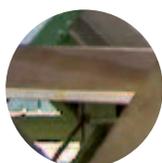


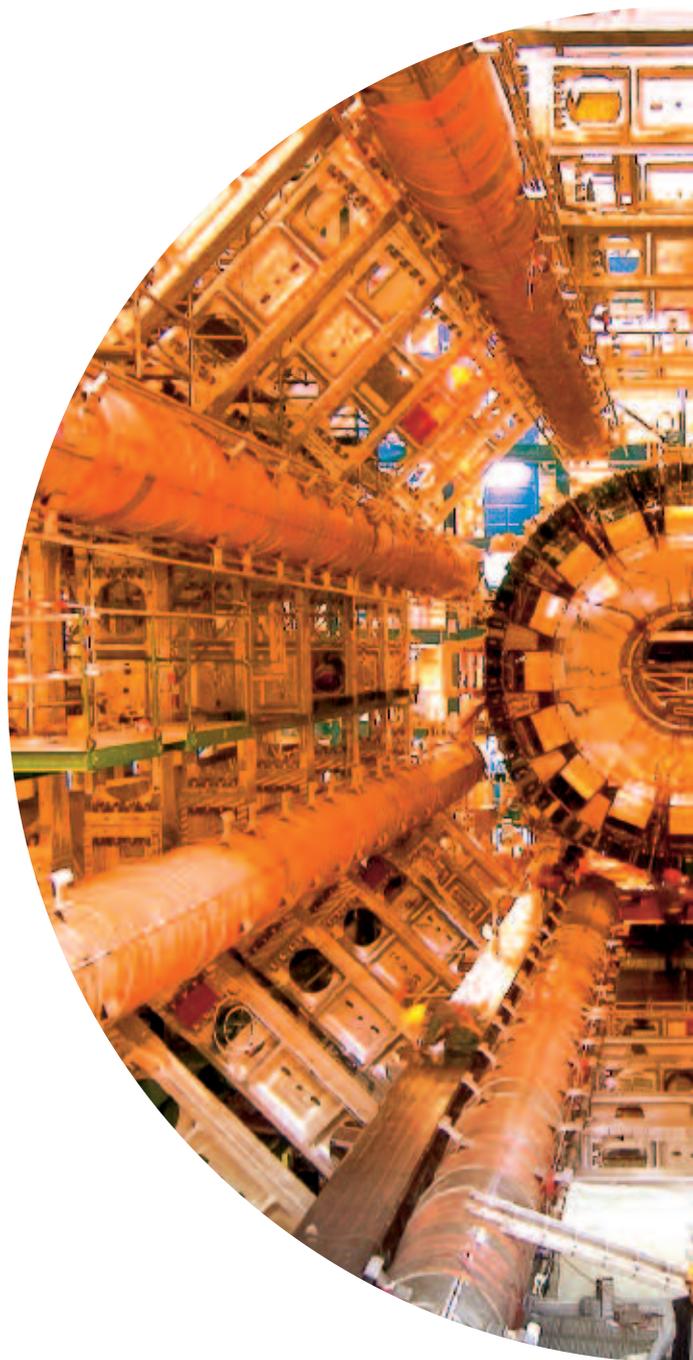
RAPPORT D'ACTIVITÉ

2004-2006



RAPPORT D'ACTIVITÉ

2004-2006



IN2P3

INSTITUT NATIONAL DE PHYSIQUE NUCLÉAIRE
ET DE PHYSIQUE DES PARTICULES

CNRS CENTRE NATIONAL
DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Sommaire



| | |
|-----|--|
| 4 | QU'EST-CE QUE L'IN ₂ P ₃ ? |
| 6 | STRATÉGIE DE L'INSTITUT |
| 34 | FAITS MARQUANTS |
| 76 | RÉFLEXIONS SUR LE FUTUR |
| 90 | RELATIONS PARTENAIRES |
| 102 | PROGRAMMES ET STRUCTURES |
| 115 | SIGLES ET ACRONYMES |
| 118 | TABLE DES MATIÈRES |



Qu'est ce que L'IN2P3 ?

L'Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules (IN2P3) coordonne les programmes de Physique Nucléaire et des Hautes Énergies pour le compte du CNRS et des Universités (par décret), en partenariat avec le CEA. Dans ce dispositif, l'IN2P3 a donc pour vocation de mobiliser et d'organiser le monde académique tandis que le CEA a une vocation plus technologique¹ reconnue. Les problématiques scientifiques de l'IN2P3 sont aujourd'hui réparties en plusieurs domaines qui dessinent les grands axes de recherche de la discipline : de l'infiniment petit vers l'infiniment grand, on parcourt la physique des particules, la physique du nucléon et du noyau, le domaine plus récent des astroparticules à la frontière entre astrophysique et physique des particules. Les questions à élucider, à la fois de manière théorique et expérimentale, sont les lois fondamentales régissant le comportement de l'Univers et leur possible unification, la recherche des composants élémentaires de la matière, la structure géométrique de l'Univers, les lois régissant la matière nucléaire.

Pour cette exploration, les instruments sont des détecteurs de particules placés auprès de grands accélérateurs ainsi que des moyens de traitement données puissants (centralisés en réseaux) ; ce sont aussi des instruments au sol ou embarqués observant les rayons cosmiques (astroparticules) de haute énergie émanant de phénomènes violents observés dans l'Univers ou les manifestations cosmologiques de la physique des particules. Les deux principaux grands accélérateurs (financés en partie ou en totalité par la France) où se développent ces recherches sont celui du Cern (Organisation européenne pour la recherche nucléaire) et celui du Ganil (Grand accélérateur national d'ions lourds) à Caen. Ces recherches se font dans un cadre pluriannuel et international.

À cette fin, l'Institut fédère, forme et coordonne 500 chercheurs, 350 enseignants-chercheurs et 1900 ITA répartis dans 21 laboratoires (et 3 unités propres de service UPS), dont 2 TGE, 1 plateforme nationale, 3 très grands laboratoires, 11 grands laboratoires et 4 plus petits, presque tous mixtes avec les Universités (et/ou grandes écoles, et/ou autres organismes comme le CEA, l'Institut Curie) et 3 UPS autour de thèmes de recherche articulés en projets dans une logique de réseaux déclinés dans leurs phases de réflexion, de prospective, de R&D, de gestation, de réalisation, d'exploitation, d'analyse, de communications et enfin dans leurs phases terminales (démantèlement).

À présent l'IN2P3 mène environ 80 projets engageant simultanément plusieurs laboratoires, dont 40 absorbent plus de 75% des ressources et dont 8 émargent aux Très grandes infrastructures du CNRS (TGE/TGIR). Chaque projet engage de façon quasi systématique simultanément plusieurs laboratoires de l'IN2P3 et des partenaires internationaux.

Pour ce faire, l'IN2P3 est depuis deux ans engagé dans une profonde réforme. Les missions du siège sont renforcées sur l'aide à la décision, le pilotage, la gestion et le suivi des projets, actions et moyens de l'Institut. Le management par projets est le mode d'organisation privilégié. Les laboratoires jouent un rôle clé dans le bon accomplissement de leurs projets grâce à une forte responsabilisation et à une réactivité aussi grande que possible. L'Institut s'appuie sur les tableaux de bord des activités et projets du système d'information Isis et le renforcement de la programmation pluriannuelle.

L'Institut comprend une direction stratégique définissant sa politique scientifique et ses orientations de base, une division des projets assurant la mise en œuvre et le suivi des activités et projets correspondants et un conseil scientifique qui évalue en permanence la pertinence et l'opportunité des projets et activités proposés.

¹ Les très grands équipements nécessaires aux expériences de physique des particules ont conduit l'IN2P3 à se doter aussi d'équipes d'ingénieurs particulièrement compétents en conception, réalisation et mise en œuvre d'une instrumentation aux limites des possibilités actuelles, et d'une R&D induisant des technologies de rupture majeures dans de nombreux domaines.



Si ces grands thèmes évoqués ci-dessus représentent le cœur de la discipline, l'IN2P3 a aussi vocation à apporter ses compétences propres, d'une part à d'autres domaines de la science et d'autre part à la résolution de certains problèmes sociétaux. **Des recherches interdisciplinaires, menées d'une part par ses 24 laboratoires/unités souvent en liaison avec leur université et leur région, d'autre part avec un cercle plus large de laboratoires sur appel d'offres**, se développent ainsi sur deux fronts principaux : l'interface **physique – biologie – médecine** où l'Institut fait bénéficier les sciences du vivant, de ses compétences en instrumentation, en accélérateurs et en traitement des données,

l'aval du cycle électronucléaire (environnement et développement durable) où, en collaboration avec les chimistes, les géochimistes et les sciences humaines et sociales sont étudiées les questions liées au stockage des déchets radioactifs tandis que les physiciens nucléaires élaborent des systèmes innovants permettant l'incinération de ces déchets et la production d'énergie nucléaire avec moins de déchets. De plus l'Institut s'est impliqué dans la promotion des **grilles de calcul** développées dans un premier temps avec le Cern, à des fins touchant de nombreuses autres disciplines. L'implication sociétale de l'IN2P3 revêt bien entendu d'autres aspects également conduits en étroite collaboration avec les Universités partenaires dans le cadre de politiques de sites. L'Institut s'implique ainsi fortement à tous les échelons de la formation universitaire (doctorale en particulier, ouverte sur l'international) et mène une politique volontariste de diffusion de la culture scientifique et technique.

Enfin, pour réaliser leurs expériences, les physiciens doivent définir et construire eux-mêmes, avec l'aide de l'industrie, leurs outils et leurs instruments de mesure. L'Institut est ainsi une réserve de savoirs technologiques dans le domaine des accélérateurs de particules et de la détection dans une large gamme d'énergie. Dans le secteur du traitement de l'information, l'Institut s'implique fortement dans l'infrastructure européenne de « grille de calcul » qui vise à l'utilisation optimale des moyens de calcul intensif distribué. Plus généralement, l'IN2P3, de par ses projets, mène un programme unique et diversifié de R&D en instrumentation, combinant mécanique, électronique et informatique. Ces compétences technologiques diffusent vers le monde économique et industriel.

En résumé, pour assurer pleinement son rôle national inscrit par décret, l'IN2P3 souhaite, dans le nouveau paysage de la recherche en France, être en capacité de piloter et de gérer au travers du CNRS les 24 laboratoires/unités(UPS) sur lesquels l'Institut s'appuie pour exercer sa mission nationale (75% des ressources de ces laboratoires viennent de l'IN2P3). Pour ces unités, la logique de mise en réseau national, dans un contexte international, sur grands projets prime sur la logique de site, cette dernière étant indispensable pour les ouvertures et les retombées. C'est grâce à cette mise en réseau que l'Institut et donc la France peuvent avoir un leadership reconnu dans les domaines de la physique nucléaire, des particules et maintenant des astroparticules. L'IN2P3/CNRS s'est engagé dans une logique de contrats d'objectifs d'une part avec le CNRS auquel il est adossé, d'autre part avec chacun de ses 24 laboratoires en associant leurs universités/grandes écoles/organismes respectifs. L'IN2P3 exerce par ailleurs le rôle d'agence de moyens sur des programmes ciblés reliés à ses missions nationales, avec un cercle de laboratoire beaucoup plus important.

Michel Spiro



Stratégie de l'Institut



8 LA PHYSIQUE DES PARTICULES AU SEIN DE L'IN2P3

PHYSIQUE NUCLÉAIRE ET HADRONIQUE

12 Structure et dynamique nucléaire aux extrêmes :
une moisson de découvertes et un projet majeur
Spiral2 qui préparent l'avenir

15 Physique hadronique

17 ASTROPARTICULE ET NEUTRINO AU SEIN DE L'IN2P3

21 PROGRAMME PACE – AVAL DU CYCLE

23 POLITIQUE DANS LE DOMAINE DES ACCÉLÉRATEURS INSTRUMENTATION

25 L'INFORMATIQUE À L'IN2P3

27 L'INSTRUMENTATION À L'IN2P3

PROGRAMMES PLURIDISCIPLINAIRES

28 Interface avec les sciences de la vie

31 Le Spatial

33 ENSEIGNEMENT

LA PHYSIQUE DES PARTICULES AU SEIN DE L'IN2P3

François Le Diberder

La recherche en physique des particules a pour objectif de mettre en lumière les propriétés des constituants élémentaires de la matière et des interactions qui les relient. Pour ce faire, elle est amenée à explorer les états extrêmes de la matière, de façon à saisir les principes qui sous-tendent ces propriétés. Dans cette quête, les physiciens ont été conduits au fil des ans à mettre en œuvre des collaborations de tailles croissantes pour réaliser et maîtriser des expériences impliquant des technologies de plus en plus ambitieuses auprès de complexes d'accélérateurs qui tendent à échapper aux possibilités d'une seule nation, voir d'un seul continent.

Issue d'une lente progression théorique, la théorie actuelle des particules élémentaires s'est soudainement cristallisée au début des années soixante-dix pour donner naissance à ce qu'il est convenu d'appeler le Modèle Standard.

Après de nombreuses étapes, dont notamment la découverte du mécanisme de GIM (du nom des trois auteurs Glashow-Iliopoulos-Maiani) qui conduit à inférer dès 1970 l'existence du quark « charmé », c'est en 1973 que la dernière brique majeure vient s'insérer dans l'édifice théorique : après la composante de l'interaction électromagnétique, puis celle de l'interaction faible, c'est au tour de la composante de l'interaction forte. Il devient alors possible de décrire, via une théorie des champs de Yang-Mills, les interactions entre particules de matière et les vecteurs de cette interaction (les bosons, dénommés pour l'interaction forte les « gluons ») en les dotant notamment de la liberté asymptotique que suggéraient les résultats expérimentaux obtenus au Slac et au Cern. Cette contribution sera consacrée en 2004 par le prix Nobel de physique décerné à D. Gross, D. Politzer et F. Wilczek.

Une théorie de Yang-Mills est une théorie quantique des champs qui met en jeu des bosons qui, à l'encontre des photons, sont dotés de charges similaires à celles que portent les particules de matière qui y sont associées. Une telle théorie repose sur une symétrie exacte, vérifiée localement : c'est-à-dire qu'une forme d'invariance des lois de la physique est réalisée en tout point de l'espace-temps, et ce indépendamment d'un point à un autre. Pour l'interaction forte, la symétrie est celle de $SU(3)$.

C'est ce même type de champs de jauge qui avait été avancé quelques années plus tôt pour rendre compte des interactions faibles et électromagnétiques pour les combiner dans la théorie électrofaible : une autre théorie de jauge de Yang-Mills basée sur une autre symétrie, $SU(2)$, mettant en jeu trois types de bosons : le photon, les bosons chargés W^+ et W^- et le boson neutre Z .

Un élément clef de l'édifice théorique est le postulat de l'existence d'un champ scalaire (mis en avant par P. W. Higgs) dont l'interaction avec les particules de matière et certains champs d'interaction (lui-même y compris) conduit à l'apparition des masses des particules élémentaires. Ce champ scalaire, dit champ de Higgs, doit posséder une propriété étonnante : pour conduire à l'apparition des masses des particules, il ne doit pas être évanescent à l'équilibre dans le vide. En l'absence de source, ce champ doit prendre une valeur non nulle, laquelle échappe au pouvoir prédictif de la théorie.

Peu après cette cascade de percées théoriques qui permettent de rassembler les trois interactions dans un cadre théorique unique, les familles de leptons et de quarks prennent corps : il s'avère que pour rester cohérente la théorie doit comporter une séquence de familles, des quadruplets, chacun composé de deux leptons (pour la première famille, le neutrino électronique et l'électron) et de deux quarks (pour la première famille, les quarks « up » et « down »).

La même année 1973, avant même que la deuxième famille de leptons et de quarks ne soit expérimentalement complétée (il manque encore le quark « charmé » annoncé par le mécanisme de GIM) deux théoriciens Japonais, Kobayashi et Maskawa, remarquent que l'existence d'une troisième famille fournirait un mécanisme capable de rendre compte de la violation de CP, déjà observée dans

le secteur des mésons K et très tôt reconnue comme un des ingrédients essentiels à la disparition constatée de l'anti-matière dans l'Univers. En effet, un mélange entre les trois familles dans le secteur des quarks (ou des leptons), comme celui déjà quantifié entre les deux premières familles de quarks par l'angle de Cabibbo, conduit mécaniquement à une violation de CP. Ce mécanisme prend la forme d'une matrice 3×3 , dite matrice CKM, selon les initiales des noms des trois physiciens cités ci-dessus. Dans la matrice CKM, une phase non nulle est responsable à elle seule de l'intégralité des phénomènes de violation de CP. Ce paradigme, alors totalement hypothétique, est aujourd'hui validé pleinement. Il reste encore l'espoir que son étude très fine révélera une fissure dans l'édifice théorique manifestement incomplet du Modèle Standard.

En effet, si le Modèle Standard constitue un ensemble théorique expérimentalement très satisfaisant – il permet de rendre compte de tous les phénomènes observés en laboratoire, à ce jour – il est difficilement acceptable en tant que tel comme cadre théorique ultime : les formes différentes prises par les trois interactions n'y découlent pas d'un principe supérieur, elles ne sont donc pas unifiées ; plus grave, l'interaction gravitationnelle y est absente, car réfractaire à la quantification des champs, elle reste hors de portée du Modèle Standard ; l'existence de trois familles n'y reçoit aucune explication ; les valeurs observées des masses, pourtant spectaculairement différentes (un facteur de plus de 10^{12} entre la masse d'un neutrino et celle du quark top) échappent totalement au pouvoir prédictif de la théorie ; tout comme les valeurs prises par les éléments de la matrice CKM et en particulier la faiblesse du terme de violation de CP dans le secteur des quarks, etc.

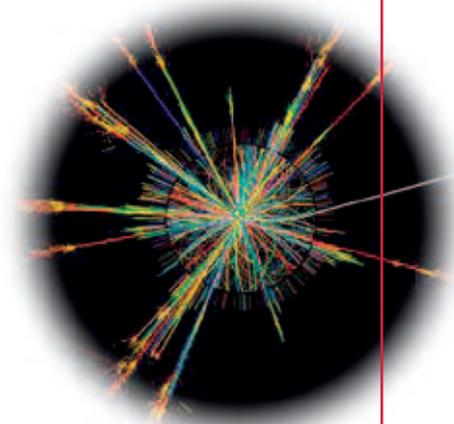
De plus, et ce point est extrêmement important, les résultats obtenus par l'étude du cosmos démontrent que l'Univers est constitué pour l'essentiel de substances absentes du Modèle Standard : la matière et l'énergie dites « noires ».

Les pistes poursuivies pour étendre le Modèle Standard sont multiples. L'une des plus attrayantes, « SuSy », met en jeu une « super symétrie » qui supprime certains des problèmes théoriques internes au Modèle Standard, prédit l'existence de nouvelles particules (dont certaines sont des candidates naturelles à la matière noire) et de nouveaux champs. Cette nouvelle symétrie offre en outre un élément permettant d'incorporer aussi la gravitation, à terme. Mais « SuSy » n'est pas la seule piste à poursuivre, loin s'en faut, comme en atteste, par exemple, les recherches destinées à dévoiler l'existence de dimensions supplémentaires aux quatre dimensions usuelles de l'espace-temps.

Avec l'avènement du Modèle Standard, mis à part des « alertes » parfois longues à s'éteindre, l'écrasante majorité des résultats expérimentaux vient compléter la validation de la théorie.

Ainsi, les courants neutres (prédits par l'existence du boson Z de l'interaction électrofaible) sont observés dès 1973, au Cern. Puis, dix ans plus tard, encore au Cern, les bosons W et Z de la même interaction électrofaible sont directement produits par le collisionneur proton-antiproton SppS, quelques années à peine après que les premiers signes de l'existence des bosons de l'interaction forte (les gluons) aient été mis en évidence à Desy (Allemagne).

En 1989, à l'avènement des accélérateurs électron-positron géants, le LEP au Cern et le SLC à Slac (USA), puis, peu après, du collisionneur électron-proton Hera à Desy, il ne manque plus que trois pièces au puzzle du Modèle Standard ; le neutrino de la troisième famille (celui associé au lepton « tau ») ; le deuxième quark de la même troisième famille (le quark « top » super massif) ; et enfin, le (ou les ?)



Simulation de la création d'un mini trou noir, lors d'une collision proton-proton, dans le détecteur Atlas du Large Hadron Collider. © Cern



boson(s) de Higgs. Il reste aussi à vérifier que les propriétés des bosons intermédiaires – tout comme celles du boson de Higgs (mais encore faut-il d'abord le découvrir... s'il existe!) – sont bien celles décrites par la théorie. Bien qu'aucune particule nouvelle n'ait été découverte au LEP, ce collisionneur a permis aux grandes collaborations mettant en œuvre les quatre détecteurs qu'il accueillait de valider le Modèle Standard en détail. Entre autres magnifiques résultats, le LEP aura démontré que les familles sont très précisément au nombre de trois, que le neutrino « tau » est léger, comme le sont les neutrinos des deux premières familles, que le quark « top » est dotée d'une masse très élevée. Par un tour de force expérimental et théorique, la masse du quark top sera même déterminée, à travers le biais des corrections quantiques de la théorie, avant qu'il ne soit observé. Qui plus est, l'ensemble des mesures de hautes précisions pointent vers « un » boson de

Higgs relativement léger, d'une masse aux alentours de $115\text{GeV}/c^2$, juste à la limite des capacités de détection du grand collisionneur. Sans oublier, entre autres prouesses touchant l'interaction forte, la démonstration expérimentale que la symétrie de Yang-Mills sous jacente est bien la symétrie $SU(3)$ postulée en 1973, que la constante d'interaction forte est bien la même quel que soit le processus étudié (que ce soit au LEP, à Hera ou ailleurs) et que l'évolution en énergie de cette « constante » est en accord avec la liberté asymptotique. La maîtrise de la mesure de la constante d'interaction forte est atteinte vers le milieu des années quatre-vingt-dix. Combinée aux déterminations très précises des deux constantes de couplage de l'interaction électrofaible, ces mesures semblent indiquer une unification approximative des trois forces, à très haute énergie. L'unification des forces semble même pouvoir être parfaite si une théorie comme SuSy est prise en compte.

