) qui, avec ses 100 mA à 5 MeV, préfigure le premier étage des projets d'accélérateurs à fort courant du futur.

À ces projets motivés par la physique viennent s'ajouter ceux nés des attentes de la société et auxquels l'IN2P3 participe. En ce qui concerne l'aval du cycle nucléaire (incinération des déchets) et la démonstration de la faisabilité de réacteurs sous critiques contrôlés par un accélérateur (ADS), un accélérateur de protons à fort courant est envisagé, dont l'injecteur pourrait être Iphi et pour lequel la fiabilité requise demande un effort de R&D inédit. Pour le traitement de certains cancers par hadronthérapie, l'IN2P3 participe au développement du Centre de protonthérapie d'Orsay (CPO) et collabore avec le CEA à l'élaboration du projet d'hadronthérapie par ions carbone initié à Lyon (projet Etoile).

La R&D accélérateur recouvre dans les faits un nombre important de spécialités variées constituant autant de métiers. Il est pratiquement impossible que tous ces métiers soient représentés au plus haut niveau au sein de l'IN2P3. Cependant, il faut veiller à ce que les départs à la retraite des grands spécialistes n'entraînent pas des pertes de compétence irrémédiables pour l'Institut. Ceci suppose une politique volontariste de recrutement de jeunes susceptibles de maintenir et de développer les savoirs.

Valorisation et transferts de technologie

L'Institut mène une politique volontariste en matière de diffusion de ses avancées technologiques. L'activité des acteurs de l'IN2P3 peut se diviser en quelques grands types d'activités différentes au sein desquels des transferts de technologies sont en cours.

La recherche en amont menée sur les détecteurs de particules et sur les accélérateurs conduit à de nouveaux détecteurs ou à des améliorations importantes.

■ Les sources d'ions développées à l'IN2P3 ont permis la création de l'entreprise Pantechnik qui valorise les idées nouvelles.

■ Les nouveaux détecteurs de particules sont utilisés dans de nombreux autres types d'activités, en particulier pour la détection des photons en biologie et en médecine.

■ Une équipe développe des miroirs à très faible perte qui sont utilisés par Virgo mais aussi pour des applications industrielles.

Lors de la construction d'un grand détecteur, il est fait appel aux derniers développements technologiques existants, en particulier en électronique et en informatique.

■ En microélectronique analogique et numérique, l'IN2P3 a dans ses unités un grand nombre de modules qui sont directement utilisables dans le monde industriel. C4i, structure régionale en Rhône-Alpes, valorise ce savoir faire, valorisation que nous souhaitons développer plus systématiquement sur une base nationale.

■ En informatique, la complexité est souvent le défi à relever, complexité liée aux débits d'informations et à la base de données répartie. Des développements originaux de type Web ou grille de calcul ont été réalisés ou sont en cours de réalisation. L'enjeu est ici de diffuser les connaissances acquises.

Plusieurs laboratoires ont des compétences en termes de mesure des faibles radioactivités. Compte tenu de la forte demande de la société dans ce domaine, nous continuerons à augmenter le nombre d'équipes certifiées Cofrac qui pourront ainsi offrir leurs services.

D'une façon générale, nous favoriserons les initiatives individuelles de création d'entreprise et de conseil et soutiendrons la politique de dépôt de brevets.

Afin d'améliorer la liaison avec le monde industriel, l'IN2P3 a créé une fonction de chargé des relations industrielles dont la mission, en coordination avec les services du CNRS et des universités, est d'organiser et de développer des opérations de valorisation en direction du tissu industriel français. La personne responsable vient de l'industrie.

Ressources humaines

Une des caractéristiques de l'IN2P3 est son fort potentiel technique, potentiel indispensable à la réalisation des grands équipements scientifiques.