Après ces succès remarquables, qui dépassent de très loin les espoirs initiaux, l'Europe perd peu à peu le tout premier rôle qu'elle tenait depuis les années quatre-vingt : après avoir été indirectement mis en évidence par le LEP et SLC, le quark « top » est directement observé en 1995 auprès du collisionneur Tevatron, à FNAL aux USA (avec la masse annoncée par le LEP et le SLC) et le neutrino « tau » est mis en évidence en 2001 dans le même laboratoire. Plus tard, le phénomène attendu d'oscillation des neutrinos qui établit simultanément l'existence de leurs masses et de leur mélange entre familles (analogue au mélange entre les familles de quarks à l'origine de la violation de CP) sera établi par un ensemble d'expériences dont la plus importante, SuperKamiokande, est située au Japon. C'est également hors des frontières de l'Europe que deux expériences jumelles se lancent dans un vaste programme d'étude de la violation de CP dans le secteur des mésons B, c'est-à-dire dans un domaine où la troisième famille de quarks joue le rôle principal; il s'agit des usines à B et de leur détecteurs, Belle, à KeK (Japon) et BaBar, à Slac (USA). Depuis l'an 2000, dans l'attente de la mise en service du LHC au Cern, Desy reste le seul site européen actif en physique des hautes énergies.

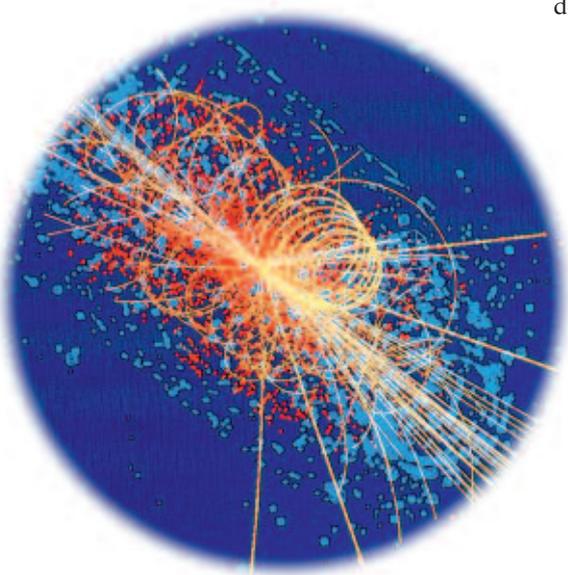
Outre sa très forte implication dans la réalisation des grands détecteurs du LHC : Atlas, CMS, LHCb et Alice – et c'est bien là que se situent les enjeux principaux de la physique des particules aujourd'hui – l'IN2P3 contribue à la poursuite de la recherche vive en physique des particules principalement à travers les collaborations : BaBar (PeP-II à Slac); D0 et CDF (Tevatron, à FNAL) et H1 (Hera, à Desy). Dans le même temps, l'Institut s'est engagé dans un intense effort de R&D, dédié à la définition des détecteurs qui seront placés auprès de la machine de la génération suivant celle du LHC : le collisionneur linéaire international e^+e^- , ILC.

La période 2004-2006 a vu la confirmation du triomphe des usines à B qui ont pulvérisé les pronostics les plus optimistes en délivrant près de quatre fois plus de données qu'espéré, qui plus est d'une

excellente qualité, aux deux détecteurs. La compétition est rude entre ces deux projets qui ont maintenant accompli leur mission première, fournir une validation précise du paradigme décrivant la violation de CP dans le cadre du Modèle Standard et qui tiennent toujours le devant de la scène internationale dans le domaine de la physique des particules. Ainsi la violation directe de CP dans le secteur des B a été observée en 2004.

Avant la mise en exploitation du LHC, la frontière des hautes énergies est explorée par le Tevatron à FNAL. L'IN2P3 a pris une place de premier plan dans la collaboration D0 et joue un rôle visible dans l'expérience CDF. Les équipes de l'Institut participent activement à la collecte d'une abondante moisson de résultats, jouant ainsi un rôle d'éclaireur pour la préparation à la physique du LHC. Depuis 2004, la qualité du fonctionnement du Tevatron rend concevable une découverte du boson de Higgs à FNAL, s'il est léger comme attendu et si la maîtrise des détecteurs tient ses promesses.

Pour BaBar comme pour D0, le Centre de calcul de Lyon a démontré qu'il faisait partie des meilleurs centres mondiaux en prenant dans les deux cas une responsabilité déterminante dans le calcul intensif, le stockage des grandes masses de données issues des expériences ainsi que de leurs exploitations simultanées.



*Simulation de la désintégration d'un boson de Higgs en quatre muons dans le détecteur CMS du Large Hadron Collider.
© Cern*

L'Institut concentre ses forces pour la fin de la construction et pour l'intégration des détecteurs du LHC. Fin 2006, l'intégration *in situ* des détecteurs Atlas, CMS et LHCb est considérablement avancée : les engagements de l'IN2P3 ont tous été tenus. Parallèlement, dans le cadre de la collaboration W-LCG (World LHC Computing Grid) l'Institut, en collaboration avec le Dapnia, participe à l'étape suivante : la mise en œuvre du calcul distribué du LHC. En 2004 a été fondé le projet LCG-France dont le premier objectif est de réaliser un nœud majeur (Tier1) de la grille, au Centre de calcul de Lyon. Le démarrage du LHC, prévu pour l'année 2008, marquera le retour en Europe du centre de gravité mondial de la recherche en physique des particules.

La machine de la prochaine génération sera un collisionneur linéaire à électron qui offrira un outil d'exploration, complémentaire du LHC, irremplaçable tant pour l'étude du mécanisme de brisure de la symétrie électrofaible que pour la compréhension de la nouvelle physique que le LHC devrait prochainement révéler. Avec un fort soutien de l'Europe, l'Institut contribue à l'effort mondial pour la conception de cette machine et des détecteurs devant être placés aux points de collisions. Leur réalisation pose de nouveaux défis technologiques auxquels s'attaquent de nombreuses équipes de l'Institut au sein de collaborations internationales de R&D où l'Institut joue souvent un rôle de leader.

PHYSIQUE NUCLÉAIRE ET HADRONIQUE

1

Structure et dynamique nucléaire aux extrêmes : une moisson de découvertes et un projet majeur SPIRAL2 qui préparent l'avenir

Sydney Galès

Les grandes questions à résoudre en physique du noyau sont directement liées à l'exploration des propriétés des assemblages de protons (Z) et neutrons (N) aux extrêmes

- **Quelle limites en moment angulaire total ou/et en température peuvent supporter ces « petits systèmes » ? Quelles formes et symétries stabilisent le système dans ces conditions ? Quel est leur diagramme de phase et la relation avec l'équation d'état de la matière nucléaire ?**
- **Où se trouve la limite en Z et en masse A des noyaux ? La quête de l'îlot de stabilité *via* la formation de noyaux des super-lourds « stable » reste une question ouverte.**
- **Où se trouvent les frontières de la stabilité lorsqu'on accroît le rapport N/Z du nombre neutrons aux protons ? Comment l'organisation en couches de ces noyaux dits « exotiques » est-elle modifiée (halo, peau de neutrons, clusters, pertinence des nombres magiques). Quelles nouvelles composantes de l'interaction élémentaire ces phénomènes révèlent-ils (trois corps, force tenseur, appariement n-p) ?**
- **La physique de ces noyaux « exotiques », espèces rares et éphémères formés à l'origine dans les fournaies stellaires, nous permettent aussi l'exploration de l'origine des éléments dans l'Univers en forte interaction avec l'astrophysique.**

La moisson de résultats collectés ces dernières années permet de percevoir les grands axes de développement tant sur le plan théorique et expérimental que sur le plan des instruments et des infrastructures, projets qui sont presque tous élaborés et réalisés dans le cadre de collaborations européennes et internationales.

Le texte qui suit permet d'illustrer ces lignes de force à travers quelques faits marquants récents dont certains sont détaillés plus loin.

Lorsqu'on accroît le moment angulaire total J et/ou la température T de ces petits systèmes quantiques, les limites d'existence sont liées aux formes « exotiques » que peuvent prendre ces systèmes ou encore l'excitation de modes collectifs à très haute d'énergie d'excitation. Dans une récente étude de collisions $^{40}\text{Ca}+^{40}\text{Ca}$ le mouvement de vibration d'amplitude la plus grande jamais observée dans les noyaux atomiques a été découvert au Ganil: un état à trois phonons construit avec des résonances géantes (PRL2006). Cette superposition (triple) de résonances géantes a été signée par son mode de décroissance par particules grâce au couplage de deux grands instruments, le spectrographe magnétique Speg et le multi détecteurs de particules chargées Indra.

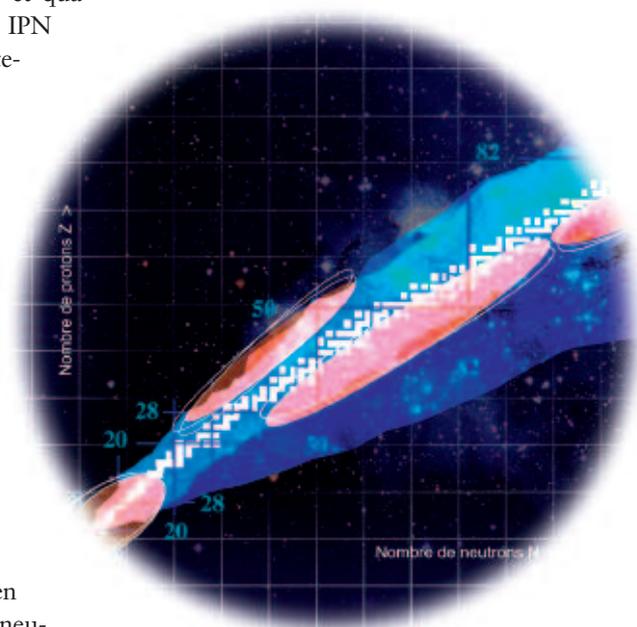
Enfin, au-delà de l'existence de modes collectifs, la multi fragmentation des noyaux observés dans les collisions d'ion lourds à énergie intermédiaire (50-200MeV/n) permet d'explorer le diagramme de phase de la matière nucléaire dans une région de densité élevée mais à température modérée.

C'est l'exploration des limites à basse énergie (autour de la barrière 5-10 MeV/nucléon) où se développe la « recherche de phénomènes rares à la limite de la cohésion nucléaire » : très hauts spins et

formes exotiques, drip-line proton, pairing et noyaux $N = Z$ par réaction de fusion-évaporation. Pour atteindre ces phénomènes rares, la communauté française mais aussi européenne a déjà fait évoluer ses moyens expérimentaux à travers la mise en service de deux générations successives de multi-détecteurs « gamma » voyageurs qui ont pour noms Eurogam et Euroball. Ces instruments ont fait reculer sans cesse les limites de détection des cascades gamma, signatures élégantes de formes extrêmes dans les noyaux. Or de tels phénomènes doivent être recherchés dans des voies de réactions qui ne représentent que quelques 10^{-6} de la section efficace de fusion.

C'est ainsi qu'a émergé, sous le nom d'Agata, la troisième génération de multi-détecteurs gamma « voyageur ». Le projet européen Agata est constitué d'une boule de germanium pur avec localisation du rayonnement gamma grâce à une large segmentation du détecteur. La collaboration européenne Agata regroupe onze pays (Allemagne, Bulgarie, Danemark, Finlande, France, Italie, Pologne, Roumanie, Royaume-Uni, Suède et Turquie) et quarante-cinq laboratoires dont sept français (CSNSM, Ganil, IPHC, IPN Lyon, IPN Orsay, LPSC, CEA-DSM-Dapnia Saclay). Ceux-ci sont fortement impliqués dans le projet par le développement de l'électronique frontale, de logiciels d'analyse de tracking γ et de l'acquisition de données à très haut débit, de l'analyse des données et de l'infrastructure d'Agata. Un démonstrateur correspondant à 10% d'Agata (six triples clusters) sera testé à partir de mi-2008 en conditions expérimentales au laboratoire de Legnaro, Italie. Cette phase de validation sera suivie d'une campagne de mesures d'un an avant le transfert au Ganil pour des expériences en couplage avec le spectromètre Vamos.

Carte des noyaux.
© Aprim



Dans la quête des éléments super-lourds, on recherche la très probable dernière fermeture de couches conduisant à l'îlot de stabilité des « super lourds », fermeture bien incertaine quand au nombre de protons et neutrons qui la réalisera ($Z = 114, 120, 126$), $N = 184$).

Dans ce domaine une collaboration franco-russe « Gabriela » étudie la structure des noyaux très lourds ($Z = 100$

et au-delà) au moyen de la spectroscopie de leurs descendants immédiats. Des résultats très encourageants ont été obtenus pour les isotopes $^{253,255}\text{No}$ et un isotope de $Z = 104$, le ^{259}Rf . Un projet d'un spectromètre magnétique, financé en partie par l'ANR est en cours de discussion avec Dubna.

Enfin c'est la physique des noyaux « exotiques », et son potentiel de découvertes, qui mobilise l'ensemble de la communauté nationale mais aussi européenne et internationale.

Les avancées techniques en matière d'accélérateurs d'ions de haute intensité ont permis un début d'exploration de continent inconnu de plus de 6000 espèces « exotiques ». Les premiers pas font apparaître des structures inattendues et/ou des propriétés nouvelles.

Pour « la physique des noyaux loin de la stabilité », le Ganil et ses faisceaux d'ions lourds parmi les plus intenses au monde dans leur domaine d'énergie (20-100 MeV/nucléon) et la nouvelle installation Isol Spiral1, qui a maintenant atteint son régime de croisière, ont permis une vraie moisson de « découvertes ».

Les systèmes à trois corps « Borroméens » dont les sous-systèmes à deux corps sont instables, ou encore possédant une structure en « clusters », sont l'objet d'intenses recherches expérimentales grâce aux faisceaux d'hélium riche en neutron (^6He) de Spiral1. Le fait marquant est la découverte de l'isotope d'hydrogène « super-lourd » ^7H , une résonance étroite du système $1p+6n$.

De plus, en 2005 et 2006, les expériences conduites au Ganil ont démontrés que les nombres magiques, associés au remplissage des couches pour les protons et pour les neutrons, ne s'appliquaient pas aux noyaux exotiques. Sur le plan théorique, il a été avancé que le terme tenseur de l'interaction



nucléaire effective, ignoré jusqu'à présent modifiait profondément sur la structure en couche de ces noyaux. Deux faits marquants sont à retenir. Ils sont associés à l'observation des propriétés des premiers niveaux excités du ^{42}Si et ^{46}Ar qui remettent en cause la fermeture de couche bien établie à $N=28$.

Avec Spiral1, seule une fraction limitée d'espèces rares (principalement des noyaux légers) est accessible à des intensités suffisantes. Il faut donc étendre la gamme des ions secondaires radioactifs disponibles, en particulier vers les noyaux moyens et lourds, riches en neutrons, tout en augmentant considérablement les intensités. Le projet Spiral2 préparé depuis plusieurs années à ces deux objectifs. La décision de construire Spiral2 au Ganil a été prise en mai 2005 par le Ministère de la recherche, le CNRS et le CEA.

L'objectif est de faire du Ganil l'un des quatre grands centres mondiaux de la recherche sur les noyaux exotiques. Construire Spiral2 et le doter d'instruments de détections innovants, le tout dans un cadre européen voir mondial, est la priorité de l'Institut dans ce domaine.

Rappelons que la méthode de production choisie pour Spiral2 est la fission induite par neutrons rapides. Le *driver* sera constitué d'une source intense de deutons suivie d'un RFQ et d'un linéaire supraconducteur qui produira un faisceau de deutons de 5mA à 40 MeV (200 kW). Ce faisceau sera converti en flux intense de neutrons dans un convertisseur qui produira $5 \cdot 10^{13}$ fissions/s dans une cible épaisse de carbure d'uranium. Après diffusion et ionisation, on pourra disposer de faisceaux très intenses d'ions très riches en neutrons, ayant des masses situées entre 70 et 150, qui seront triés puis

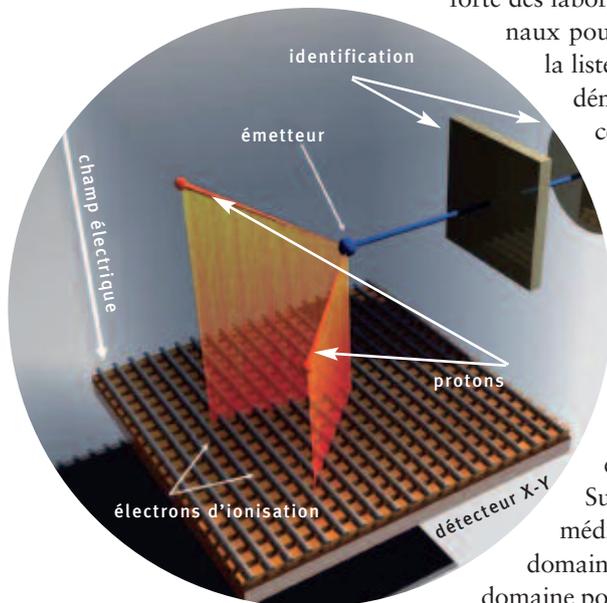
injectés et accélérés à des énergies autour de 6 MeV/nucléon par le cyclotron Cime. À titre d'exemple, on pourra disposer d'un faisceau de ^{132}Sn d'environ 10^9 pps. L'ensemble envisagé peut aussi se doter d'une source très intense (1mA) d'ions lourds qui pourront être accélérés par l'ensemble RFQ+Linac à 15 MeV/nucléon. Cet accélérateur produira les faisceaux d'ions lourds stables les plus intenses au monde à l'aube de la prochaine décennie. Le projet est chiffré à 130M€ (salaires compris), il est financé dans le cadre d'une convention CEA, CNRS, Région de Basse-Normandie.

Un groupe de construction du projet a été nommé dès mi-2005. Depuis, on assiste à la mobilisation forte des laboratoires français et à la mise en place d'accords européens et internationaux pour l'accélérateur et les nouveaux instruments. Spiral a été retenue dans la liste des infrastructures européennes à réaliser (ESFRI) et la construction a démarrée en 2006. Il pourrait être opérationnel vers fin 2011 pour les faisceaux stables et vers mi 2013 pour les faisceaux radioactifs. Un vaste programme de R&D a été lancé, en particulier lié à la production des noyaux riches en neutrons.

Dans ce cadre l'ensemble accélérateur Alto de l'IPN d'Orsay, de production du même type d'ions exotiques riches en neutrons que Spiral2 mais à des taux de production 100 à 1000 fois moins élevés, au moyen de la photofission, a fourni son premier faisceau en juillet 2006 et devrait être complètement opérationnelle dès le début de 2008. Alto est un beau succès sur le chemin de Spiral2. Un programme de physique dédiée et des équipements de physique sont aussi en cours de construction.

Sur la feuille de route européenne de la discipline Spiral2 est l'étape intermédiaire indispensable sur la route de la machine européenne ultime du domaine Eurisol. Le plan à long terme (2015-2020) de NuPECC dans ce domaine pour l'Europe repose sur le déploiement de deux installations complémentaires: l'une autour du projet de GSI, de production par des ions lourds relativistes intenses (1 GeV/nucléon) et l'autre avec une installation Isol de nouvelle génération.

Vingt instituts européens sont en charge de la définition de la machine Eurisol qui a reçu un support financier européen dans le cadre du 6^e PCRD, Eurisol Design Study, 9,5 M€. Les caractéristiques de ce projet futur sont détaillées dans ce rapport. La coordination du projet Eurisol est assurée par le Ganil La forte synergie entre les performances retenues pour Eurisol et la technologie mise en œuvre pour Spiral2 montre que Ganil pourrait être un excellent site pour accueillir Eurisol.

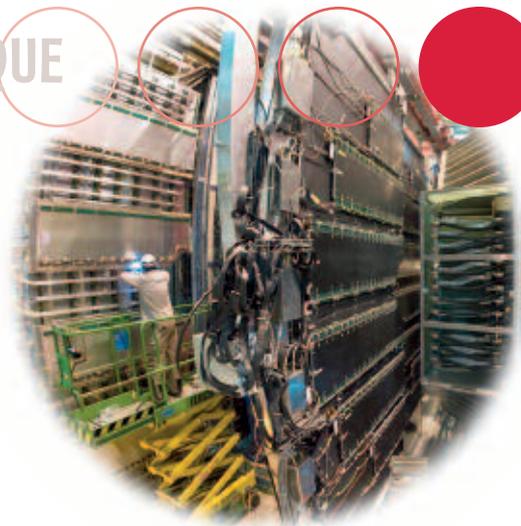


2

Physique hadronique

Barbara Erazmus

Les grands thèmes abordés dans le domaine de la physique hadronique à l'IN2P3 concernent le plasma de quarks et de gluons, les effets du milieu nucléaire et la structure du nucléon.