Une autre de ses caractéristiques est son organisation. La construction des grands détecteurs impose en effet une organisation matricielle du personnel. L'Institut est donc structuré en grands laboratoires et en projets, ce qui évite le morcellement des centres de décision dans ce contexte particulier où les décisions scientifiques, techniques, administratives et financières sont très interdépendantes.

Cependant, les ressources humaines doivent continuellement s'adapter aux changements, que ceux-ci concernent les méthodes ou les techniques. Afin de favoriser ces évolutions, l'IN2P3 s'attache à développer une gestion prévisionnelle des effectifs, une formation permanente des personnels et une aide à l'émergence de jeunes talents.

La gestion prévisionnelle des effectifs

La politique scientifique de l'IN2P3 s'établit pour une longue période. Même si elle est susceptible d'ajustement, les engagements sont bien souvent pris sur une dizaine d'années. Une gestion prévisionnelle des emplois intégrant les évolutions nécessaires, en termes d'effectifs et de métiers, et le respect des engagements internationaux est donc impérative.

Une étude détaillée, conduite par Hubert Doubre en 1995, avait défini une évolution souhaitable des métiers et de l'accroissement de la qualification des personnels. Les projections envisagées à cette date ont été réalisées sensiblement plus rapidement que les objectifs initiaux. Des évolutions majeures ont ainsi eu lieu avec le transfert d'une grosse partie de la réalisation en sous-traitance, le développement de l'informatique dans tous les métiers de l'Institut et le développement de l'électronique « full custom ».

Depuis lors, il est apparu nécessaire de reprendre cette étude prospective (étude à finaliser en 2002) afin d'analyser les évolutions actuelles : apparition de nouveaux métiers (assurance qualité, ingénieur système...), développement massif de la simulation numérique qui diminue le nombre de prototypes à réaliser, inadéquations des emplois avec le marché du travail et importants départs à la retraite d'ingénieurs de haut niveau. Dans le cadre de la discussion des contrats d'objectifs

avec les laboratoires, les implications des évolutions sont projetées à cinq ans, ce qui permet de mettre les demandes des laboratoires en cohérence avec un plan global au niveau de l'IN2P3.

La formation permanente

Dans le dernier plan d'action, l'IN2P3 avait pour objectif de permettre, grâce à la formation permanente, une adaptation aux évolutions de la recherche, la prise en compte de l'évolution des métiers, la formation à l'encadrement et la prise en compte des besoins individuels de formation.

Outre le recours à la formation permanente offerte globalement par le CNRS et les Universités, l'IN2P3 a développé : des écoles thématiques par branche d'activité (une à deux fois par an), des stages de formation constructeur pour les CAO mécanique et électronique, des séminaires d'actualisation et d'échange de connaissances.

Ces activités très importantes seront reconduites. Pour répondre à l'apparition de nouveaux métiers et à la difficulté de recruter à l'extérieur, des formations longues et adaptées à des besoins spécifiques (assurance qualité, ingénieur système, microélectronique, chef de projets...) vont être mises en place. Les solutions sont en cours d'étude et leur application devrait être effective en 2002.

L'émergence de jeunes talents et le soutien aux jeunes équipes

Dans le cadre de la politique générale du CNRS, l'IN2P3 développe un programme d'incitation aux jeunes équipes par appels d'offres, pour soutenir des idées nouvelles et pour aider à la prise de responsabilité dans les grandes collaborations internationales.

L'émergence de jeunes scientifiques est en effet souvent plus rapide dans les structures des collaborations européennes mises en place pour la construction et l'exploitation d'un détecteur que dans leurs laboratoires. Par ailleurs, l'IN2P3 a une pyramide des âges qui doit inciter à faire un effort particulier pour promouvoir de jeunes scientifiques à des postes de responsabilité, même si les plus anciens restent très actifs.

Dimension européenne

En physique des particules, le Cern a été très tôt le centre européen où se réalisait la plus grande part de l'activité. Les physiciens ont pris l'habitude d'y travailler ensemble et d'accepter l'évaluation de leurs projets. Le Cern joue naturellement un rôle très important dans la définition de la politique de recherche européenne. Il s'agit donc incontestablement d'un succès qui permet à l'Europe d'occuper une place de tout premier plan au niveau mondial.