Le spectromètre à muons d'Alice. © Cern

Plasma de quarks et de gluons

Les recherches d'un nouvel état de la matière, le plasma de quarks et de gluons déconfinés, ont débuté au SPS du Cern dans les expériences NA38/NA50 et, ensuite NA60, dédiées à la production de paires de muons dans les collisions proton-noyau et noyau-noyau. L'expérience NA60 a confirmé l'absorption anormale, au delà des effets nucléaires standards, du J/ψ mise en évidence par NA50. Cette observable est l'une des signatures prédites de la création d'un milieu déconfiné.

Les études de la production des mésons J/ψ sont poursuivies avec l'expérience Phenix auprès du collisionneur RHIC au Laboratoire national de Brookhaven aux États-Unis. L'analyse des collisions d'ions lourds démontre à nouveau l'absorption anormale du J/ψ . Toutefois, cette suppression est moins importante que celle prédite par des simples extrapolations des résultats du SPS. Un des mécanismes entrant en jeu pourrait être la recombinaison de quarks charmés formés en abondance au RHIC. Au delà de l'analyse des données, les efforts des chercheurs et des ingénieurs de l'IN2P3 ont également porté sur la conception de cartes d'électronique Silicon Pixel Interface & Read-Out.

Une autre expérience située auprès du RHIC, Star, a permis aux équipes de l'IN2P3 de caractériser l'état de la matière à de très hautes valeurs de densité et de température à travers les propriétés des particules étranges et multi-étranges. Afin d'améliorer la précision des mesures de l'étrangeté, les laboratoires français ont réalisé et installé en 2004 le détecteur en capteurs en silicium à micropistes (Silicon Strip Detector). Le SSD constitue désormais la partie essentielle de l'ensemble des détecteurs de vertex de l'expérience Star.

L'ensemble des signatures du plasma de quarks et de gluons pourront bientôt être accessibles grâce à Alice qui est la seule de quatre expériences au LHC dédiée à l'étude des collisions d'ions lourds. Les conditions expérimentales caractérisées par une augmentation considérable de la densité d'énergie et de la température seront particulièrement favorables à l'exploration du diagramme de phase de la matière nucléaire. Les laboratoires français ont apporté une contribution importante à la construction de plusieurs détecteurs de l'expérience Alice. L'IN2P3 et le Dapnia sont impliqués dans la construction et l'installation du spectromètre à muons, l'un des grands sous-systèmes d'Alice. Les deux couches du système de trajectographie interne, basées sur la technologie du silicium à micropistes double face, qui a fait ses preuves dans l'expérience Star, ont été construites et installées avec succès au Cern en décembre 2006. Les équipes de l'IN2P3 ont souhaité élargir davantage la contribution au développement de l'expérience Alice en se joignant au projet de la construction du calorimètre électromagnétique Emcal en collaboration avec des laboratoires américains et italiens.

Aux vues d'excellentes performances des laboratoires, démontrées lors de la construction des différents sous-ensembles d'Alice, la direction de l'IN2P3 a approuvé ce nouveau projet. En parallèle de la construction et de l'installation des détecteurs, la collaboration poursuit un effort considérable de développement d'outils d'analyse et de calcul. Les physiciens de l'IN2P3 coordonnent plusieurs groupes de travail préparant l'analyse des données.



Effets du milieu nucléaire

L'un des principaux objectifs concerne l'étude du comportement des hadrons (baryons, mésons étranges et mésons vecteurs) dans la matière dense et chaude formée lors de collisions d'ions lourds délivrés par l'accélérateur SIS du GSI à Darmstadt.

Les laboratoires de l'IN2P3 participent aux expériences Fopi et Hades.

L'expérience Fopi a permis d'obtenir des résultats très intéressants en mettant en évidence notamment un potentiel répulsif des K^+ et un signal de Sigma (1385) sous le seuil de création. Par ailleurs le laboratoire LPC de Clermont-Ferrand assume la responsabilité du détecteur de scintillateurs plastiques. La participation française dans l'expérience Fopi sera bientôt achevée, les physiciens impliqués ayant rejoint la collaboration Alice.

L'expérience Hades est dédiée à la mesure de paires de leptons dans le but d'étudier la fonction spectrale des mésons vecteurs dont la modification dans le milieu nucléaire pourrait être considérée comme le signe de la restauration de la symétrie chirale. Les conditions de résolution sont sans cesse améliorées permettant d'effectuer prochainement une analyse des données de très bonne qualité.

Structure du nucléon

Les études de la structure du nucléon sont effectuées avec des faisceaux d'électrons au Jefferson Laboratory aux États-Unis. Les équipes de l'IN2P3 et du Dapnia y sont impliquées depuis de nombreuses années. La qualité de la participation française a toujours été très appréciée, tant au niveau de la contribution technique qu'au plan de l'analyse des données et du développement des concepts originaux. Les physiciens français sont porte-paroles de deux expériences visant à mesurer pour la première fois les sections efficaces de la diffusion Compton profondément virtuelle (DVSC) qui permettent d'accéder aux Distributions de Partons Généralisées donnant l'image complète du nucléon. Une autre série de mesures a eu pour objectif d'étudier la contribution du quark étrange aux distributions électrique et magnétique du nucléon. Les résultats qui sont encore en cours d'analyse montrent pour la première fois une contribution significative du quark étrange au contenu du nucléon.

Le projet de développement de l'accélérateur d'électrons au Jefferson Laboratory, impliquant l'augmentation de l'énergie du faisceau du 6 à 12 GeV, a été accepté aux États-Unis. La nouvelle machine présentera des performances uniques au monde et permettra d'explorer la structure du nucléon au-delà des limites existantes. La direction de l'IN2P3 a approuvé la participation de ses équipes au projet JLAB 12 GeV, toujours en collaboration étroite avec le Dapnia.

Ainsi, dans le domaine de l'étude de la structure du nucléon des perspectives nouvelles et très prometteuses s'ouvrent désormais avec le projet d'extension du Jefferson Laboratory. Une vraie synergie, existante déjà, entre les laboratoires de l'IN2P3 et du Dapnia et une participation des théoriciens, plus forte encore, permettra de maintenir une implication forte, visible et appréciée par la collaboration internationale.

Dans les années à venir, Alice sera le projet phare en physique d'ions lourds relativistes. Il s'agira d'exploiter son énorme potentiel d'analyse des données en étudiant les propriétés de l'état des partons deconfinés créés dans les collisions des noyaux tout en prenant soin de progresser dans la compréhension des phénomènes de référence présents dans les collisions des protons et entre les protons et les noyaux.

Les mesures auprès du collisionneur du RHIC restent complémentaires. Leur poursuite dépendra des disponibilités des faisceaux d'ions au LHC ainsi que de l'implication des équipes.

*ci-contre:
Assemblage du cœur
de l'expérience Alice.
©Antonio Saba,
juillet 2006*

ASTROPARTICULE ET NEUTRINO AU SEIN DE L'IN2P3

Stavros Katsanevas



Le XX^e siècle a vu naître les deux théories majeures qui forment le cadre, encore indépassable, de notre connaissance de l'infiniment petit et de l'infiniment grand : la mécanique quantique et la relativité générale. Il a aussi vu la compréhension détaillée des 3 interactions qui régissent la physique de l'infiniment petit dans le cadre du Modèle Standard de la physique des particules. À l'opposé de l'échelle la relativité générale, théorie de la gravitation, a permis pour la première fois de prendre l'Univers comme objet et décrire sa naissance et évolution. Le modèle du Big Bang, a eu aussi une confirmation spectaculaire à travers la découverte du fond diffus cosmologique et de ses fluctuations, en cohérence avec la compréhension de la nucléosynthèse primordiale des éléments. La cosmologie, à la fin du siècle précédent, est devenue une cosmologie de précision. Pourtant, à l'aube de ce nouveau siècle, on ne peut pas considérer la compréhension de la physique fondamentale des deux infinis comme une tâche accomplie.

En ce qui concerne la physique des particules, la confirmation expérimentale que les neutrinos ont une masse, pointe vers une théorie au-delà du Modèle Standard. La majorité des mécanismes théoriques inventés pour expliquer la masse du neutrino impliquent une nouvelle physique aux très hautes énergies proches, d'ailleurs, à l'échelle d'unification des trois interactions prédite par les expériences du LEP. La masse du neutrino devient ainsi le seul indice expérimental d'existence d'une physique au-delà du Modèle Standard. Comprendre alors ses paramètres (ses angles de mélange et l'échelle absolue de sa masse), sa nature (est-il sa propre antiparticule?) et l'éventuelle violation de la symétrie entre particule et antiparticule (violation CP) forment le cœur du programme expérimental de l'IN2P3 pour le neutrino.

En ce qui concerne la cosmologie, même si les paramètres cosmologiques nous sont connus à quelques pour cent près on constate que 96% de l'Univers serait constitué de matière et énergie noire dont la nature nous échappe. De même le mécanisme dit d'inflation de création des structures du cosmos à partir d'infimes fluctuations quantiques reste toujours inconnu. On se trouve à une situation similaire à celle de la fin du XIX^e siècle quand les lois des gaz étaient connues mais on ignorait encore la nature des particules qui les composaient.

En ce début de XXI^e on connaît la thermodynamique de l'Univers avec précision mais on ne connaît pas toute sa microphysique. Comprendre la nature du processus de l'inflation, de l'énergie et matière noire forme le cœur du programme cosmologique de l'IN2P3.

Les extensions du Modèle Standard de la physique des particules (supersymétrie, dimensions supplémentaires...) prédisent des candidats naturels pour cette nouvelle microphysique. De même, la compréhension des paramètres du neutrino aurait des répercussions importantes sur la cosmologie : la violation de CP au secteur des neutrinos pourrait être à l'origine de l'asymétrie matière-antimatière. En parallèle, la découverte, ces dernières décennies, des émissions de rayonnement de haute énergie en provenance de plusieurs sites cosmiques (pulsars, supernovae, sursauts gamma, noyaux actifs de galaxie...) a catalysé le rapprochement de la physique des particules avec l'astrophysique.

On pense que derrière ces phénomènes violents se trouvent des corps cosmiques compacts (trous noirs, étoiles à neutrons...). Leurs processus d'explosion, d'accrétion ou fusion donneraient lieu à des fantastiques accélérations de particules et une production de rayonnement bien au-delà de ce qui peut être produit aux accélérateurs terrestres. La compréhension de ces phénomènes passe par leur étude à plusieurs longueurs d'onde du rayonnement électromagnétique et à travers la détection des particules chargées de très haute énergie, des neutrinos et des ondes gravitationnelles.

Ce nouveau domaine est dans un certain sens un retour aux sources, puisque l'énigme de l'origine du rayonnement cosmique a accompagné la physique des particules à ses débuts, et plusieurs particules élémentaires y ont été découvertes. Aujourd'hui encore les sites extrêmes de production de ce rayonnement pourraient mettre en difficulté nos idées sur les interactions fondamentales. Les observatoires de l'astroparticule pourraient aussi apporter plusieurs éléments à notre image cosmologique à tra-



vers la détection indirecte de la matière noire, la standardisation des sources, et l'atténuation des signaux par le rayonnement ou l'espace-temps intergalactique. L'ouverture des nouvelles fenêtres sur le cosmos et l'inauguration de nouvelles branches de l'astronomie à travers la détection des nouveaux messagers forme le cœur du programme de l'IN2P3 en ce qui concerne l'astroparticule.

Les projets de l'astroparticule à l'IN2P3 concernent, en 2006, deux cents chercheurs et enseignants chercheurs ou un total de 365 ETP (Equivalent Temps Plein) avec les ingénieurs et techniciens; le budget annuel est de l'ordre de 10 M€ (en incluant les ressources des programmes IN2P3, le financement des TGE Virgo et Hess, les ressources du programme interdisciplinaire des astroparticules, et les ressources propres en provenance du Cnes, de l'ANR et de l'UE). Ce budget sert à financer les programmes suivants :

Neutrino

Les deux programmes neutrino majeurs de l'IN2P3 entre 2004 et 2006 ont été Nemo3 et Opera. Nemo3, située au Laboratoire Souterrain de Modane au Fréjus (LSM), est une expérience de recherche de la masse du neutrino à travers la mesure de la désintégration double bêta d'isotopes rares. Nemo3 est en prise de données depuis 2003 et la collaboration a publié des limites importantes sur la masse du neutrino.

Par ailleurs, la construction de la partie électronique du détecteur Opera, principale responsabilité de l'IN2P3, a été achevée en 2006, et le remplissage du détecteur par des éléments de cible sensible (briques d'émulsion) est en cours. L'expérience Opera située au tunnel du Gran Sasso et illuminée par un faisceau neutrino en provenance du Cern cherche à mettre en évidence l'oscillation neutrino mu en neutrino tau, dans le mode d'apparition. Les premiers événements en provenance du faisceau issu du Cern ont été enregistrés vers la fin de 2006.

Deux nouvelles expériences pour l'étude du troisième angle de mélange des neutrinos ont été approuvées en 2006 : Double Chooz, un ensemble de deux détecteurs installés auprès du réacteur de Chooz dans les Ardennes et la participation française à l'expérience T2K, au Japon, expérience d'oscillation utilisant le faisceau neutrino JParc illuminant un nouveau détecteur proche et le détecteur SuperKamioka.

Cosmologie

La construction de l'observatoire spatial Planck a été achevée en 2006. Planck a pour but la mesure des fluctuations du fonds diffus cosmologique avec une précision de 1 %. Cette mesure permettra d'étudier le mécanisme d'inflation. La charge utile de Planck est maintenant en cours de test pour un lancement au cours de 2008.

L'équipe de l'IN2P3 qui a participé au Supernova Cosmology Project (SCP) a partagé avec ses collaborateurs le prestigieux prix Gruber. SCP fut l'un des deux projets qui en 1998 ont mis en évidence, l'accélération de l'Univers, accélération qui serait due à une force répulsive, appelée énergie noire. Plusieurs chercheurs de l'IN2P3, en collaboration avec les équipes d'Insu et du CEA, ont développé une série d'instruments qui vont permettre l'approfondissement de ces premières mesures : Nearby Supernova Factory (SNIFS) et Supernova Legacy Survey, (SNLS). En 2006, Snifs a détecté les premières dizaines de Supernovae proches, dont l'analyse permettra d'augmenter la précision de mesure de l'équation d'état de l'énergie noire. SNLS, de l'autre côté, a publié en 2006 des résultats très cités, de grande sensibilité, qui ont permis une détermination de l'équation d'état de l'énergie noire avec une précision inégalée jusqu'à aujourd'hui.

En ce qui concerne la recherche de matière sombre, la collaboration de recherche de matière sombre baryonique Eros a publié ses résultats finaux, mettant des contraintes sévères sur l'existence de ce type de matière sombre. Par ailleurs l'observatoire de matière sombre non-baryonique Edelweiss est entré dans sa deuxième phase (Edelweiss-II) en installant une vingtaine de bolomètres dans une cuve cryogénique blindée au laboratoire de Modane. La prise de données a commencé à la fin de 2006.

Les équipes étudiant les micrométéorites, pour trouver des traces de la formation et de l'évolution de notre système solaire ont fait d'importantes publications sur le sujet à des revues prestigieuses (Nature...). Par ailleurs, deux expériences n-EDM et Granit utilisent les neutrons de l'III pour étudier le moment dipolaire du neutron et les états quantiques d'un potentiel gravitationnel, respectivement. Ils approchent le domaine de sensibilité où leur résultats auraient des répercussions sur les théories du Modèle Standard et des dimensions supplémentaires.

Observatoires de l'astroparticule

En ce qui concerne les expériences étudiant les phénomènes cosmiques de haute énergie l'IN2P3 est impliqué dans 2 observatoires majeurs au sol (Hess et Auger), un au fond de l'océan (Antares), deux observatoires spatiaux (Glast et AMS) et une expérience ballon (Cream). L'IN2P3 participe également à l'observatoire d'ondes gravitationnelles Virgo et la construction de Lisa-Pathfinder, mission spatiale technique préparant le lancement de l'observatoire spatial d'ondes gravitationnelles Lisa (à l'horizon 2018).

L'observatoire Hess, constitué de quatre télescopes déployés en Namibie, étudie les gerbes induites par des photons de très haute énergie (100 GeV à plusieurs TeV) à travers leur rayonnement Cherenkov. Il est en prise des données depuis 2003, et une extension (Hess-II) par un cinquième télescope de très grande surface est en construction avec date de mise en opération mi-2009. Le nombre et la qualité des résultats de Hess sont tels que l'on dit de lui qu'il inaugure l'astronomie de photons de haute énergie. Là où, avant lui, on ne connaissait qu'une petite dizaine de sources de rayons gamma énergétiques le nombre des sources détectées par Hess approche la centaine. Des données importantes sur la morphologie des sources et leur variation fine en temps permettent des analyses inégalées et des tests cruciaux des théories de l'origine des rayons cosmiques. Les exploits de Hess ont été couronnés par le prestigieux prix européen Descartes 2006.

L'observatoire Auger-Sud, constitué d'un ensemble de mille six cents détecteurs de particules associé à un système de vingt-quatre télescopes à fluorescence en phase finale de déploiement en Argentine, étudie les gerbes induites par des rayons cosmiques ultra-énergétiques (supérieures à un million de TeV). Auger a publié récemment l'évidence de corrélation des rayons cosmiques de très haute énergie avec les Noyaux Actifs de Galaxie. Ce dernier résultat peut aussi être considéré comme un pas très important vers l'astronomie avec des rayons cosmiques chargés de très haute énergie.

Une cuve du détecteur Auger. © Auger





Le télescope sous-marin Antares, qui sera constitué de douze lignes, instrumentées de photomultiplicateurs à une profondeur de 2400 m au sud de la Seyne-sur-Mer (Toulon), étudie les neutrinos de très haute énergie (100 GeV à plusieurs centaines de TeV). Au cours de 2006, cinq lignes ont été déployées qui font déjà d'Antares le plus grand télescope neutrino de hautes énergies de l'hémisphère nord et le seul en opération dans l'océan. Quelques centaines de neutrinos ont été détectées. Le déploiement sera complété au printemps de 2008.

Glast, le satellite Nasa pour l'étude du ciel gamma à haute énergie (de quelques dizaines de MeV à quelques dizaines de GeV), est un des projets majeurs du domaine; il augmentera le nombre des sources connues de phénomènes violents par deux ordres de grandeur.

Les contributions de l'IN2P3 ont été achevées (structure du calorimètre, calibration, *software* d'analyse et analyse) pendant la période 2004-2006. Il est en cours de test pour un lancement au printemps 2008.

AMS est l'observatoire de la station spatiale internationale (ISS) pour l'étude des rayons cosmiques de haute énergie et la recherche d'antimatière. Les contributions de l'IN2P3 (calorimètre et détecteur Rich) ont été achevées en 2004-2006. La charge utile est en cours d'intégration au Cern. AMS souffre des incertitudes du calendrier de la navette spatiale survenues après l'accident de 2003. La collaboration vise à un lancement au cours de 2009. Une partie du programme d'AMS sera effectuée par Cream, un ballon de vol de longue durée pour la détection des rayons cosmiques chargés. Le détecteur d'ondes gravitationnelles Virgo est un interféromètre laser constitué de deux bras orthogonaux de trois kilomètres de longueur, situé à Cascina/Pise en Italie et opéré par le consortium franco-italien (CNRS/INFN) Ego. La collaboration Virgo a fait de très gros progrès, en 2004-2006, dans la mise au point de l'interféromètre. L'augmentation de la sensibilité, maintenant proche de celle de Ligo, antenne d'ondes gravitationnelles américaine, a permis la prise de données continue en coïncidence pour une période de quatre mois en 2007.

Il y a trois infrastructures de l'IN2P3 pour l'astroparticule et le neutrino qui demandent des relations étroites de coopération avec la région: le télescope Antares (région Paca), le Laboratoire Souterrain de Modane (région Rhône-Alpes) et le détecteur Double Chooz auprès du réacteur Chooz (région Champagne-Ardenne). Des améliorations des infrastructures, des extensions ou de nouvelles constructions sont en discussion dans des cadres bilatéraux et de CPER avec les régions respectives. Mener à terme ces constructions est une des grandes priorités de l'IN2P3 pour les années à venir.

PROGRAMME PACE – AVAL DU CYCLE

Hubert Doubre



Le programme PACE a pris fin en 2006, après les quinze ans de recherches prévus par la loi Bataille de 1991. Beaucoup d'efforts ont été consacrés à présenter le bilan de huit années du programme.