En physique nucléaire, la coordination européenne est de plus en plus importante. Petit à petit, se dessine l'image d'une Europe de la physique nucléaire ayant une stratégie claire. Les laboratoires français participent à de nombreux programmes de R&D ou à des réseaux dans le cadre du cinquième PCRD. NuPECC a joué dans ce domaine un rôle majeur (voir par exemple le programme Eurisol et les programmes de R&D associés), mais des progrès importants restent encore à faire dans les années qui viennent pour conforter cette intégration. Dans ce contexte, des opportunités qui conforteraient la position stratégique du Ganil, complémentaire de GSI, sont probablement à saisir. Un projet d'initiative intégrée pour la physique nucléaire européenne sera soutenu dans le cadre du 6^e PCRD.

Dans le domaine plus récent des Astroparticules, beaucoup de projets dépassent le cadre national, mais l'organisation structurée est récente. Avec l'Italie, le Royaume-Uni, l'Allemagne, la Hollande et l'Espagne, des démarches ont été entreprises pour européaniser ce domaine. Une bonne partie des activités n'étant du ressort ni du Cern, ni de l'ESA, ni de l'ESO, une coordination au niveau européen était en effet devenue nécessaire. Elle a débuté en liaison avec l'ESF. Elle va permettre de développer des stratégies à long terme pour les projets européens en astroparticules, de faciliter la coopération et les collaborations, de mettre en place un système d'évaluation par les pairs et un système de suivi de projet, d'organiser la prise de décisions à l'échelle européenne et enfin de développer des liens avec le Cern, l'ESA et l'ESO. Cette coordination a pris le nom de ApPEC (Astroparticle physics european coordination). Nous souhaitons que le 6^e PCRD permette d'accélérer ce processus d'intégration européenne et contribue à lancer des projets à l'échelle européenne dans ce domaine.

Résumé des projets scientifiques

Ce résumé s'articule autour des expériences en cours, des expériences en construction ou en gestation pour la période du plan d'action et des projets scientifiques à plus long terme.

Expériences en cours

- Étude de la violation de CP: Babar à Slac (système du méson B)
- Recherche du Higgs et de la supersymétrie: D0 à FNAL (États-Unis)
- Étude des interactions électron-proton: H1 à Desy (Hambourg)
- Recherche de sources de photons de très haute énergie: CAT, Celeste
- Cosmologie: Archeops et Supernovæ lointaines (SCP)
- Matière noire: Edelweiss
- Désintégration double β , nature du neutrino : Nemo
- Euroball au Vivitron (jusqu'à fin 2002)
- Recherches à Ganil notamment avec Spiral I (détecteurs Vamos et Exogam)
- Ions lourds ultra-relativistes: Star, Phenix à Rhic-Brookhaven (États-Unis)
- Physique hadronique: expériences au TJNAF (États-Unis) et Hades à GSI (Allemagne), Graal à l'ESRF jusqu'à la fin 2002

Expériences en construction ou en gestation

- Expériences LHC:
 - Atlas et CMS pour l'étude du Higgs, de la supersymétrie et des dimensions supplémentaires
 - LHCB pour l'étude de la violation de CP et du système du méson B
 - Alice pour l'étude des collisions d'ions ultra-relativistes (étude du plasma de quarks et gluons)
- Détecteurs de particules cosmiques de très haute énergie: Auger, Antares et Euso