Ils se sont tout d'abord concrétisés par la parution d'une brochure résumant le travail des groupements et actions concertées de recherche : il était important que, même modeste, la contribution du CNRS puisse être mise en regard des rapports que le CEA et l'Andra, pilotes des recherches sur les trois axes, ont remis en 2006. Mi-2005, le CNRS a participé au colloque organisé par le ministère de la Recherche : « Recherches sur les déchets nucléaires, acquis et perspectives à l'échéance 2006 ». Des documents illustrant les recherches ont également été présentés à l'Office Parlementaire des Choix scientifiques et Techniques. Le travail du CNRS sur les années passées a été reconnu, et le rôle de l'organisme a été précisé, dans ce domaine, pour les années à venir.

L'objectif du groupement de recherche Gedepeon (Gestion des Déchets et Production D'énergie par des Options Nouvelles) qui réunit le CEA, le CNRS, EDF et Areva, est l'étude de systèmes nucléaires innovants, dans une approche intégrée portant aussi bien sur la réduction de la quantité et de la radiotoxicité des déchets que sur la production d'énergie. Les travaux ont concerné des mesures (directes à Bordeaux, Geel et au Cern, indirectes à Orsay) de sections efficaces d'intérêt, en particulier capture et fission des neutrons sur les actinides mineurs et noyaux du cycle du thorium, complétées par des études de sensibilité et de propagation des incertitudes dans les calculs de neutronique. La réalisation de composants de systèmes sous-critiques a franchi deux étapes : les conclusions tirées de l'expérience Museiv à Cadarache et la réussite de l'expérience Megapie (un semestre de faisceau d'1 MW) sur une cible de Pb-Bi liquide. Les cavités Spoke pour la partie « énergie intermédiaire » de l'accélérateur haute intensité de protons sont en cours de qualification. Sur les systèmes innovants, les travaux ont été consacrés aux réacteurs à sels fondus, dont le combustible est à base de thorium : coefficients de sûreté, surgénération, transition depuis les réacteurs actuels vers de tels systèmes. On notera l'évolution des thèmes vers les systèmes surgénérateurs et les matériaux associés, et aussi la production d'hydrogène dans des réacteurs fonctionnant à haute température (au-delà de 800°C). Pareille évolution est également observée avec le groupement Paris (Physicochimie des Actinides et autres Radioéléments aux Interfaces et en Solution, en collaboration avec l'Andra, le CEA et EDF), qui consacre maintenant une partie de ses activités aux problèmes de séparation et de retraitement par voie pyrochimique dans des sels fondus à basse et haute température, d'extraction par fluides supercritiques... Ces travaux sont soutenus par le Programme commun de recherches (PCR) sur les sels fondus (études thermodynamiques de différents milieux, extraction et comportement des produits de fission en milieu sels fondus, structure physicochimique du milieu, simulation par dynamique moléculaire, recherche et validation de matériaux en contact avec les sels fondus). Une évolution encore plus nette est observée pour le groupement de recherches Nomade (Nouveaux matériaux pour déchets) devenu Matinex (Matériaux innovants en conditions extrêmes), en collaboration avec le CEA, EDF et Areva. En effet, les travaux consacrés aux matrices de conditionnement pour les actinides sont d'une part terminés pour l'essentiel, d'autre part ne correspondent plus à une option à long terme. Par contre, il est apparu indispensable de faire porter les efforts sur cette partie de chimie du solide qui peut être associée au fonctionnement de systèmes nucléaires à haute température. C'est pourquoi le groupement s'est recentré sur l'étude et la caractérisation des matériaux céramique, en particulier pour le combustible.

Les travaux du groupement Forpro (Formations Profondes) ont été étroitement couplés à l'implantation du laboratoire souterrain sur le site de Meuse/Haute-Marne, pour caractériser le comportement à long terme de la formation géologique susceptible d'accueillir un stockage. Dans une première phase, accompagnant les forages de l'Andra, les échantillons recueillis ont fourni une image détaillée des formations géologiques rencontrées, de l'évolution passée de la pile sédimentaire et des transferts l'ayant affectée. Une seconde phase, pendant le fonçage des puits, a poursuivi l'analyse structurale, paléontologique, sédimentaire et géochimique des sédiments remontés. Via la géochimie (mise au point d'une méthode de datation des eaux souterraines à l'aide du ⁸¹Kr et couplage avec la méthode au ³⁶Cl), l'accent a été mis sur la détermination des vitesses d'écoulement des eaux des



niveaux perméables résiduels des formations calcaires encadrant la couche d'argilites. D'autre part, la très faible évolution diagénétique de l'argilite de Bure et en particulier l'absence d'interaction eau-roche détectable à l'échelle des minéraux ont été confirmées. La zone d'endommagement en parois de galeries et de puits a été reconnue et caractérisée.

Depuis l'été 2005, les équipes du CNRS réalisent deux expériences dans le laboratoire souterrain, sur les déformations différées de la paroi en fonction des conditions de saturation en eau et sur l'impact de l'ouverture d'une galerie sur les propriétés de confinement de la couche hôte. Par ailleurs des méthodes physiques innovantes d'imagerie 3D de la zone d'endommagement ont été testées au laboratoire du Mont-Terri (Suisse). Des analyses systématiques microbiologiques ont été menées avec succès sur les argilites de Bure et du Mont-Terri afin de distinguer les populations bactériennes autochtones dormantes des populations exotiques introduites lors des travaux souterrains.

En chimie, Paris a réorienté une partie de ses travaux vers la rétention et la migration des radionucléides dans les milieux argileux : modélisation des échanges, mécanismes réactionnels aux interfaces (mécanismes de sorption), et constitution d'une base de données thermodynamiques. Les données recueillies ont permis de décrire les équilibres en jeu dans les processus de rétention des ions par les minéraux. Le taux de rétention des ions des radionucléides est maintenant évalué pour un ensemble de solides, dont la plupart intéressent le stockage. Les équipes se sont aussi attaché à comprendre les transformations structurales subies par le combustible usé au cours de son entreposage ou d'un éventuel stockage.

L'ampleur des échelles temporelles et spatiales pertinentes dans les analyses de sûreté et la complexité des phénoménologies en jeu (physique, chimie, mécanique, hydrogéologie) rendent indispensable la simulation numérique pour enrichir les données expérimentales.

Le groupement de Recherches Momas (Modélisations mathématiques et Simulations numériques liées à la gestion des déchets nucléaires), centré sur les mathématiques appliquées, fédère autour de lui cinq autres partenaires : l'Andra, le BRGM, le CEA, EDF et l'IRSN. Les travaux du GDR ont porté sur la consolidation des bases mathématiques et la production de nouveaux modèles, le développement de méthodes d'approximation, la production d'algorithmes efficaces et la quantification des incertitudes. Ces travaux concernent donc le stockage souterrain des radionucléides tel qu'il est envisagé en Meuse/Haute-Marne et les simulations doivent permettre d'arriver à des prédictions sûres pour des périodes de temps s'étendant jusqu'au milieu d'année. Les thèmes scientifiques abordés sont structurés sur quatre thématiques : les écoulements di-phasiques, le transport réactif et l'hydrologie, les méthodes multi-échelles et l'homogénéisation, enfin le traitement des incertitudes. Une part importante du travail est consacrée à des exercices de *benchmarking*, qui seuls permettent une mesure des outils de simulation utilisés et l'appropriation de nouvelles méthodes numériques et algorithmiques. Ces *benchmarks* ont porté sur le transport des RN en milieu bi- et tri-dimensionnel sur un horizon allant au million d'années et sur la simulation d'excavation en comportement hydromécanique fragile. Ces *benchmarks* sont évidemment une opportunité de collaboration étroite avec l'Andra.

Le GDR a réorienté une partie de ses efforts vers la rétention et la migration des radionucléides dans les milieux argileux : modélisation des échanges, mécanismes réactionnels aux interfaces (mécanismes de sorption), et constitution d'une base de données thermodynamiques.

Dès son origine, le programme Pace a noué des relations fortes avec certains chercheurs en sciences humaines et sociales. Cette ouverture disciplinaire s'est traduite par plusieurs opérations menées en partenariat avec le programme « Risques Collectifs et Situations de Crise » (CNRS) et le Centre de Sociologie de l'Innovation (CSI-École des Mines de Paris). En 2005, un séminaire interdisciplinaire a été organisé par l'Axe Risques collectifs et Situations de Crise de la MSH-Alpes et le CSI, avec le soutien de Pace. Il a donné lieu à la publication d'une brochure « Recherche et déchets nucléaires – une réflexion interdisciplinaire » largement diffusée, après un intense échange entre chercheurs de disciplines différentes. Cet échange a permis de bien caractériser les divers points de vue et de rapprocher les communautés.

Le conseil d'administration du CNRS a mis en place en mars 2007 un nouveau programme interdisciplinaire nommé Pacen sur les mêmes thèmes, suivant en cela les recommandations émises au cours de la discussion de la loi de juin 2006.

POLITIQUE DANS LE DOMAINE DES ACCÉLÉRATEURS INSTRUMENTATION

Alex Mueller

Les accélérateurs sont des outils essentiels du développement scientifique dans les domaines de la physique nucléaire et des hautes énergies. Une forte activité de R&D (pouvant être suivie d'une phase de construction) existe au sein de l'IN2P3 et de la DSM. Elle vise à accompagner les besoins exprimés à travers les évolutions de nos champs scientifiques. Par ailleurs plusieurs programmes scientifiques du futur exigent le développement (dans la mesure du possible en partenariat avec des industriels) de nouvelles techniques de détection assurant des performances de pointe en termes de résolution spatiale et temporelle, une intégration accrue, une complexité croissante et un coût maîtrisé (détecteurs CMOS et à micropattern, détecteurs bolométriques, développements en microélectronique...).

L'Institut a toujours considéré le caractère stratégique d'une activité de R&D vigoureuse dans le domaine des accélérateurs. En effet, les avancées de la recherche fondamentale sont largement conditionnées par les progrès réalisés sur ces instruments de plus en plus complexes. Il est clair que les retombées sociétales sont également très importantes. Comme pour les autres pays, cela passe par une concentration des moyens et une coordination efficace entre les laboratoires: en 2005 avait été mis en place une structure copilotée entre l'IN2P3 et le CEA/DSM/Dapnia, le pôle accélérateurs. Des collaborations, en particulier avec le Cern sont également mises en place. Le projet Spiral2, dont la construction a démarré au Ganil (Caen) est une bonne illustration de la politique menée par l'Institut: la R&D entamée depuis des années sur les cavités accélératrices et les accélérateurs de forte puissance a pu ainsi se concrétiser. À plus petite échelle, la mise en service progressive de l'accélérateur linéaire d'électrons Alto au tandem d'Orsay soutient la R&D sur la production d'ions radioactifs au profit de Spiral2.

Cette politique s'est poursuivie, en particulier dans les domaines privilégiés suivants, dans le cadre européen le plus souvent:

- R&D sur les cavités accélératrices supraconductrices de fort gradient et les coupleurs de puissance en vue des projets ILC ou Eurisol, ainsi que sur les sources de protons et d'ions lourds intenses (>1mA), nécessaire pour tous les accélérateurs de forte puissance. Ces accélérateurs ont des champs d'application multiples: outre la recherche fondamentale en physique nucléaire et des particules, on peut citer la source de spallation européenne, la transmutation des déchets radioactifs avec un couplage réacteur/accélérateur, nécessitant un accélérateur à très haute fiabilité pour garantir un fonctionnement stable du réacteur. La R&D se poursuit également dans le domaine des sources, afin d'en améliorer constamment les performances, en particulier le dispositif « multiplicateur de charge » est



crucial pour les installations de production d'ions radioactifs, tels Spiral2 ou Eurisol.

- Continuation des efforts en vue de l'achèvement de l'injecteur de protons de haute intensité Iphi pour le Cern (3 MeV, 100 mA, horizon 2008) en vue d'augmenter l'intensité des machines du Cern (projet Linac4, 160 MeV 10 mA) et de se préparer à des faisceaux intenses de neutrinos ou d'ions lourds radioactifs (projet SPL) au Cern couplés éventuellement à Eurisol (beta beams horizon 2015-2020). L'IN2P3 a en charge dans le projet Iphi la ligne de faisceau, les diagnostics, le vide et le bloc d'arrêt notamment. En effectuant des essais de longue durée, Iphi permettra un test en vraie grandeur des aspects fiabilité, important pour les ADS. Pour la partie accélérateur linéaire à plus haute énergie de ces accélérateurs pour ADS, des concepts innovants sont développés.
 - Développement des sources d'électrons pour ILC, avec le travail mené par le Lal sur le photo injecteur dans le cadre d'un projet européen du 6^e PCRD. Des développements sur la source de positrons, par la canalisation ou le processus Compton sont également poursuivis au Lal.
 - Participation à la R&D sur Clic, avec le Cern, en vue d'un collisionneur linéaire $e^+ e^-$ au Cern multi-TeV au delà de 2020.
 - Travail sur la problématique du point d'interaction des futurs collisionneurs (ILC, Clic) au Lal : à l'interface de la physique des particules et des accélérateurs, les performances ultimes en sont complètement dépendantes.

Plusieurs sujets sont abordés : interaction faisceau-faisceau, schémas d'extraction post collision, participation au projet ATF2 avec le Kek (Japon) pour la validation de nouveaux principes de focalisation finale et conception de la zone d'interaction.

- Veille technologique sur les techniques d'accélération, en incluant celles très innovantes (accélération par laser par exemple).
- Mise à la disposition de la société les progrès accomplis : machines médicales, couplage d'accélérateurs à des réacteurs de recherche pour préparer les réacteurs hybrides du futur en vue du retraitement des déchets nucléaires (projet Guinevere après Genepi).
- Pour mener à bien toutes ces missions, les laboratoires Lal et Ipno ont monté en collaboration avec le CEA une plateforme technologique de recherche distribuée en Ile-de-France, SupraTech. Cette plateforme comprend des installations à Saclay pour le CEA, à l'Ipno et au Lal pour l'IN2P3. Comme fait marquant de l'année 2006 on peut citer le lancement de la salle blanche à l'Ipno.

L'INFORMATIQUE À L'IN2P3

François Étienne



Au cours de la période 2004-2006, les développements logiciels entrepris dans les laboratoires de l'IN2P3 s'inscrivent la plupart du temps dans des projets de grande envergure impliquant plusieurs dizaines voire centaines de contributeurs, et font donc appel à des technologies de production collective de logiciels, qui ont fait l'objet d'une école thématique en octobre 2004 (<http://ecoleinfo04.lal.in2p3.fr/>). Plusieurs laboratoires offrent des structures d'hébergement de projets logiciels avec des fonctionnalités de documentation collaborative (wikis¹), de gestion de code (svn²), et de rapport de défauts et de demande de changements, dont Trac³ est un exemple typique. De nombreux outils collaboratifs (forums, publication d'agenda, systèmes de gestion de réunions et de conférences, de réservation de salles) ont été mis en place.

Il faut souligner les nombreux contacts qui ont lieu entre les informaticiens de l'IN2P3, soit directement de laboratoire à laboratoire, mais aussi très souvent grâce au point de focalisation naturel qu'est le centre de calcul de l'IN2P3. Cet aspect communautaire, déjà ancien mais renforcé par la mise en place des infrastructures de grille, a culminé lors de la tenue des cinquièmes Journées Informatique à Lyon en septembre 2006 (<http://lapp.in2p3.fr/JI06/>).

Une grande tendance préfigurant l'évolution globale de l'informatique à l'IN2P3 est la mise en place progressive d'opérations de mutualisations impliquant une décentralisation de services communs à l'ensemble de la discipline en France, comme la sauvegarde des données des laboratoires à distance, désormais économiquement viable. Cette approche permet de trouver un bon équilibre entre la mise à disposition des chercheurs de l'Institut de ressources informatiques massives tout en conservant une proximité des personnels chargés de leur mise en œuvre.

Ces évolutions ont généralement entraîné des modifications importantes des infrastructures matérielles (multiplication et diversification des machines à gérer, parfois refonte radicale des salles machines) et logicielles (importance croissante des produits open-source, renforcement de la sécurité). Mais elles ont aussi impliqué la réorganisation des ressources humaines des services informatiques (place grandissante du support du poste de travail, y compris à distance, problématique de l'intégration des ressources locales et des ressources partagées au niveau de la grille).

À ce titre on peut citer parmi les évolutions qui ont le plus marqué l'informatique locale des laboratoires de l'IN2P3 :

- la mise en place des premiers sites Tier-2 et Tier-3 du projet LCG
- la banalisation de l'ordinateur portable comme poste de travail
- la systématisation de la couverture des bâtiments en réseau sans fil
- l'émergence de l'emploi d'outils de virtualisation au niveau des serveurs centraux.

1 Un wiki est un système de gestion de contenu de site Web qui rend les pages Web librement et également modifiables par tous les visiteurs autorisés.

2 Subversion (parfois abrégé SVN) est un logiciel informatique de gestion de versionnement.

3 Un wiki orienté développement et support technique.

La sécurité informatique à l'IN2P3

Pendant la période 2004-2006 le caractère stratégique de la sécurité informatique à l'IN2P3 s'est confirmé. En effet la dépendance de toutes les activités de l'Institut envers l'outil informatique s'est renforcée, la disponibilité des ressources informatiques est devenue un enjeu majeur que ce soit pour les applications de bureautiques et de messagerie ou pour les simulations du LHC. Parallèlement le périmètre de la sécurité s'est élargi avec l'accroissement fort de la mobilité la mise en réseau systématique des systèmes de contrôle/commande et l'ouverture de l'IN2P3 à la grille de calcul.

Dans la même période les attaques informatiques se sont intensifiées. À titre d'exemple les serveurs SSH de l'IN2P3 enregistrent chacun, aujourd'hui environ 10 000 tentatives frauduleuses de *login*/mois à comparer à quelques tentatives/mois en 2003 !

Face à ces risques le groupe sécurité informatique de l'IN2P3 a réagi par le renforcement des règles de filtrage en entrée de site (les accès Telnet, Imap, Shell ont tous été remplacés par leur version sécurisée SSH, Imaps), par le cloisonnement des réseaux avec par exemple la mise en place systématique de réseaux visiteurs, par le renforcement de l'authentification grâce à l'école authentification d'octobre 2005, et enfin par la mise en place de systèmes de détection d'intrusion avec en particulier le déploiement du logiciel Extra développé grâce à la mutualisation des efforts du LPSC de l'IPNL et du CC. Cet outil a été adapté pour être conforme avec la politique de gestion de trace du CNRS déclarée à la Cnil en 2005.

Le Centre de Calcul de l'IN2P3/CNRS (<http://cc.in2p3.fr>)

Le Centre de Calcul de l'IN2P3/CNRS fournit des ressources de calcul et de stockage massif à l'ensemble des chercheurs de l'IN2P3, ainsi que des services de communication, de travail collaboratif et de multimédia (hébergement sites web, vidéoconférence, courrier électronique, agenda, gestion de documents électroniques, etc.). Il est financé à 80% par les Très Grands Équipements (TGE) du CNRS et à 20% au titre d'une convention avec le Laboratoire de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers (Dapnia) du CEA. Principalement utilisé par des chercheurs en physique corpusculaire, le CC-IN2P3 a ouvert ses ressources aux chercheurs d'autres disciplines (principalement des sciences de la vie). Dans le cadre de la politique de valorisation de l'IN2P3, le CC-IN2P3 mène également une stratégie d'ouverture auprès des industriels, notamment dans la région Rhône-Alpes. Depuis 2004, le CC-IN2P3 a conforté son rôle dans le développement des grilles de calcul : il est l'un des onze centres mondiaux de traitement de premier niveau (Tier 1) des données du LHC et l'un des quatre seuls centres qui devront fournir la capacité de stockage et de calcul pour l'ensemble des quatre expériences installées sur l'accélérateur. Une fraction importante du personnel participe au déploiement et à l'opération de la grille pluridisciplinaire Egee (Enabling Grids for E-Science).

Depuis 2004, les ressources du CC-IN2P3 sont en forte augmentation afin de répondre aux besoins des expériences du LHC prévu pour démarrer en 2008. Aujourd'hui, le CC-IN2P3 dispose de près de 1200 machines biprocesseurs, équivalent à plus de onze millions de SpecInt2000 (~26 Téraflopps), utilisées en permanence et simultanément par environ 6000 tâches différentes. Le CC-IN2P3 a également considérablement augmenté ses capacités de stockage qui atteignent aujourd'hui 2 Pétaoctets sur disques et plus de 5 Pétaoctets sur cartouches magnétiques.

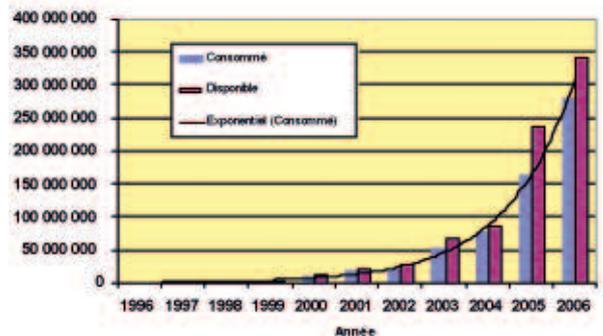
Parallèlement à la forte montée en puissance pour le LHC, le CC-IN2P3 continue de faire évoluer ses ressources et son environnement pour satisfaire les besoins des autres expériences. Le Centre de Calcul continue à jouer un rôle majeur pour l'exploitation des données de BaBar à Slac et de D0 à Fermilab. Plusieurs expériences d'astroparticules utilisent largement le CC-IN2P3, et en particulier sa capacité à stocker, distribuer et traiter des masses énormes de données.

Depuis plusieurs années, la salle informatique du CC-IN2P3, tout comme celles de la plupart des grands centres informatiques, doit faire face à une demande de plus en plus grande en termes de puissance électrique et de capacité de refroidissement. En 2006 d'importants travaux de remise à niveau des infrastructures de la salle machine ont dû être entrepris afin de porter à 1 MW la puissance électrique utilisable pour l'informatique et de remettre complètement à niveau le système de climatisation. D'autre part, même après cette jouvence, la salle machine ne pouvant pas supporter à elle seule l'évolution des ressources du CC-IN2P3 après 2009, une extension du bâtiment est engagée. Ce projet prévoit un doublement de la surface de la salle machine et la construction de nouveaux espaces de travail (bureaux, salles de réunion, amphi). Ce projet est inscrit dans le Contrat de Projets État Région 2007-2013 et est fortement soutenu par le CNRS.

Entre 2004 et 2006, le personnel du CC-IN2P3 a augmenté de plus de 10 «équivalents temps pleins», une grande partie de cette main d'œuvre très qualifiée est liée à la mise en place et à l'exploitation du projet Egee.

Le CC-IN2P3 est un acteur important du processus de mutualisation des ressources informatique à l'IN2P3. L'acquisition en 2006 des licences pour le logiciel GPFs pour l'ensemble des laboratoires intéressées ainsi que la centralisation des sauvegardes des données pour quelques laboratoires pilotes, illustrent cette politique. Enfin, 2006 a été l'occasion pour le CC-IN2P3 de fêter ses vingt ans à Lyon, en présence de près de 300 personnes.

Évolution de la capacité CPU au CC-IN2P3



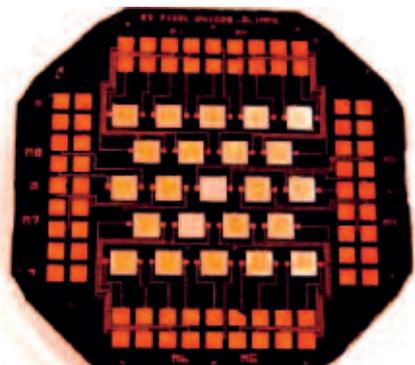
L'INSTRUMENTATION À L'IN2P3

Pascal Dargent

Les activités de R&D en « Instrumentation » à l'IN2P3 sont à la source de la construction des détecteurs tant en Physique des Particules qu'en Physique Nucléaire et en Astroparticules. Par « Instrumentation » on entend les développements de *Capteurs* (ou *senseurs*), *monocomposants* ou *matriciels*, et leur *électronique de proximité*. Ces produits constituent des sous-systèmes de détecteurs, ou d'accélérateurs. Les besoins des projets de l'IN2P3 sont souvent très spécifiques, mais amènent des développements précurseurs pour des applications pluridisciplinaires, voir industrielles.

Les technologies mises en œuvre couvrent les domaines des scintillateurs, des tubes photomultiplicateurs, des détecteurs silicium, germanium, des détecteurs à gaz, des bolomètres, de la microélectronique CMOS et des technologies intégrées de traitement numérique et analogique du signal.

Matrice de 23 senseurs
TES



Bolomètres

Le programme DCMB (Développement Concerté de Matrices de Bolomètres), cofinancé par le Cnes, coordonne les efforts de dix laboratoires du CNRS, dont trois de l'IN2P3 (APC, CSNSM et LPSC). Il vise à résoudre, en amont des expériences futures telles que celles destinées à l'étude du fond cosmologique micro-ondes, les problèmes liés à la fabrication et à la lecture de matrices de bolomètres fonctionnant à très basse température.

Il se traduit par la réalisation de matrices (23 et 204 pixels) sur wafers de Silicium avec membranes de Si_3N_4 , et la maîtrise de deux types de thermomètres en couches minces adaptés à la lithographie :

- Thermomètres Haute Impédance (HI)
- Thermomètres Supraconducteurs (TES)

L'électronique cryogénique associée fait également l'objet d'études avancées, notamment la lecture multiplexée de TES par Squid.

Matrices CMOS

Les capteurs CMOS sont développés à l'IPHC depuis de nombreuses années, avec pour premier objectif d'équiper des détecteurs de trajectoires (détecteurs Star, CBM...). Les récents développements de composants EB-CMOS (Electron bombarded CMOS), associant les technologies de tube à vide à celles des capteurs CMOS amincis, ouvrent des champs d'application pluridisciplinaires grâce à des performances exceptionnelles d'imagerie à comptage de photon.

Une première européenne, rendue possible grâce à une collaboration fructueuse de l'IPHC et de l'IPNL avec la société Photonis SA, a pu se concrétiser avec la réalisation d'un démonstrateur (ebMimosa5) de 1024x1024 pixels, apportant une résolution de 13 μm et une vitesse de lecture de 50 images par seconde.

Les objectifs sont maintenant d'atteindre un pitch de 10 μm , et une vitesse de lecture de 10 à 100 fois plus élevée, tout en conservant la sensibilité au photon unique. Un tel composant permettra notamment d'améliorer la microscopie par bioluminescence et par fluorescence *in vivo*, et l'analyse du comportement de molécules dans les cellules vivantes.

L'avenir de ces travaux est stratégique pour la physique des hautes énergies, et les équipes de l'Institut restent à la pointe de la technologie. Les évolutions de la microélectronique vers les techniques d'intégration multicouches (3D) est, notamment, un axe très prometteur.

PROGRAMMES PLURIDISCIPLINAIRES

1

Interface avec les sciences de la vie

Gérard Montarou

Le contexte au sein de l'Institut

Les activités situées à la frontière entre la Physique, la Biologie et la Médecine connaissent depuis 2000 un véritable essor au sein de l'IN2P3. Cette thématique implique actuellement 10 des 20 laboratoires de l'Institut. Dans tous ces laboratoires ce domaine d'activité est maintenant reconnue et accepté comme une thématique de recherche à part entière. Dans certains de ces laboratoires, les équipes impliquées dans cette thématique ont atteint une taille suffisante qui leur permet de jouer un rôle majeur au côté de partenaires issus du domaine des Sciences de la Vie et de la Santé, que ce soit par des collaborations locales avec des CHU et des centres anticancéreux, ou avec des laboratoires de l'Inserm, du CEA, du CNRS et de l'IRSN. Globalement le nombre de chercheurs et d'ingénieurs impliqués dans ces équipes atteint une soixantaine de personnes, dont un nombre non négligeable provient maintenant d'autres partenaires (CHRU, hôpitaux, département SDV du CEA ou du CNRS). Par exemple le Groupe Interface Physique-Biologie de l'IPN d'Orsay est devenu une UMR interdisciplinaire (l'IMNC), relevant à la fois du département SDV et de l'Institut et qui regroupe des physiciens, des biologistes et des médecins. Chaque année, environ une dizaine de doctorants et post-doctorants obtiennent des financements par l'intermédiaire de partenariats avec des acteurs publics ou privés externes à l'Institut.

Les grands thèmes de recherche abordés au sein des équipes de l'Institut sont clairement identifiés :

- La caractérisation physico-chimique pour le vivant utilisant des méthodes d'analyse nucléaires ;
- L'utilisation de nanotechnologie pour la mise au point de biomatériaux ;
- L'interaction rayonnement-matière biologique pour la radiobiologie sur un vaste domaine d'échelle ; c'est-à-dire de l'interaction de rayonnement avec des molécules d'ADN, en passant à l'irradiation de cellule par microfaisceau ou macrofaisceau d'ions dans le cadre de protocoles expérimentaux de plus en plus sophistiqués ;
 - La simulation de l'interaction rayonnement-matière au moyen d'une plateforme de calcul commune (Geant4), basée au CCIN2P3, avec un domaine d'application allant du microscopique (échelle de la cellule pour la radiobiologie) jusqu'au macroscopique (plan de traitement en radiothérapie) ;
 - Développements en imagerie médicale et biologie pour la conception de sondes per-opératoires chirurgicales diverses, pour le développements de systèmes multimodaux pour l'imagerie du petit animal (corrélation de l'image tomographique fonctionnelle à l'image anatomique par combinaison TEP/CT ou TEMP/CT), et enfin pour l'utilisation de concepts technologiques innovant pour l'amélioration des tomographe cliniques ;
 - Plus récemment, deux nouvelles thématiques ont pris un essor considérable :
 - La thérapie par rayonnement ionisant ; du développement de systèmes évolués de dosimétrie pour la métrologie des faisceaux en radiothérapie à la mise au point de système de contrôle de la qualité des traitements de tumeurs localisées par faisceau d'hadron (proton et carbone) ;
 - L'utilisation des grilles de calculs pour la simulation en imagerie médicale, l'exploitation des capacités de calcul pour la génomique et le stockage des données pour le traitement des données médicales ;

Les atouts de l'Institut

L'Institut présente toutes les caractéristiques pour jouer un rôle majeur à l'interface entre la Physique, la Biologie et la Médecine. La liste des activités déjà existantes et ébauchées dans la section précédente en témoigne largement. Ces atouts relèvent bien entendu des compétences des laboratoires en instrumentation, en simulation, en électronique, et de la force de leurs services techniques qui sont autant d'éléments favorables au développement d'outils originaux et innovants pour les Sciences de la Vie. C'est le cas pour les systèmes d'imagerie médicale nucléaire actuels qui sont très souvent issus de développements issus de la recherche fondamentale en Physique.

En règle générale, les laboratoires de Biologie ou les services de Médecine initient des demandes spécifiques nécessaires pour répondre aux nouveaux besoins de diagnostics plus performants dans les domaines de la santé, mais n'ont en général pas les ressources et l'expertise nécessaires au développement de ces instruments. *A contrario*, les laboratoires de l'Institut possèdent les capacités en terme d'instrumentation qui permettent la mise des instruments répondant à ces besoins.

Un modèle de coopération entre médecins et physiciens est intervenu notamment lors des développements de systèmes de détection radioactifs et optiques per-opératoire dont le but est de guider le chirurgien au cours d'une intervention. La culture de projet et de coopération communément ancrée dans la culture des laboratoires de l'Institut a largement favorisé le dialogue permanent entre groupes partenaires provenant de domaines différents pour l'amélioration de systèmes médicaux performants. Parmi les nombreux exemples que l'on pourrait mettre en avant, trois particulièrement remarquables peuvent être mis en avant. Le traitement des données sur grille informatique constitue un enjeu majeur pour les équipes de recherche des Sciences de la Vie et le développement des biotechnologies appliquées au domaine de la santé. Le développement des technologies de grille figure parmi les choix stratégiques des agences de financement de la recherche. En collaboration avec le département SDV, l'Institut a été activement impliqué dans ces développements à travers des projets européens DataGrid (FP5) et Egee (FP6) et le réseau d'excellence Embrace (FP6) conduit par l'Institut Bioinformatique Européen. La mise en place de l'Institut des Grilles, dont le centre de calcul de l'Institut est un des éléments majeurs est également un atout fondamental pour déployer efficacement les applications de grille pour les Sciences de la Vie.

Les électroniques de lecture associées aux photodétecteurs de plus en plus performants sont également un domaine où l'expertise des laboratoires de l'Institut impulse de plus en plus d'applications innovantes dans le domaine de l'imagerie. Le réseau des microélectroniciens de l'ensemble des laboratoires de l'Institut a été impliqué et de nombreux développements ont été entrepris par les groupes impliqués dans cette activité.

Enfin les derniers développements émergents pour la radiobiologie et la radiothérapie qui exploitent l'expérience acquise par les chercheurs et les ingénieurs auprès des accélérateurs, ainsi que le contrôle des faisceaux et des systèmes de détection associés, prennent une importance de plus en plus grande dans le contexte des nouveaux centres de traitement actuellement en cours de construction (Nouveaux centre de Protonthérapie à Orsay, Centre Etoile à Lyon, centre CNAO à Pavie, projet Archade à Caen).



La mise en place d'une stratégie d'ouverture et de coopération adaptée

Ces dernières années ont été marquées par une ouverture de plus en plus importante des équipes de l'Institut et les différents établissements de recherche en lien avec de domaine de la santé et des sciences de la vie. Cela se traduit par des partenariats très forts au niveau régional, ainsi que par des participations de plus en plus nombreuses aux campagnes d'appel à projet national lancées par le CNRS ou l'ANR, voir européen dans le cadre des Programmes Cadre de Recherche de l'Union européenne. Cette ouverture vers les autres acteurs de la recherche dans le domaine des sciences de la vie et de la santé par une politique de co-évaluation des activités de certaines équipes de l'Institut.

C'est dans ce sens que les laboratoires les plus investis ont demandé un rattachement secondaire à la section 30 (thérapeutique et médicaments : concepts et moyens) et que l'IN2P3 conforte son association aux départements liés à cette même section (SPI, SDV).

La mise en place du plan national contre le cancer, avec la création de l'Inca et de sept cancéropôles régionaux, en charge de la coordination de ce plan, a également impulsé un plus grand nombre de partenariat entre des équipes de l'Institut et des établissements cliniques (CHRU ou centre anticancéreux régionaux). Parmi les actions retenues par l'Inca, l'utilisation de faisceaux d'hadrons pour le traitement d'un certain nombre de pathologies cancéreuses est une thématique qui a suscité un grand écho dans la communauté des équipes de l'IN2P3. La rénovation du Centre de protonthérapie d'Orsay a impliqué la participation d'ingénieurs de l'Institut, notamment de l'IPN d'Orsay. La décision par le ministère de la Santé de construire le centre Etoile à Lyon a impulsé la mise en place d'une synergie de partenariat entre divers établissements de Rhône-Alpes. De même le LPSC a participé ces dernières années de manière active à la construction du centre d'hadronthérapie CNAO à Pavie.

Dans ce contexte très dynamique, la mise en place du projet Archade (Advanced Resource Centre for HADrontherapy in Europe) pour la création à Caen un Centre européen de ressources en hadronthérapie, équipé d'une machine dédiée capable de délivrer des protons et des ions carbone pour faire de la recherche et du développement au plan technologique, de la formation. Ce centre pourrait devenir dans le futur l'élément central d'un programme structurant au niveau national voir européen et où les équipes de l'IN2P3 pourraient jouer un rôle majeur.

Une volonté de coordination

Les équipes de recherche d'une dizaine de laboratoires de l'IN2P3 se sont associées pour demander fin 2004, la création d'un groupement de recherche dont le thème principal concernait le développement de nouvelles approches méthodologiques pour l'imagerie biomédicale que ce soit dans le domaine de l'instrumentation ou de la modélisation (GDR MI2B). Le but de ce groupement est de :

- faciliter les échanges entre les équipes de recherche de l'IN2P3 travaillant à l'interface entre la Physique et les Sciences de la Vie (Biologie, Médecine, Radiothérapie),
- faire émerger des projets de développement communs,
- favoriser l'ouverture vers des partenaires des Sciences du Vivant.

À son renouvellement, en 2006, le GDR MI2B a été favorablement évalué par les départements Mippu et SDV du CNRS qui exerce maintenant la cotutelle scientifique. Ce groupement devrait être une des solutions opérationnelles judicieuses pour la mise en place d'une réelle interdisciplinarité et de la valorisation des travaux engagés. Les spécialistes des diverses disciplines doivent pouvoir s'y retrouver à intervalles réguliers et y développer des projets pertinents du point de vue des différentes disciplines.

2

Le Spatial

Stavros Katsanevas

Recherche et développement pour le Spatial

Les chercheurs de Nemo3 se sont engagés dans un effort de R&D en vue d'un détecteur appelée Super-Nemo, qui aurait une sensibilité à la masse du neutrino supérieure à Nemo3 d'un ordre de grandeur. D'autres chercheurs ont développé des méthodes innovantes, et à la pointe au niveau mondial, de détection des gerbes atmosphériques à travers leur impulsion radio (projet Codalema).

Il y a aussi une activité intense en ce qui concerne les détecteurs bolométriques, tant pour la recherche de matière noire (Edelweiss) que pour la détection du fonds diffus cosmologique (matrices) dans un cadre interdisciplinaire. Des méthodes alternatives (He superfluide, scintillation) sont aussi étudiées pour la détection directe de matière noire. Le projet Brain a fait des tests de communication à la station Concordia de l'Antarctique et continue des tests au laboratoire en vue d'un détecteur de mesure de la polarisation du fonds diffus cosmologique. Des chercheurs de l'IN2P3 ont construit (en collaboration avec l'Insu, et l'aide du Cnes et du DOE) le prototype d'un spectrographe pour le projet de satellite Snap pour l'étude de l'équation d'état de l'énergie noire.

Il y a eu aussi en 2004-2006 des efforts importants de R&D pour l'amélioration des méthodes de photodétection (photodétecteurs de grande taille, hybrides, à grande sensibilité ou en silicium) conduites dans le cadre d'un GIS avec la société Photonis. Le Laboratoire des Matériaux Avancés de Lyon a continué à fournir des miroirs et autres éléments optiques avec des propriétés de pointe au niveau mondial.

Finalement, des systèmes d'acquisition larges, intelligents, synchrones, autonomes et distribués ont été développés dans le cadre des programmes de l'astroparticule et du neutrino (Opera, Auger, Antares). Ils pourraient avoir plusieurs autres applications qui vont du suivi de l'environnement à la prévision des risques et à la prévention des catastrophes.

Le Spatial est une très grande priorité transversale de l'IN2P3 en ce qui concerne l'astroparticule et la cosmologie. Pendant les années 2004-2006 les laboratoires de l'IN2P3 ont fourni une série de réalisations majeures pour le Spatial (Planck, Glast et AMS). Dans le futur proche on attend deux lancements importants en 2008 (Planck et Glast) et un pour 2009-2010 (AMS). Grâce à ces réalisations, Le Cnes a commencé à considérer l'IN2P3 comme un partenaire à part entière (collaboration Planck, coordination de projet pour LisaPathfinder et Lisa, collaboration sur le spectrographe Snap). Finalement le rôle de l'IN2P3 dans Glast et AMS, projets Nasa/Doe, est bien reconnu.

Feuille de route européenne

Les années 2004-2006 ont vu la fin de construction d'une série d'expériences ou observatoires qui ont été projetées autour de 2000. Ces réalisations ont commencé à porter leurs fruits et plusieurs publications majeures et résultats d'importance historique ont commencé à voir le jour (Hess, Auger, SNLS). Ceci montre que les risques pris il y a cinq à sept ans ont été bien mesurés. Aujourd'hui une nouvelle génération d'infrastructures se dessine, elle est du type Très Grand Équipement. Le futur doit être préparé en coordination avec nos partenaires européens et aussi mondiaux.

Cette coordination, traditionnellement faite dans le cadre d'ApPEC (Astroparticule European Coordination), a reçu une aide importante de la part de l'Union européenne en 2006. Cette dernière a financé le réseau d'agences Aspera (ASTroparticule European Research Area Network), émanation d'ApPEC,



coordonné par le
DAS Astroparticules
IN2P3 au nom du CNRS.

L'UE a aussi financé un
réseau voisin pour l'astrophysique,
Astronet, coordonné par le DAS
astrophysique Insu.

Dans le cadre d'Aspera une feuille de route et une série de priorités pour les grandes infrastructures de la décennie prochaine (2010-2020) est en préparation. En ce qui concerne les phénomènes cosmiques de haute énergie elles sont: un télescope sous-marin de taille 1 km³ en mer Méditerranée (suite d'Antares) pour l'astronomie neutrino, un grand réseau de Télescopes Cherenkov (suite de Hess) pour l'astronomie gamma de haute énergie et une réplique d'Auger à l'hémisphère Nord. En ce qui concerne les ondes gravitationnelles la suite du programme Virgo à advVirgo et jusqu'à une antenne de troisième génération (Einstein Telescope) est soutenue. En ce qui concerne les laboratoires souterrains, des détecteurs de l'ordre d'une tonne pour la détection de matière noire et la mesure de la masse du neutrino ainsi qu'un grand détecteur de l'ordre du mégatonne pour étudier le temps de vie du proton et l'astrophysique du neutrino ont une grande priorité. Pour abriter ces trois derniers il faudra étudier la modernisation et l'agrandissement du laboratoire souterrain de Modane dans un cadre international. Les décisions pour l'ordre de réalisation de ces infrastructures seront prises à l'horizon de 2010-2012 dans un contexte européen (ApPEC, Aspera) et mondial. En parallèle une grande mission spatiale d'astronomie gravitationnelle (Lisa) et un grand programme d'énergie noire complémentaire sol-espace (Large Synoptic Survey Telescope LSST et Snap/JDEM) sont à discuter avec les agences américaines DoE/NSF, l'Esa, la Nasa et le Cnes.

*Une gerbe de rayon
cosmique. © Aspera.*

L'IN2P3 mène conjointement recherches fondamentales et appliquées en physique subatomique et actions de formation. La mission de formation recouvre un spectre très large, du monde académique au grand public, et cette mission s'avère particulièrement essentielle dans un pays où les choix politiques en matière énergétique ont donné une place dominante à la filière nucléaire. Cette préoccupation au niveau de l'enseignement s'est par ailleurs concrétisée par la mise en place, fin 1999, d'un groupe de travail, le GREPS (Groupe de Réflexion sur l'Enseignement de la Physique Subatomique) conjoint entre l'IN2P3 et le CEA, groupe qui a fonctionné jusqu'en 2004. Ce groupe devait proposer des actions, pour tenter de « réagir » à la désaffection des jeunes pour les disciplines scientifiques et tout particulièrement la Physique. Il s'agissait également d'élargir la mission de l'Institut en termes de formation et d'information du public, notamment des jeunes, au niveau des thématiques sociétales sensibles que sont le nucléaire et ses applications.