- Recherche de sources de photons de très haute énergie: Hess et Glast
- Cosmologie: Planck, SNIFS et SNAP
- Ondes gravitationnelles: Virgo
- Oscillations de neutrinos: Opera
- R&D en vue d'un nouveau détecteur de neutrinos solaires et d'un détecteur de matière noire dont la sensibilité serait améliorée d'un facteur 10
- Spiral II: élargissement de la gamme des masses des faisceaux de Spiral I
- Aval du cycle électronucléaire (réponses à la Loi Bataille): accélérateur Iphi, étude d'un démonstrateur, Megapie, n-Tof,...
- Étude de nouvelles filières pour les réacteurs du futur
- R&D sur un détecteur auprès d'un collisionneur e+e- de 500 GeV
- R&D sur les futurs collisionneurs e+e- (Tesla, Clic)

Projets à long terme

- Participation à la construction d'un futur collisionneur e+e- et de son détecteur associé
- L'après LHC, essentiellement R&D accélérateur pour l'ouverture de nouvelles options (Clic, collisionneur muons, neutrinos, super LHC, ...)
- Détecteur d'ondes gravitationnelles de nouvelle génération
 - Antares 1km³
 - Projet européen Eurisol d'installation de faisceaux exotiques de seconde génération
 - Positionnement français sur l'amélioration du TJNAF (États-Unis)
 - Démonstrateur d'incinération de déchets radioactifs

Priorités hors physique subatomique

- Construction de la grille européenne de calcul
- Développement de l'interface avec la biologie et la médecine

Sigles

ALICE - A large ion collider experiment : expérience sur les ions lourds au LHC	ciée : CEA/DSM
AMS - Anti-matter in space : expérience de recherche d'antimatière dans l'espace	DEEP RHO : expérience d'électroproduction exclusive de mésons et de photons
ANDRA - Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs	DESY - Deutsches elektron synchrotron : laboratoire allemand de physique des particules installé à Hambourg
ANTARES - Astronomy with a neutrino telescope and abyss environmental research : programme européen de recherche et développement pour un détecteur sous-marin de neutrinos cosmiques de haute énergie	DSM - Direction des sciences de la matière : CEA
ApPEC - Astroparticle physics european coordination : coordination européenne en astroparticules	ECFA - European Committee for future accelerators : Comité européen pour le futur des accélérateurs
ARCHEOPS : ballon stratosphérique dédié à la cartographie du fond de rayonnement cosmologique	EDELWEISS - Expérience pour la détection des WIMPs en site souterrain : recherche de matière noire à l'aide de bolomètres au Laboratoire souterrain de Modane
ATLAS - A toroidal LHC apparatus : une des expériences auprès du LHC	EROS - Expérience de recherche d'objets sombres : expérience de recherche de matière noire par effet de lentille gravitationnelle installée à l'observatoire de La Silla, Chili
AUGER (Observatoire Pierre) : expérience de détection des rayons cosmiques d'énergie extrême (supérieure à 10^{16} eV), Argentine	ESA - European space agency : Agence spatiale européenne
BABAR : expérience d'étude des mésons beaux au Stanford linear accelerator (SLAC), États-Unis.	ESF - European science foundation : Fondation européenne de la science
CAT - Cherenkov array at Thémis : expérience destinée à l'observation des rayons gamma de très haute énergie (de 200 GeV à 20 TeV)	ESO - European southern observatory : Observatoire européen de l'hémisphère austral
CEA - Commissariat à l'énergie atomique	ESRF - Electron synchrotron radiation facility : équipement de rayonnement synchrotron à Grenoble
CEBAF - Continuous electron beam accelerator facility : accélérateur d'électrons du Thomas Jefferson National Laboratory (TJNAF), États-Unis	ETOILE - Espace de traitement oncologique par ions légers européen : projet d'hadronthérapie par ions carbone
CELESTE : expérience destinée à l'observation des rayons gamma de très haute énergie (de 20 à 300 GeV)	EURISOL - European Isotope Separation On-Line : projet de futur accélérateur européen de faisceaux radioactifs
CERN - Organisation européenne pour la recherche nucléaire : laboratoire européen de physique des particules à Genève	EUROBALL : multidétecteur européen de rayonnements gamma pour la physique nucléaire, successeur d'EUROGAM
CLIC - Compact e+e- linear collider : projet de collisionneur linéaire à électrons multi-TeV au Cern	EUSO - Extreme Universe Space Observatory : projet d'observation des grandes gerbes cosmiques dans l'atmosphère depuis la station spatiale internationale
CMS - Compact muon solenoid : une des expériences auprès du LHC	EXOAM : spectromètre gamma de grande efficacité dédié à la spectroscopie nucléaire des noyaux exotiques (Ganil)
CNES - Centre national d'études spatiales	FERMILAB - Fermi national laboratory : laboratoire américain de physique des particules installé près de Chicago
CPO - Centre de protonthérapie d'Orsay	G0 : expérience de contenu en étrangeté du nucléon au TJNAF
D0 : expérience auprès du collisionneur proton-antiproton à Fermilab, États-Unis	GANIL - Grand accélérateur national d'ions lourds : CEA/IN2P3 à Caen
DVCS - deep virtual compton scattering : diffusion Compton profondément virtuelle, expérience d'étude de la structure interne du proton	GEDEON - Gestion des déchets par des options nouvelles : Groupement de recherche CNRS/CEA/EDF
DAPNIA - Département d'astrophysique, de physique des particules, de physique nucléaire et de l'instrumentation associée	GDR - Groupement de recherche
	GDT - Gestion de documents techniques
	GLAST - Gamma-ray large area space telescope : futur télescope d'observation des sources célestes de rayonnement gamma (de 10 MeV à 100 GeV)
	GRAAL - Grenoble anneau accélérateur laser : projet de