Le Greps a mis en place plusieurs actions en direction des jeunes et de leurs enseignants dont les deux principales sont la création d'une école d'été annuelle et la préparation de conférences pour les lycéens. Depuis 2001 est ainsi organisée une école d'été annuelle appelée E2PHY (Ecole d'Été de Physique) traitant, au travers de l'implication de la physique, de problèmes sociétaux majeurs comme l'énergie, la santé ou le climat. Cette école s'adresse d'abord aux enseignants du secondaire, mais également à leurs collègues du supérieur, et offre une formation à la fois « culturelle » et « pratique ». L'aspect « culturel » permet une ouverture vers des champs disciplinaires dans lesquels la physique joue *de facto* un rôle important, en particulier « en amont ». L'aspect « pratique » vise à relier, dans la mesure du possible, les thématiques sociétales abordées aux contraintes des programmes d'enseignement, pour faciliter l'ouverture des élèves et des étudiants vers la Physique. Cette école, soutenue depuis sa création par le CEA et l'IN2P3, attire chaque année plusieurs centaines de participants de toute la France et de certains pays francophones.

Le Greps a également apporté une contribution importante au mouvement initié par les conférences Nepal (Noyaux Et Particules Au Lycée) à l'occasion du centenaire de la radioactivité à la fin des années quatre-vingt-dix. Le groupe Nepal avait préparé et diffusé, à l'intention des lycéens, quatre conférences sur des thèmes de recherche propres à l'IN2P3. Le Greps a étendu les thématiques abordées par ces conférences, désormais au nombre de douze. Une place importante a été faite, dans ces nouvelles conférences, aux implications sociétales de la physique subatomique, comme par exemple les applications de la radioactivité, les problèmes de déchets nucléaires ou de production d'énergie. Le travail de mise en place de nouvelles conférences continue aujourd'hui encore au sein des laboratoires de l'IN2P3.

Faits marquants



PHYSIQUE DES PARTICULES

Expériences en cours

36 Tevatron

37 BaBar

38 H1

LHC

39 Atlas, CMS et LHCb

43 La Grille de calcul du LHC

44 La Grille européenne

PHYSIQUE NUCLÉAIRE ET HADRONIQUE

Structure du nucléon

45 Contenu étrange du nucléon

46 Les Distributions de Partons Généralisées

47 Recherche de baryons exotiques

Plasma de quarks et de gluons

48 NA60

49 Phenix

50 Star

51 Alice

53 Fopi et Hades

Structure, dynamique nucléaire aux extrêmes

55 Les nombres magiques

56 Les vibrations géantes du noyau

57 Spectroscopie des noyaux lourds

58 Décroissance bêta d'ions dans un piège de Paul

59 Avancées dans la thermodynamique des petits systèmes

60 Avancées dans la description microscopique
de la structure d'un noyau et de ses modes de désintégration

ASTROPARTICULE ET NEUTRINO

61 Glast

62 CNGS et Opera

64 Virgo

66 LSM

68 Antares

69 Hess

70 L'Observatoire Pierre Auger

71 Eros2

INTERDISCIPLINAIRE

72 Application biomédicale

74 Activités et événements marquants du musée Curie

• PHYSIQUE DES PARTICULES

Expériences en cours

Tevatron : foison de résultats et perspectives enthousiasmantes au Run II

Éric Kajfasz

La moisson de résultats au Run II du Tevatron est abondante pour les équipes de l'IN2P3 impliquées dans D0 et CDF.

Le Tevatron, collisionneur p-pbar implanté au Fermilab près de Chicago aux États-Unis, de par sa luminosité et son énergie au centre de masse (1,96 TeV), permet aux expériences D0 et CDF d'accéder à un programme de physique très riche. Il comprend des mesures de précision du Modèle Standard, l'étude de la production (forte et faible) et des propriétés du quark top, la physique du B, des mesures de QCD, la recherche du boson de Higgs et de phénomènes nouveaux. La mise en œuvre de ce programme a déjà conduit D0 et CDF à publier plus de cent soixante articles dans des revues à comité de lecture.

Des progrès constants ont permis d'accroître la fiabilité et les performances du Tevatron, conduisant à des luminosités intégrées record de 170 pb^{-1} par mois. D0 et CDF ont déjà enregistré plus de 2 fb^{-1} de données chacune. Grâce à d'autres améliorations en cours, il est raisonnable d'espérer qu'elles obtiennent plus de 8 fb^{-1} fin 2009. Elles seraient alors en mesure de pou-

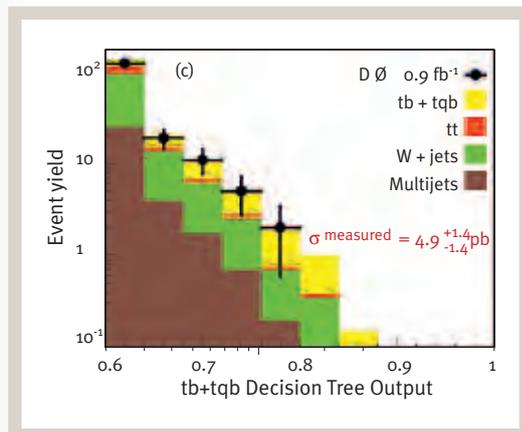
voir mettre en évidence la production d'un boson de Higgs léger.

Les équipes D0 (CDF) de l'IN2P3 sont composées de 42 (5) physiciens dont 28 (2) permanents. Les équipes de D0 jouent un rôle primordial dans le support, le suivi, la calibration et la simulation du calorimètre, le suivi et l'amélioration de la qualité des données, les algorithmes d'identification, les systèmes de déclenchement de niveau 1, 2 et 3, les outils logiciels d'analyse, le développement de capacité de calcul au CCIN2P3 pour l'analyse, la reconstruction d'une partie des données sur les grilles de calcul SAMGrid et LCG et la production massive d'événements de simulation, hors grille. L'équipe de CDF joue un rôle prépondérant dans la simulation du détecteur et la production massive au CCIN2P3 d'événements de simulation sur Grid et bientôt sur LCG.

Pour les analyses, l'IN2P3 a concentré ses efforts dans D0 sur la physique au-delà du Modèle Standard, la physique du quark top, la recherche du boson de Higgs, QCD et la mesure de la masse du W. Dans CDF, l'accent a été mis sur la physique du W, du B et du top. Entre 2004 et 2006, 14 (2) thèses ont été soutenues dans D0 (CDF). L'attention portée par nos équipes à la formation par la recherche se poursuit, avec 10 (1) thèses en cours. Pour les équipes de l'IN2P3 au Tevatron, de nouvelles publications sont en préparation et la chasse au boson de Higgs est ouverte!

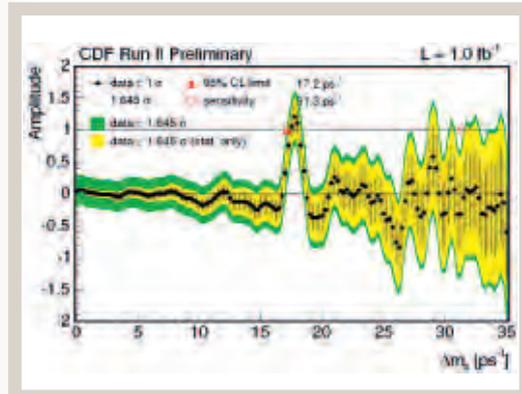
Mise en évidence de production faible du quark top

Une technique d'analyse sophistiquée, appelée arbre de décision, a permis à D0 de mettre en évidence la production faible du quark top et de mesurer pour la première fois sa section efficace ($4,9 \pm 1,4 \text{ pb}$), en bon accord avec le Modèle Standard.



Mesure de Δm_s

Amplitude de l'oscillation $B_s - \text{anti-}B_s$ mesurée dans les données du Run II du Tevatron, en fonction de la fréquence d'oscillation Δm_s , qui a permis à CDF d'extraire la première mesure précise de $\Delta m_s = 17,77 \pm 0,10 \text{ (stat)} \pm 0,07 \text{ (syst)} \text{ ps}^{-1}$, affinant le résultat initial de D0 établissant que Δm_s est situé dans l'intervalle $17 < \Delta m_s < 21 \text{ ps}^{-1}$.



<http://d0-france.in2p3.fr>
<http://www-d0.fnal.gov>
<http://www-cdf.fnal.gov/>

LABORATOIRES FRANÇAIS DE LA COLLABORATION D0

CNRS/IN2P3 : CPPM, IPHC, IPNL, LAL, LPC Clermont, LPNHE, LPSC I
 CEA/DSM : Dapnia/SPP.

LABORATOIRES FRANÇAIS DE LA COLLABORATION CDF

CNRS/IN2P3 : LPNHE.

BaBar et la violation de CP : précision et redondance

Denis Bernard

L'expérience BaBar, au Stanford Linear Accelerator Center (SLAC), étudie la violation de CP dans le système des mésons B. Avec 450 millions de paires BB̄ enregistrées depuis 1999, l'expérience met le Modèle Standard à l'épreuve.

Le Modèle Standard (MS) prédit une asymétrie entre les désintégrations des particules et celles de leurs antiparticules, due à la violation de CP, dans de nombreux canaux rares de désintégration des mésons B. L'accélérateur PEP-II produit par collisions e⁺e⁻ des mésons γ(4S), qui se désintègrent pour moitié en B⁰B⁰ et en B⁺B⁻, que l'expérience BaBar étudie. Une luminosité de 1,2 x 10³⁴cm⁻²s⁻¹ a été atteinte, soit quatre fois celle initialement prévue. Le programme scientifique continue ainsi de s'étendre : 280 articles ont déjà été publiés par PRL ou PRD.

Le MS rend compte de la violation de CP par l'existence d'un terme complexe dans la matrice CKM, qui relie les états propres d'interaction faible des quarks à leurs états propres de masse. Les mesures de violation de CP permettent d'accéder à chacun des trois angles α, β, et γ de l'un de ces triangles qui représente l'unitarité de cette matrice. Les taux de désintégration de certains

canaux et le mélange B⁰↔B⁰ sont eux reliés aux longueurs des côtés du triangle. La confrontation des mesures permet de tester la cohérence du MS.

Pour les modes B⁰→ charmonium K⁰, l'asymétrie varie sinusoidalement en fonction du temps de désintégration avec une amplitude proportionnelle à sin(2β), maintenant mesuré de façon extrêmement précise, sin(2β) = 0,710 ± 0,034 ± 0,019. L'angle β peut être aussi mesuré en utilisant des désintégrations rares, sensibles à la présence éventuelle de particules et de phases additionnelles dans les diagrammes en boucle. La moyenne mondiale ainsi obtenue, sin(2β) = 0,53 ± 0,05, est inférieure à la valeur précédente par 2,6 déviations standard (l'incertitude théorique sur cette moyenne fait débat). Ceci est prometteur mais pas encore suffisant pour conclure à la présence de nouvelle physique.

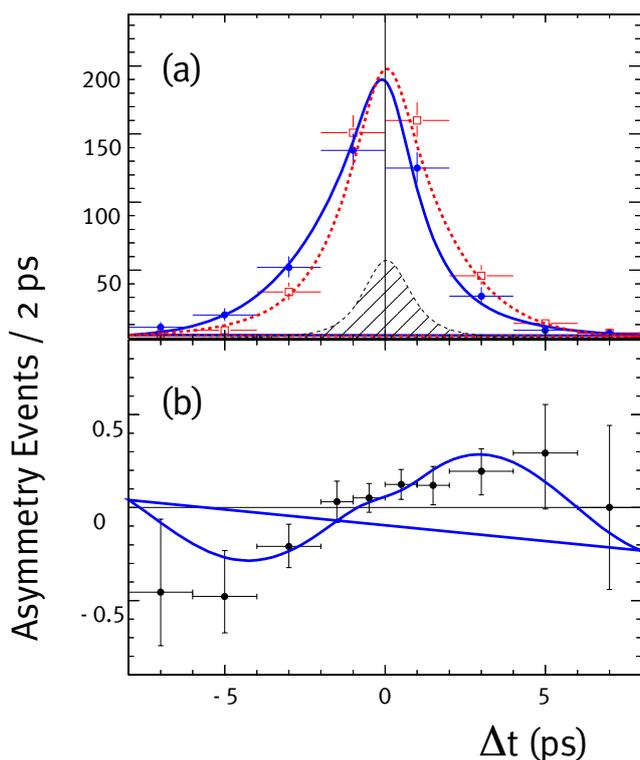
La violation de CP dans les transitions b→u permet d'accéder à l'angle α via une analyse en isospin. En combinant les trois modes ππ, ρπ et ρρ, BaBar mesure l'angle α = (97,5^{+16,5}_{-11,5})⁰.

Enfin l'angle γ peut être obtenu avec une incertitude théorique faible par l'étude des asymétries entre les taux de branchement B⁺→D⁰K⁺ et B⁻→D⁰K⁻ où le D⁰ se désintègre vers un état propre de CP (π⁺π⁻, K⁺K⁻...). L'ensemble de ces mesures détermine la valeur de γ avec une incertitude d'environ 25°.

Après sept années de mesures redondantes et de précision croissante, le MS est beaucoup mieux connu et affirme toujours sa validité.

BaBar poursuit sa moisson de nouvelles résonances. Nous avons observé un nouvel état se désintégrant en J/ψ π⁺π⁻, à une masse de 4,26 GeV/c², produit avec rayonnement d'un photon dans l'état initial, ce qui signe un état de nombres quantiques J^{PC}=1⁻. Ce nouvel état ne peut être un méson ordinaire : peut-être le premier méson hybride, état lié q-q-gluon.

Observation de la violation de CP dans un mode b → q q̄ s : B⁰ → η' K⁰S avec sin(2β_{eff}) = 0,58 ± 0,10 ± 0,03 : distribution du temps de désintégration pour un étiquetage B⁰ (bleu) et B⁰ rouge.



 Babar général : <http://www.slac.stanford.edu/BFROOT>
 Babar grand public : <http://www-public.slac.stanford.edu/babar/>

LABORATOIRES FRANÇAIS DE LA COLLABORATION

CNRS/IN2P3 : LAL, LAPP, LPNHE, LLR |
 CNRS/DSM : Dapnia.

H1 : l'expérience auprès du collisionneur électron-proton Hera

Zhiqing Zhang

Depuis fin 2003, Hera fonctionne avec une efficacité accrue et des modes d'opération plus variés mettant en jeu des faisceaux d'électrons et de positrons polarisés longitudinalement. Les équipes de l'IN2P3 et du CEA/Dapnia, très impliquées dès le début dans l'expérience H1, continuent à jouer des rôles de premier plan dans la collaboration et à avoir des contributions majeures sur les activités *hardware* et les analyses des données.

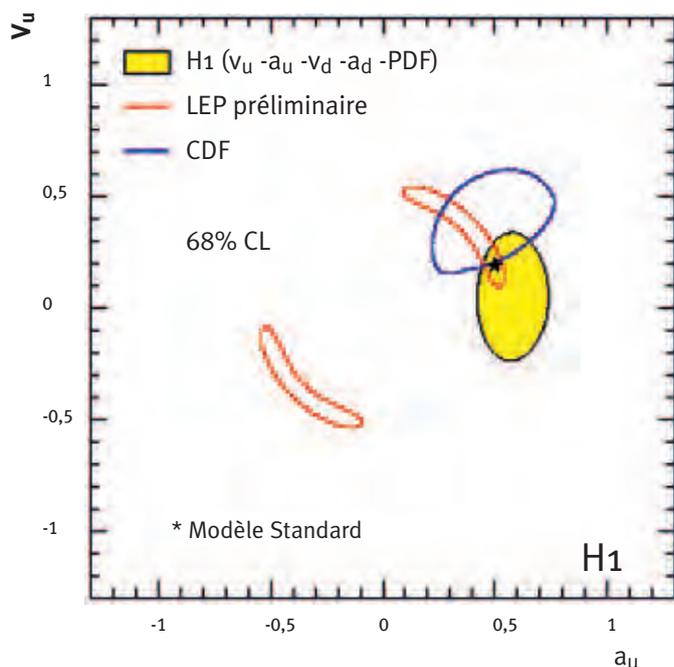
Hera, l'unique collisionneur électron-proton du monde, est entré dans sa deuxième phase d'opération (Hera-II) depuis 2003. Cette nouvelle phase a permis aux expériences H1 et Zeus d'avoir accès à des collisions de protons avec des faisceaux d'électrons ou de positrons polarisés longitudinalement et cela avec une luminosité instantanée augmentée par un facteur 3. Par rapport à Hera-I, les quantités de données ont été augmentées d'un facteur 12 en mode électron-proton et d'un facteur 3 en mode positron-proton.

Les laboratoires de l'IN2P3 impliqués dans l'expérience H1 ont des contributions majeures dans

cette nouvelle phase du programme de Hera. Un système d'acquisition amélioré pour le traitement des données du calorimètre à argon liquide de H1 et un nouveau calorimètre à fibres optiques et tungstène pour la mesure de luminosité ont été réalisés avec succès et sont en opération routinière. Un nouveau polarimètre utilisant une cavité Fabry-Pérot fonctionne maintenant, après qu'ont été résolus un certain nombre de problèmes expérimentaux. Il permet d'augmenter la précision de la polarisation mesurée par les autres polarimètres, cette précision étant facteur limitant dans les analyses actuelles.

Les physiciens (CNRS/IN2P3 et CEA/Dapnia) ont des responsabilités très importantes au sein de la collaboration H1 (porte-parole, coordinateur de physique et coordinateurs de plusieurs groupes de physique et technique). Ils ont aussi des contributions prépondérantes dans le développement des logiciels d'analyse et dans l'analyse des données. Ils ont obtenu des nombreux résultats marquants sur des sujets très variés : sur les mesures de précision (les sections efficaces des processus courant neutre et chargé, les fonctions de structure, la diffusion Compton profondément virtuelle) et leurs interprétations (les fonctions de distribution des partons, α_s et les paramètres électrofaibles), et sur les recherches de nouvelles particules ou de nouveaux phénomènes (les leptoquarks, le boson de Higgs doublement chargé, les événements rares ayant soit un lepton isolé et de l'énergie manquante soit plusieurs leptons de très grande énergie). Ils s'engagent maintenant très fortement sur l'analyse de la dernière phase de prises de données et la finalisation des résultats de Hera, dont la fin de fonctionnement est prévue pour mi-2007.

Les couplages axial (a_u) et vectoriel (v_u) du quark u au boson Z^0 déterminés dans un ajustement QCD-électrofaible en utilisant les données de H1 prises à Hera-I, comparés à ceux obtenus par CDF au Tevatron et par le groupe électrofaible au LEP.



 <http://www-h1.desy.de/general/home/H1homepage.shtml>

LABORATOIRES FRANÇAIS DE LA COLLABORATION

CNRS/IN2P3 : CPPM, LAL, LLR |
CNRS/DSM : Dapnia.

Atlas, CMS et LHCb, trois expériences auprès du LHC

Le Grand Collisionneur Hadronique, LHC, du Cern, produira des collisions proton-proton à des luminosités (jusqu'à $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$) et des énergies (14 TeV) jamais atteintes auparavant. Les détecteurs situés sur l'anneau du collisionneur sont à un stade avancé de montage et d'intégration et seront prêts en 2008 pour le début de la prise de données. La principale motivation d'Atlas et de CMS est la recherche de nouvelle physique : Higgs, super symétrie, dimensions supplémentaires, etc. L'expérience LHCb se consacrera à l'étude précise de la violation de la symétrie CP et des désintégrations rares des particules belles.

1

Expérience Atlas

Daniel Fournier

La période 2004-2006 a été celle de la fin de construction et de l'installation de la plupart des détecteurs autour du point de collision, l'installation des parties les plus fragiles (comme le détecteur de vertex) devant s'effectuer en 2007.

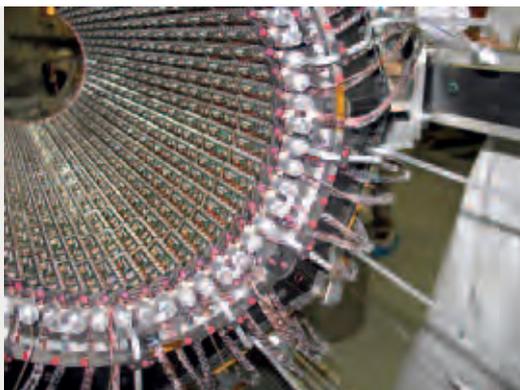
Positionnée au point de collision numéro 1 des faisceaux de protons ($2 \times 7 \text{ TeV}$) du LHC, l'expérience Atlas se propose d'étudier l'ensemble des phénomènes dans lesquels apparaissent des particules avec une grande impulsion perpendiculaire à la direction des faisceaux. Ces réactions sont celles susceptibles de faire apparaître le plus clairement les phénomènes nouveaux, comme la production de particules lourdes encore inconnues (et en particulier le boson de Higgs, ou les particules super symétriques), l'existence de dimensions d'espace-temps « supplémentaires » par rapport aux 3+1 auxquelles nous sommes accoutumés, ou même l'existence de sous structures dans les quarks du nucléon. Le détecteur est également conçu pour permettre des mesures de précision contraignant le Modèle Standard et sa relation avec les états qui verraient être découverts. Rentrent dans ce cadre la mesure de la masse du boson de Jauge W et celle du quark top.