- construction d'un faisceau de photons polarisés à 100 % à l'énergie maximum (1,5 GeV) par rétrodiffusion Compton de photons laser sur les électrons de 6 GeV de l'anneau de stockage de l'ESRF
- GSI - Gesellschaft für schwerionenen forschung: laboratoire allemand de physique nucléaire, à Darmstadt
- H1 : expérience auprès du collisionneur HERA
- HADES - High acceptance dielectrons spectrometer: spectromètre di-électrons de grande acceptation pour la physique hadronique
- HERA - High energy ring accelerator: collisionneur électron-proton installé à DESY - Hambourg
- HESS - High energy stereoscopic system: un détecteur de nouvelle génération pour l'astronomie gamma au-delà de 100 GeV
- HYDILE: cible hydrogène/deutérium pour l'étude de certaines propriétés des nucléons
- INDRA - Identification de noyaux par détection à résolution accrue: multidétecteur de physique nucléaire à très grand angle solide à GANIL
- INSU - Institut national des sciences de l'Univers: CNRS
- INTEGRAL: satellite qui transportera des expériences d'astrophysique nucléaire
- IPHI - Injecteur de protons de haute intensité
- ISOLDE: installation de production d'ions radioactifs par séparation isotopique en ligne, CERN
- LEP - Large electron positron collider: collisionneur électron-positron du CERN
- LHC - Large hadron collider: futur collisionneur proton-proton du CERN
- LHCb: détecteur pour l'étude de la violation de CP au LHC
- LISE - Ligne d'ions super-épluchés à GANIL, Caen
- LURE - Laboratoire pour l'utilisation du rayonnement électromagnétique
- MASURCA: réacteur expérimental sous-critique de faible puissance installé à Cadarache (CEA)
- MEGAPIE - Megawatt pilot experiment: collaboration visant à concevoir, réaliser, faire fonctionner et exploiter une cible de spallation en plomb-bismuth liquide pour une puissance de faisceau de protons de 1MWatt auprès de l'installation SINQ à PSI
- MUSE - Multiplication d'une source externe auprès du réacteur Masurca (CEA, Cadarache): expérience de caractérisation des propriétés neutroniques d'un réacteur sous-critique
- NA 48: expérience sur la violation directe de CP auprès du collisionneur SPS au CERN
- NA50: expérience de plasma quark-gluon au CERN
- NEMO - Neutrino-Molybdène: expérience de double désintégration bêta au Laboratoire souterrain de Modane
- NLC - Next linear collider: collisionneur linéaire e+e- d'environ 500 GeVproposé par le Japon et les États-Unis
- NOMADE - Nouveaux matériaux pour les déchets: Groupement de recherche CNRS/CEA/EDF/ANDRA
- N-TOF - Neutron time of flight: installation servant à la mesure de données nucléaires pour l'aval du cycle électronucléaire
- NuPECC - Nuclear physics european collaboration committee: comité européen pour la physique nucléaire
- OPERA - Oscillation project with emulsion tracking apparatus: expérience d'oscillation de neutrinos
- PACE - Programme pour l'aval du cycle électronucléaire: programme interdisciplinaire du CNRS
- PHENIX: expérience d'étude du plasma quark-gluon au Brookhaven national laboratory, États-Unis
- PLANCK: projet de satellite de l'ESA pour la mesure du fond de rayonnement cosmologique
- PRACTIS - Physicochimie des actinides et autres radioéléments en solution et aux interfaces: Groupement de recherche CNRS/CEA/EDF/ANDRA
- PSI - Paul Scherrer Institut, Villigen
- QCD - Quantum chromodynamics: chromodynamique quantique, théorie des interactions fortes
- RHIC - Relativistic heavy ion collider: collisionneur d'ions lourds au Brookhaven national laboratory, États-Unis
- SCP - Supernovae cosmology project
- SEA - Service études des accélérateurs: CEA/DSM/Dapnia
- SLAC - Stanford linear accelerator center: laboratoire américain de physique des particules installé à l'université de Stanford, États-Unis
- SNAP - Supernova acceleration probe: projet de télescope spatial grand champ de mesure des paramètres cosmologiques à l'aide de supernovae de type Ia
- SNIFS: spectromètre intégral de champ
- SOLEIL - Source Optimisée de Lumière d'Énergie Intermédiaire du Lure
- SPIRAL - Système de production d'ions accélérés en ligne à GANIL, Caen
- SPhT - Service de physique théorique: CEA/DSM/DrecaM
- SPM - Département des Sciences physiques et mathématiques: CNRS
- SPS - Super proton synchrotron: accélérateur de protons du CERN, aussi utilisé en collisionneur proton-proton et en injecteur du LEP
- STAR - Solenoidal tracker at RHIC: expérience d'étude du plasma quark-gluon au Brookhaven national laboratory
- TESLA - Tera electron-volt superconducting linear accelerator: projet allemand de collisionneur linéaire électron-positron
- TEVATRON: accélérateur proton-antiproton à Fermilab (Chicago)
- TJNAF - Thomas Jefferson national accelerator facility: laboratoire américain de physique hadronique à Newport News, Virginie
- VAMOS - Variable mode spectrometer: spectromètre de grande acceptation à Ganil, Caen
- VIVITRON: accélérateur électrostatique à Strasbourg
- VIRGO: expérience de détection directe des ondes gravitationnelles à Cascina, Italie
- XADS - eXperimental accelerator driven system: programme européen d'étude de la faisabilité d'un réacteur hybride pour la transmutation.

IN2P3

INSTITUT NATIONAL DE PHYSIQUE NUCLÉAIRE
ET DE PHYSIQUE DES PARTICULES

INSTITUT NATIONAL
DE PHYSIQUE NUCLÉAIRE
ET DE PHYSIQUE DES PARTICULES

3, rue Michel-Ange
75794 Paris cedex 16
Tél. : 01 44 96 40 00
Fax : 01 44 96 53 40

Directeur de la publication
Jean-Jacques Aubert

Rédaction en chef
Dominique Armand, Geneviève Edelheit

Mise en page
Christelle Liévin

Maquette
Page B

Flashage
Imprimerie du CNRS

Impression
J V Impression

N° ISSN - 1252 - 2015