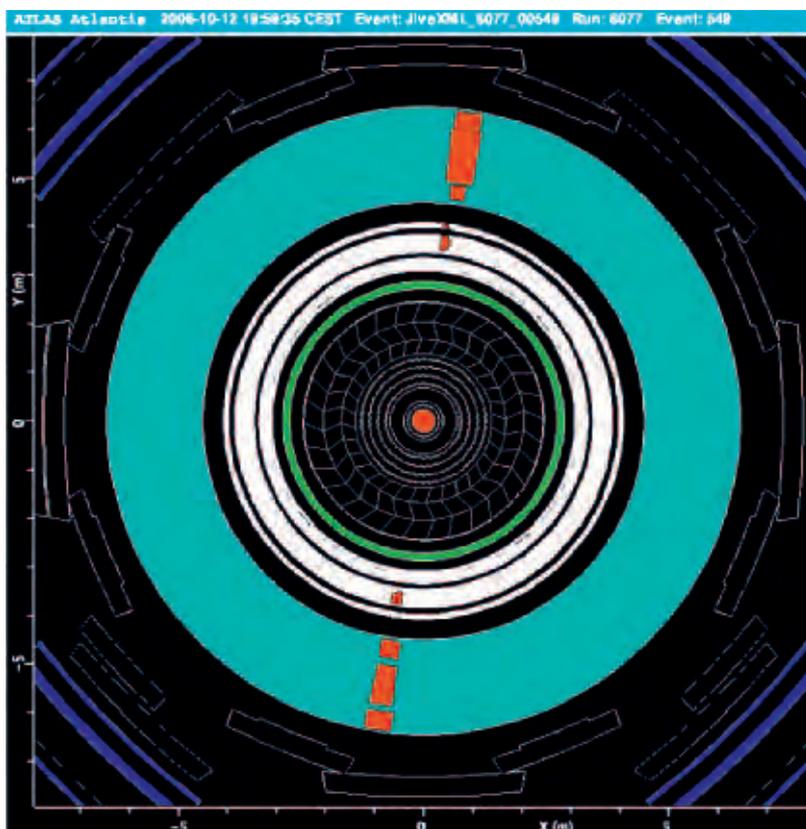
Les différentes « couches » de détection sont, en partant du point de collision, le détecteur de vertex à pixels, le détecteur de traces et le solénoïde

qui les entoure le calorimètre électromagnétique, puis le calorimètre hadronique, et enfin le spectromètre à géométrie toroïdale destiné à mesurer les muons, seules particules chargées capables (en première approximation) de traverser la masse des calorimètres. Comparativement aux détecteurs de la génération précédente, la difficulté principale dans l'élaboration et la construction d'Atlas a été la taille – dictée par le saut en énergie d'un facteur 7 par rapport au Tevatron – et le taux d'interaction. À la luminosité nominale de $10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$, il y aura une collision de paquets de protons chaque 25 ns, produisant chacune en moyenne une vingtaine d'interactions inélastiques. Ce taux a des conséquences sévères sur l'électronique comme sur les détecteurs, qui doivent répondre rapidement (quelques dizaines de ns) et résister aux radiations associées.

L'installation part, à l'inverse, de l'extérieur vers l'intérieur, et après l'installation des premières bobines du toroïde central est venue la descente dans le puits des calorimètres centraux, une seule pièce pour le calorimètre à argon liquide dans son cryostat, mais soixante-quatre secteurs pour le calorimètre à tuiles scintillantes qui l'entoure. L'IN2P3, particulièrement impliquée dans ces détecteurs a joué son rôle dans la mise en place, le câblage, et les tests de ces éléments. Un moment particulièrement impressionnant a été l'insertion du calorimètre central ainsi complété dans la cavité du toroïde central (photo ci-contre). Une fois en place, le calorimètre central à argon liquide a été relié à l'ensemble cryogénique destiné à le piloter, puis refroidi, et rempli de liquide (40m^3). L'électronique frontale a été alors installée, puis reliée à la salle USA15 où se situe toute l'électronique de traitement. La même procédure a été suivie pour le calorimètre à tuiles, et l'ensemble est maintenant en test, avec pour premier objectif d'effectuer une calibration complète (grâce à des signaux électroniques, et pour le calorimètre à tuiles grâce aussi à des faisceaux laser et des sources radioactives). L'étape

Détecteur interne de traces à pixels d'Atlas.
© Cern.





Rayon cosmique observé pendant les tests de réception des calorimètres.

La figure ci-dessus montre une première « photo » d'événement de ce type. La suivante est la détection de rayons cosmiques (il en reste une fraction à 100 m sous terre, la plupart pénétrant à travers les puits d'accès encore ouverts), afin de vérifier l'alignement en temps du système d'échantillonnage électronique, et l'alignement dans l'espace des différents détecteurs.

Pendant que les parties centrales du calorimètre étaient soumises aux tests fonctionnels, la partie « bouchon » était à son tour installée. En particulier le premier calorimètre bouchon à argon liquide était refroidi à sa température de fonctionnement en février 2007, le second, déjà en place, devant suivre après 2 à 3 mois.

L'autre contribution matérielle majeure de l'IN2P3 se situe au niveau du détecteur de vertex à pixels. Cet ensemble cylindrique, de seulement 30 cm de diamètre et 2 m de longueur comporte 80 millions de canaux. Sa principale fonction est de signer les particules à vie très courte comme les hadrons dont un constituant est le quark b et les leptons τ , eux-même signatures de phénomènes recherchés (quark top, Higgs, supersymétrie). Le CPPM a assemblé plus d'un tiers des éléments de ce détecteur, et participé activement à son intégration finale au Cern.

De façon inévitable les tests fonctionnels simultanés ont fait apparaître quelques problèmes qu'il faut corriger, comme un champ magnétique résiduel (issu du toroïde) un peu trop grand au niveau de l'électronique des calorimètres bouchons, et des parasites électroniques générés par un calorimètre vers un autre.

En parallèle avec le *hardware*, un effort tout à fait considérable a été fait au niveau des logiciels de traitement de l'information que ce soit en ligne (avec 3 niveaux de déclenchement) ou de façon différée. Le système de déclenchement a en particulier la tâche très difficile de réduire à ~100 par seconde le nombre d'événements conservés sur stockage de masse (un facteur de réduction de près de 10 millions, par rapport aux collisions initiales) tout en ne conservant avec une efficacité meilleure qu'à 90% les événements intéressants, en général rares. L'IN2P3 joue un rôle important au niveau du *software* général et des bases de données dans la reconstruction des traces et des vertex, et dans la reconstruction des « clusters » calorimétriques, source principale d'information pour former électrons, photons et jets.

Différents « data challenges » ont été effectués, et sont encore en cours, pour tester l'adéquation du *software*, des réseaux, et des moyens de calcul au « modèle de calcul d'Atlas ». Dans ce modèle, le CC-IN2P3 (Tier1) et les centres de la région parisienne (GRIF) et de Clermont-Ferrand jouent un rôle important pour Atlas, au niveau de ~10% de sa capacité de calcul, et un rôle essentiel pour les chercheurs français (la capacité à effectuer une analyse restant la même quelque soit le laboratoire IN2P3 où le chercheur est installé).

Des groupes de travail (Computing Atlas-France, Physique Atlas-France, voir <http://atlas-france.in2p3.fr>) ont été mis sur pied pour préparer l'analyse. Les groupes français sont actifs dans tous les domaines (physique du Modèle Standard, recherche du boson de Higgs, des particules supersymétriques...).



Atlas général :

<http://atlas.web.cern.ch/Atlas/index.html/>

Atlas France : <http://atlas-france.in2p3.fr/>

Atlas grand public : <http://atlas.ch/>

LABORATOIRES FRANÇAIS DE LA COLLABORATION

CNRS/IN2P3 : CPPM, LAL, LAPP, LPC Clermont, LPNHE, LPSC | CEA/DSM : Dapnia.

2

Expérience CMS

Yves Sirois

La période 2004-2006 a été marquée par une accélération de la production de masse pour la construction du détecteur CMS et par une série de tests des systèmes complets équipés de l'électronique d'acquisition définitive. Quatre laboratoires de l'IN2P3 participent à l'expérience CMS. Ils ont contribué au développement et à la réalisation du trajectographe et du calorimètre électromagnétique (ECAL). Ces détecteurs devraient jouer un rôle essentiel dans la découverte du (ou des) boson de Higgs ainsi que dans la recherche de nouvelle physique telle la supersymétrie.

- développement, production et suivi en qualité des hybrides de lecture,
- contrôle de la qualité des senseurs au silicium,
- assemblage de précision de 3000 modules élémentaires de détection des bouchons,
- micro-câblage par « bonding » de ces modules de détection formés d'un couple senseur/hybride,
- assemblage des modules sur leur structure porteuse, appelée pétale, et qualification approfondie de la connectique et de la qualité des signaux,
- étude des services des bouchons,
- conception et développement de la base de données de construction.

La construction du tonneau du Ecal se termine. Plus de 90% des 61200 cristaux de cette partie centrale ont été produits: toutes les capsules de lecture qui intègrent deux photodiodes à avalanche ont été assemblées, testées et étalonnées dans les laboratoires de l'IN2P3, qui assurent également l'étalonnage des cartes de lecture frontales ainsi que la conception et la construction des cartes de déclenchement. Les cartes nécessaires pour le tonneau ont été construites et calibrées. Pour les bouchons, les cartes de lecture frontales ont été fabriquées et devraient être bientôt calibrées.

Une série de supermodules du tonneau Ecal ont pu être inter-calibrés en faisceau d'électrons en 2006, avec un rôle prépondérant de l'IN2P3. Les performances obtenues sont excellentes et correspondent complètement aux objectifs ambitieux initialement fixés (ci-dessous à gauche).

L'Institut a été également fortement impliqué dans la construction du trajectographe au silicium, avec de nombreuses responsabilités:

Ces activités ont pu être complétées avec succès en 2006 et les développements ont été validés au cours de tests d'une tranche des détecteurs sous rayons cosmiques à l'automne 2006 (voir schéma ci-dessous).

En parallèle, l'intégration des éléments du trajectographe au centre d'intégration installé au Cern progressait rapidement. L'Institut est en charge de l'intégration et de la mise en service d'un bouchon complet (photo ci-contre), de l'architecture du système d'acquisition, de la gestion des bases de données et du contrôle en ligne de la prise de données du trajectographe.

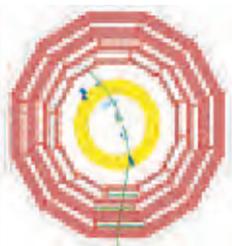
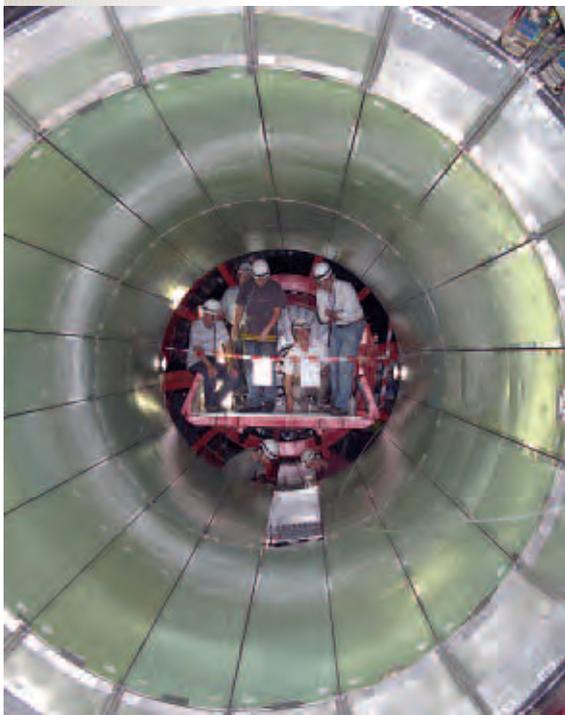
Les groupes de l'IN2P3 ont fortement participé à la préparation en 2005-2006 des « Technical Design Reports » de l'expérience consacrée aux performances des détecteurs (volume I) et à la prospective de physique (volume II).

L'Institut a été impliqué dans un test majeur de calcul distribué visant à traiter un flux d'événements correspondants à environ 25% du flux attendu pour la physique en 2008.

Un des bouchons du trajectographe de CMS. © Cern.



Installation du dernier élément du calorimètre électromagnétique (ECAL). © Cern.



Visualisation d'un rayon cosmique dans CMS. © Cern.

- 👁 CMS général:
<http://cms.cern.ch/>
 CMS France:
<http://polywww.in2p3.fr:8081/CMS>
 CMS «outreach»:
<http://cmsinfo.cern.ch/outreach/>
 CMS wikipedia:
http://en.wikipedia.org/wiki/Compact_Muon_Solenoid

LABORATOIRES FRANÇAIS DE LA COLLABORATION CMS

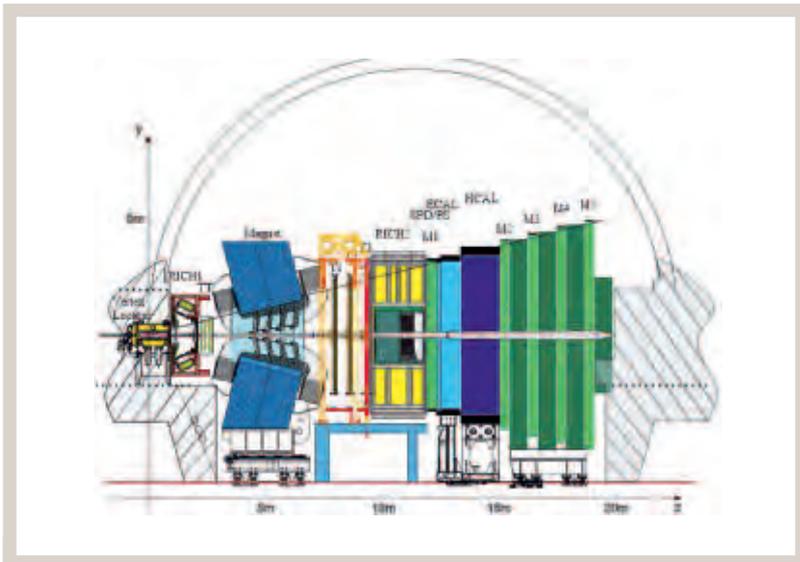
CNRS/IN2P3: IPNL, IPHC, LAPP, LLR |
 CEA/DSM: Dapnia.

3

Expérience LHCb

Eslië Aslanidès

L'expérience LHCb est dédiée à l'étude de l'asymétrie matière-antimatière en détectant spécifiquement les mésons beaux, particules contenant un quark b, appelé « beauté », et leurs antiparticules. Le taux élevé de production de particules « belles » au LHC et la haute précision des mesures permettront d'approfondir l'étude de la violation de la symétrie CP. Nous pourrions ainsi mieux comprendre le seul mécanisme connu à ce jour, pouvant distinguer une particule de son antiparticule. Grâce au large spectre de ses mesures et à sa précision, LHCb pourrait aussi mettre en évidence une nouvelle physique, non prévue par le Modèle Standard des particules élémentaires et de leurs interactions.



Le détecteur LHCb, conçu avec une géométrie « en avant », par rapport au point de collision, situé à l'origine du système de coordonnées x,y de la figure. Les particules belles et leurs produits de désintégration seront ainsi observés près de la direction des faisceaux de protons. © Cern.

À la différence des grands détecteurs polyvalents que sont Atlas et CMS, LHCb est un outil conçu pour réaliser la meilleure détection possible de mésons beaux et de leurs produits de désintégration. Ces particules étant émises, lors des collisions proton-proton, préférentiellement dans des directions voisines du faisceau, le détecteur LHCb est spécialement conçu pour les observer à « petit angle ». Il est disposé autour du tube à vide de l'accélérateur, dans une seule direction par rapport au croisement des faisceaux. Le détecteur doit mesurer les trajectoires des particules émises et leurs origines à quelques dizaines de micron près, déterminer leurs impulsions et énergies et les identifier avec une très grande précision. L'ensemble des sous-détecteurs participe à une logique de décision complexe qui, toutes les 25 nanosecondes, sélectionne les

collisions intéressantes. Une ferme de microprocesseurs permet ensuite d'analyser toutes les informations du détecteur en temps réel, afin de sélectionner les événements intéressants, retenus pour les analyses ultérieures.

Cinq laboratoires de l'IN2P3 sont engagés dans l'expérience LHCb. Une soixantaine de chercheurs, enseignants-chercheurs, ingénieurs et techniciens sont impliqués dans la conception et la construction de la structure mécanique et de toute la chaîne électronique des calorimètres, allant des détecteurs de lumière à l'électronique de lecture et de traitement des informations. Ils sont également chargés de la conception et de la réalisation du processeur de muons et du trigger rapide de premier niveau.

Les équipes françaises sont également engagées dans la préparation des analyses de physique. Elles participent à la conception et à l'écriture des logiciels d'intérêt général : visualisation des événements, génération de données Monte-Carlo, étiquetage de la saveur et développement des outils de production et d'analyse dans un environnement de ressources distribuées, notamment sur la grille LCG. Elles contribuent aussi à l'élaboration des outils d'analyse et d'étude des performances de l'expérience dans plusieurs canaux de physique.

Les infrastructures mécaniques, électriques et fluides nécessaires à l'expérience sont actuellement en place. L'installation des derniers éléments du détecteur LHCb progresse de manière satisfaisante. Les contributions françaises, l'électronique des calorimètres, pré-échantillonneur, électromagnétique et hadronique, et du trigger de premier niveau sont en cours d'installation.

 <http://lhcb.web.cern.ch/lhcb/>

LABORATOIRES FRANÇAIS DE LA COLLABORATION

CNRS/IN2P3 :

CPPM, LAL, LAPP, LPC Clermont, LPNHE.

La Grille de calcul du LHC (W-LCG) et la contribution française (LCG-France)

Fairouz Malek

Avec 40 millions de collisions par seconde et 10^{10} collisions enregistrées par an, les données générées par le LHC (une quinzaine de pétaoctets) et leur exploitation représentent un véritable défi informatique de par le flux et le volume à traiter. Potentiellement, à tout instant, 10 000 chercheurs (environ 2500 par expérience) pourront solliciter des calculs d'analyse des données fournies par le LHC. Ceci nécessite une infrastructure distribuée et souple. De cette initiative est née la collaboration W-LCG (WorldWide LHC Computing and Grid) dont l'objectif est de réaliser le projet LCG.

L'infrastructure de grille de W-LCG dépendra de trois types de technologie de grille, l'Européenne EGEE (European Grid for EsciencEs), l'Américaine OSG (Open Science Grid) et celle de l'Europe du Nord, NDGF (Nordic Data Grid Facility).

Avec 40 millions de collisions par seconde et 10^{10} collisions enregistrées par an, les données générées par le LHC (une quinzaine de pétaoctets) et leur exploitation représentent un véritable défi informatique de par le flux et le volume à traiter. Potentiellement, à tout instant, 10 000 chercheurs (environ 2500 par expérience) pourront solliciter des calculs d'analyse des données fournies par le LHC. Ceci nécessite une infrastructure distribuée et souple. De cette initiative est née la collaboration W-LCG (WorldWide LHC Computing and Grid) dont l'objectif est de réaliser le projet LCG. L'infrastructure de grille de W-LCG dépendra de trois types de technologie de grille, l'Européenne EGEE (European Grid for EsciencEs), l'Américaine OSG (Open Science Grid) et celle de l'Europe du Nord, NDGF (Nordic Data Grid Facility).

Constituée seulement de douze centres de calcul lors de son lancement en septembre 2003, la grille de calcul du LHC est aujourd'hui un réseau de deux cents sites situés sur trois continents: Europe, Amérique, Asie et elle est d'ores

et déjà opérationnelle. Elle se présente comme un ensemble de centres de calcul hiérarchisés en trois niveaux. Au niveau 0, appelé Tier-0 (au Cern) les données brutes produites par le LHC seront stockées, partiellement reconstruites, puis distribuées au second niveau, appelé Tier-1. Celui-ci est constitué de onze centres de calculs, dits « centres névralgiques », dans lesquels les données feront l'objet de reconstructions plus fines et seront mises à disposition de manière pérenne. Les centres névralgiques devront fournir une capacité de calcul adaptée, une capacité de stockage disque de l'ordre de 6 pétaoctets et une vitesse de circulation des données avec le niveau Tier-0 d'un minimum de 10 gigabits par seconde. Le 3^e niveau, appelé Tier-2, est constitué d'environ soixante-dix centres, qui feront l'interface directe avec les physiciens utilisateurs, recevront les données reconstruites du Tier-1 et assureront la production d'événements simulés, lesquels seront stockés dans le Tier-1. Enfin, des centres de tailles plus modestes formeront un quatrième niveau, appelé Tier-3, qui étant à usage local, ne fait pas formellement partie de W-LCG.

Les premières expériences de validation de la grille LCG ont été lancées en 2003. Un travail indispensable qui a « éprouvé » par des données de simulation le logiciel des expériences et les capacités de gestion des diverses technologies de grilles associées au LHC. Ce type d'opération « d'épreuve par les données » va se poursuivre jusqu'à la mise en service du LHC. Plus de cent millions d'événements simulés ont ainsi déjà été produits, traités, et stockés sur les ressources distribuées des grilles. Une série d'épreuves liées au « Service » de la grille mondiale a été mis en place dès 2005, dont le 4^e du genre est en cours et devra se poursuivre jusqu'à l'été 2007.

Dans ce projet, nos efforts devront mener à une infrastructure de calcul stable, fiable et efficace, au service des expériences et de la science.

La France met en œuvre l'un des centres Tier-1 du W-LCG, au centre de calcul (CC-IN2P3) situé à Villeurbanne et plusieurs sites de niveau Tier-2 et Tier-3.



LCG : <http://lcg.web.cern.ch/lcg/>

LCG News:

<http://lcg.web.cern.ch/lcg/LCGnews.html>

LCG Real time monitoring:

<http://gridportal.hep.ph.ic.ac.uk/rtm/>

LCG-France : <http://lcg.in2p3.fr/>

La grille européenne

Fairouz Malek

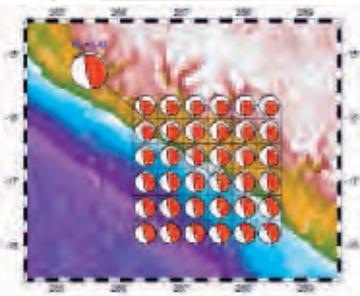
C'est en 2000 que prend corps l'idée de construire en Europe une vaste grille de calcul, réseau distribué de ressources de calcul offrant aux utilisateurs un accès facile et transparent à d'immenses moyens informatiques. Les besoins estimés pour le futur collisionneur LHC sont à l'époque la principale motivation pour une telle entreprise mais son potentiel pour l'ensemble des autres disciplines est d'ores et déjà remarqué.

Le projet Datagrid (2001-2004) est le programme de R&D destiné à prouver la faisabilité d'un tel concept. L'IN2P3 s'était fortement engagé dans Datagrid en assumant la responsabilité de nombreuses tâches dont, en particulier, le banc-test sur lequel plusieurs applications prototypes ont été essayées. Le succès de Datagrid permet donc de passer à la vitesse supérieure et de construire fin 2003 début 2004 le programme Egee (2004-2006) suivi d'Egee-II de 2006 à 2008. Le but d'Egee est de construire un intergiciel (ou middleware) baptisé gLite adapté aux spécifications des différentes communautés d'applications et de réaliser une véritable infrastructure de production fournissant 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7 des ressources de calcul à plusieurs communautés d'utilisateurs pérennes. Cet objectif réunit plus de 70 partenaires provenant d'une vingtaine de pays européens, dix unités du CNRS dont 7 de l'IN2P3. Les responsabilités françaises s'articulent autour des points forts de Datagrid : développements des applications, maîtrise opérationnelle de la grille, interface avec les réseaux européens à grande vitesse (Geant). En particulier, l'IN2P3 s'engage à obtenir à la fin d'Egee au moins 3 communautés d'applications pleinement engagées dans Egee. La physique des particules et les expériences du LHC sont bien sûr les premiers cobayes d'Egee avec la communauté biomédicale et celle des sciences de la terre. La collecte des besoins liés à des applications aussi diverses fut une des tâches les plus délicates mais aussi les plus importantes puisque cela a permis en fin de compte de réaliser un logiciel permettant de satisfaire en détail l'ensemble des besoins. Les premières simulations d'Atlas, CMS, Alice et LHCb sont portées sur la grille courant 2004. Les expériences organisent alors des « data challenges » avec des performances de plus en plus satisfaisantes au cours de cette période, grâce aux améliorations successives de gLite. Les nouvelles possibilités offertes par la grille notamment en ce qui concerne la manipulation de très vastes quantités de données

permettent en 2005 la publication de résultats scientifiques novateurs sur la couche d'ozone – en permettant un croisement inédit de grandes bases de données réparties – et sur le traitement de la malaria, en sélectionnant parmi des centaines de milliers de composants chimiques ceux dont la structure tri-dimensionnelle peut laisser espérer une action efficace contre le parasite. Un autre domaine où l'apport des grilles s'avère décisif est le calcul en urgence, lié aux catastrophes (tremblements de terre, inondations, tsunami, etc.). La mobilisation automatique des ressources nécessaires permet (voir fig.) la post-simulation de tous les tremblements de terre majeurs en moins de 24 heures afin d'en comprendre leur mécanisme et d'en prévoir leurs répliques possibles.

Les compétences opérationnelles du centre de calcul de Lyon et des équipes situées aux autres nœuds de la grille se développent considérablement et permettent d'obtenir une très bonne efficacité de fonctionnement pour la partie française d'Egee, ainsi que la mise au point de nombreux outils de surveillance globale d'Egee. On compte fin 2006 plusieurs milliers d'utilisateurs réguliers d'une grille comportant 200 nœuds, 35 000 processeurs et gérant 10 PétaOctets de données, avec plus d'un million de travaux soumis par mois. Les équipes de l'IN2P3 sont également très actives pour sensibiliser les industriels à ce nouveau concept et l'*Industry Forum* d'Egee permet de diffuser à plus d'une centaine de compagnies françaises et étrangères, de taille et d'activité très diverses les résultats remarquables d'Egee. Enfin de la même façon qu'Egee s'est construit sur les succès de Datagrid, la nature complètement opérationnelle d'Egee permet de se projeter vers la création d'une structure européenne pérenne basée sur les initiatives nationales solidement implantées. L'IN2P3 jouera un rôle déterminant dans la création de ces structures du futur et participe au projet européen en ce sens. En conclusion, la période 2004-2006 s'est avérée extrêmement productive pour Egee puisque c'est au cours de ce laps de temps qu'on est passé graduellement d'un banc test limité à une gigantesque infrastructure de production complètement opérationnelle produisant des résultats scientifiques dans beaucoup de domaines et devenant l'outil de base de milliers de scientifiques dans le monde. Nul doute que la période suivante permettra d'amplifier encore ces succès remarquables.

La simulation d'un tremblement de terre réalisé en moins de vingt-quatre heures sur la grille Egee.



Contenu étrange du nucléon

Jean-Sébastien Réal

Une image simple du proton est de le décrire en termes de trois quarks de valences de deux saveurs différentes : *up* et *down*. Dans cette image, ces trois quarks doivent permettre de reproduire toutes les propriétés du proton, comme sa masse, son spin etc. Dans les années quatre-vingt, les physiciens ont trouvé que ce n'était pas le cas, laissant la porte ouverte à de nouvelles hypothèses. La plus communément acceptée est la contribution non négligeable de quarks fugitifs dont fait partie le quark étrange.



Expérience G0.

Les trois quarks de valences du proton sont liés ensemble par l'interaction forte véhiculée par les gluons. La Chromodynamique Quantique, qui est la théorie décrivant l'interaction forte, prédit l'existence de quarks supplémentaires. Les gluons échangés par les quarks de valence passent par des états intermédiaires de paires de quarks/anti-quarks, dont la durée de vie est très courte, formant « la mer de quarks et de gluons ». N'importe quelle des six saveurs existantes est possible, mais les plus légers (*up*, *down* et étrange) ont une probabilité plus grande de participer. Les saveurs *up* et *down* ayant une contribution de valence, le quark étrange est le meilleur candidat pour étudier la hauteur de la contribution des quarks de la mer aux propriétés des nucléons.

L'IN2P3 s'est engagé depuis 1998 dans la mesure de la contribution du quark étrange aux distributions électrique et magnétique du nucléon. Pour déterminer expérimentalement cette contribution, les facteurs de forme faibles du proton sont mesurés en diffusion élastique d'électrons polarisés longitudinalement sur des cibles d'hydrogène et de deutérium. Dans ce processus, nous nous intéressons à l'interaction faible neutre (échange de bosons Z^0) qui est très petite à nos énergies mais qui est mesurable grâce à la non-conservation de la parité. L'expérience demande un contrôle soigneux des biais expérimentaux car une précision absolue meilleure que 10^{-6} est requise. Une série de mesures à différents angles de diffusion (cinématiques avant et arrière) et pour différentes cibles (hydrogène et deutérium) permet d'accéder aux distributions spatiales de charge et de magnétisation *faibles* dans le proton. En combinant ces mesures avec des mesures de facteurs de forme électromagnétique sur le proton et le neutron, il est possible d'isoler la contribution individuelle

de chacune des saveurs de quarks (pour cela il faut faire l'hypothèse de la symétrie d'isospin, et négliger les saveurs des trois quarks les plus lourds).

L'IN2P3 est très fortement impliqué dans deux expériences, l'expérience G0 aux États-Unis et l'expérience PVA4 en Allemagne. G0, qui se déroule au Jefferson Laboratory (Virginie, USA), prend des données depuis 2003 et se terminera en 2007. La première période (jusqu'à 2005) a permis de mesurer la somme des contributions électrique et magnétique à dix-huit cinématiques différentes, la seconde permettra la séparation de ces deux termes à deux cinématiques. PVA4 se déroule sur l'accélérateur Mami à Mayence. Deux cinématiques ont déjà été mesurées, une deuxième période visant à séparer les termes électrique et magnétique est en cours.

La détermination définitive de la contribution des quarks étranges ne sera possible qu'après ces expériences terminées et analysées. Cependant, les résultats actuels montrent pour la première fois une possible contribution significative du quark étrange pour les contributions électrique et magnétique individuelles, contributions qui s'annulent lorsqu'on mesure la somme, due à des signes opposés.

Go :

<http://lpsc.in2p3.fr/hadrons/hadrons.html#go>

<http://www.npl.uiuc.edu/exp/Go/>

Communiqué de presse CNRS :

<http://www2.cnrs.fr/presse/communiqué/709.htm?print=1>

Communiqué de presse de Jlab :

<http://www.jlab.org/news/releases/2005/gzeropr.html>

<http://www.jlab.org/news/releases/2005/gzero.html>

(avec plusieurs références de publications/communiqués dans la presse)

Physical Review Letters 95 (2005) 092001

Article spécial (focus) de *Physical Review Letter* :

<http://focus.aps.org/story/v16/st7>

PVA4 :

<http://ipnweb.in2p3.fr/~phase/pva4/index2.html>

Phys.Rev.Lett. 94 (2005) 152001

Phys. Rev. Lett. 93 (2004) 022002

LABORATOIRES FRANÇAIS DES COLLABORATIONS

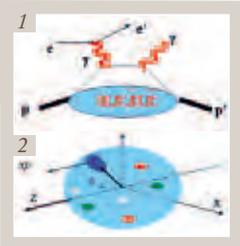
CNRS/IN2P3: LPSC, IPNO.

Les Distributions de Partons Généralisées (GPDs)

Michel Guidal

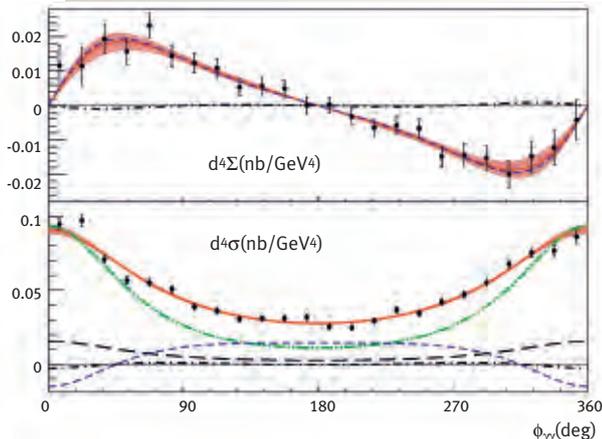
Les premières sections efficaces de la diffusion Compton Virtuelle sur les quarks (réaction $ep \rightarrow e\gamma$) ont été mesurées au Jefferson Laboratory (USA) par les équipes françaises (en collaboration internationale) en 2005 et 2006. Elles apportent les premières fortes contraintes sur les Distributions de Partons Généralisées qui fournissent l'image la plus complète du nucléon actuellement accessible.

1- le diagramme de « sac à main » qui illustre la factorisation (à grand Q^2) de la réaction DVCS entre un processus « dur »/perturbatif exactement calculable en QCD (ou en QED) et la structure non-perturbative du nucléon, paramétrisée par les 4 GPDs $H, E, H_{\text{tilde}}, E_{\text{tilde}}$.
2- les GPDs contiennent l'amplitude de probabilité de trouver un quark dans le nucléon avec une fraction d'impulsion x à une distance spatiale transverse b_{perp} .



Les GPDs permettent d'étudier à un niveau jamais exploré la structure des nucléons en terme de partons. Les GPDs, dont le formalisme théorique a été introduit dans cette dernière décennie donnent la corrélation entre les distributions spatiales transverses et les distributions d'impulsion longitudinales des partons dans le nucléon, corrélations aujourd'hui totalement inconnues. Entre autres applications, il existe une règle de somme qui permet de les relier au moment angulaire total porté par les quarks, quantité à ce jour inconnue et qui contribuera à définitivement comprendre le problème du spin du nucléon. Les GPDs contiennent aussi d'autres caractéristiques de la physique du nucléon: configurations q - q bar dans le nucléon, corrélations impulsion-position polarisées, etc. Expérimentalement, les GPDs sont accessibles au moyen de réactions exclusives dites « dures », c'est-à-dire où il y a factorisation entre un pro-

La figure du haut présente la différence des sections efficaces polarisées (faisceau) en fonction de l'angle azimutal entre les plans leptonique et hadronique de la réaction $ep \rightarrow e\gamma$ mesurée par le hall A du JLab. La cinématique moyenne est $\langle x_B \rangle = 0.36$, $\langle Q^2 \rangle = 2.3 \text{ GeV}^2$ et $\langle -t \rangle = 0.28 \text{ GeV}^2$. La figure du bas montre la section efficace totale (c.à.d. non-polarisée) en fonction de ce même angle. Les courbes rouges représentent un fit aux données. La contribution du processus Bethe-Heitler -BH- (où le photon est rayonné par un des électrons et non pas par le nucléon) est représentée par la courbe verte. La différence entre les données et le BH est attribuée au DVCS dont la contribution twist-3 est estimée par la courbe tiretée-pointillée (donc très faible).



cessus élémentaire au niveau des partons, calculable en théorie des perturbations de QCD et la structure non-perturbative du nucléon, paramétrisée par les GPDs. En électroproduction, ce régime correspond à grand Q^2 . La réaction la plus simple est la diffusion Compton profondément virtuelle (DVCS pour « Deep Virtual Compton Scattering »), $ep \rightarrow e\gamma$. La figure illustre simplement ces idées.

Les physiciens français (pour l'IN2P3: du LPC Clermont-Ferrand, du LPC Grenoble et de l'IPN Orsay) sont des pionniers et jouent un rôle moteur dans ce domaine de physique auprès de l'accélérateur d'électrons ($E_e(\text{max})=6 \text{ GeV}$) du Jefferson Laboratory (JLab) aux USA. Deux expériences, dans les halls A et B du JLab, dont les Français sont porte-paroles, visant à mesurer pour la première fois au monde les sections efficaces du DVCS, ont terminé leur prise de données en 2005. Elles ont nécessité la construction de détecteurs dédiés; en particulier, pour le hall B, la construction (IPNO+SPhN Saclay), pour détecter le photon de la réaction $e p \rightarrow e' p' \gamma$, d'un calorimètre électromagnétique segmenté en ~ 400 cristaux de PbWO_4 qui permet d'obtenir de haute résolution en énergie ($\sim 4\% \sqrt{E}$), angle ($\sim 3 \text{ mrad} \sqrt{E}$) à de forts taux de comptage ($\sim \text{MHz}$). La lumière de ces cristaux est lue par des photodiodes à avalanche, ce qui fait de la collaboration du hall B la première à utiliser, dans une phase de production de physique, de tels détecteurs.

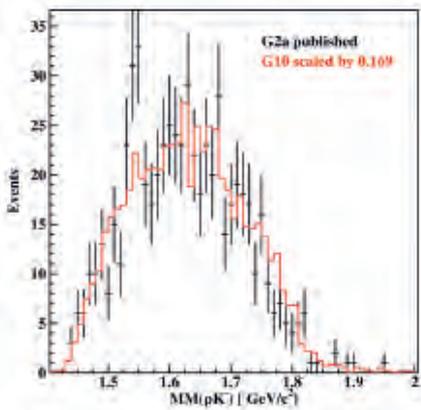
De même, dans le hall A, un calorimètre de 132 cristaux de PbF_2 et un détecteur de proton (157 scintillateurs), lus par phototube et une électronique dédiée pour éviter les empilements, ont été conçus et construits en grande partie par l'IN2P3 (LPC, LPSC + SPhN).

L'expérience du hall B est encore en cours d'analyse et les résultats du hall A ont été publiés très récemment (accepté à PRL, nucl-ex/0607029). Ils montrent en particulier pour la première fois le comportement en loi d'échelle (en Q^2) des observables mesurées, conformément à la prédiction attendue dans le régime de Bjorken, confirmant que le mécanisme du « handbag » QCD *leading-twist* (et par conséquent, les GPDs) est en effet observé aux énergies de JLab. Une mesure exploratoire du DVCS sur le neutron a permis d'établir des toutes premières contraintes sur la GPD E la plus méconnue à ce jour (thèse M. Mazouz, LPSC Grenoble, 2006).

Recherche de baryons exotiques

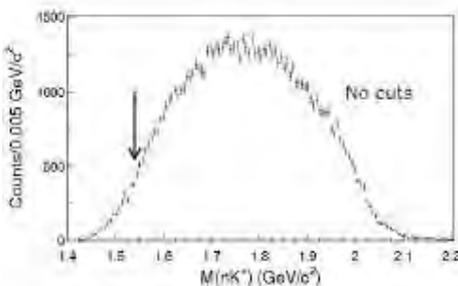
Silvia Niccolai

L'existence du baryon exotique à 5 quarks Θ^+ , observé dans douze expériences à basse statistique, est mise en forte doute par les nouveaux résultats d'une expérience dédiée récemment complétée au Jefferson Laboratory avec le détecteur Clas.



Distribution de masse invariante nK^+ , pour la réaction $\gamma d \rightarrow pK^+K^-(n)$. Les points en noir sont les premières données publiées par Clas [4]. La courbe en rouge, où on ne voit aucun pic autour de $1.54 \text{ GeV}/c^2$, représente le résultat de l'analyse de nouvelles données de Clas - G10 [5].

Distribution de masse invariante nK^+ , pour la réaction $\gamma d \rightarrow \Lambda K^+n$. La flèche indique la valeur de masse où on s'attendrait à voir le pic du Θ^+ .



Depuis la première annonce publique de l'observation d'un nouvel état, Θ^+ , en l'année 2003 [1], l'existence de baryons exotiques, ayant des nombres quantiques requérant un contenu minimal de 5 quarks, a remué la communauté de physique hadronique. Bien que l'idée de l'existence des « pentaquarks » ait déjà été présentée au début des années soixante-dix, les prévisions spécifiques d'une masse de 1530 MeV et d'une largeur étroite (moins de 15

MeV), qui ont motivé la première mesure à LEPS/SPring-8 [1], ont été faites en 1997 par Diakonov *et al.* [2]. Dans le cadre de leur modèle du Soliton Chiral, ils ont prévu que le Θ^+ est un isosinglet d'un anti-décuplet de pentaquarks, ayant $J^{\pm} = 1/2$, dont trois ont des nombres quantiques exotiques: Θ^+ (étrangeté $S=1$), Ξ^- ($S=-2$, charge $Q=-2$) et Ξ^+ ($S=-2$, $Q=+1$).

Un signal d'évidence pour le Θ^+ a été cité dans 12 publications (voir [3] pour une revue). En particulier, la première mesure exclusive du Θ^+ [4] a été effectuée par la collaboration Clas du Jefferson Laboratory (JLab), où l'IPN d'Orsay est impliqué depuis de nombreuses années. Un pic de $4.6\text{-}5.2\sigma$ à $1.547 \text{ GeV}/c^2$ a été observé dans la distribution de la masse invariante de nK^+ , dans la réaction $\gamma d \rightarrow K^+pK^+(n)$. Cependant, la petite signification statistique du signal de Θ^+ observé --- ces résultats viennent de l'analyse d'anciennes données prises pour d'autres motivations ---, l'incompatibilité entre certaines des valeurs des masses mesurées, et, par ailleurs, les résultats négatifs rapportés par d'autres expériences à haute énergie et avec grande statistique [3], ont mis un point d'interrogation sur l'existence des pentaquarks. Une réponse définitive à cette question est fondamentale pour notre compréhension de la QCD, et donc elle est devenue centrale dans le programme expérimental de beaucoup de laboratoires. En particulier, au JLab, un vaste programme expérimental consacré à la recherche des pentaquarks a été mené. Le détec-

teur Clas a été choisi pour cela, parce que sa grande acceptance et ses possibilités de détecter des processus exclusifs avec états finaux à multi-particule avec une bonne résolution en font un outil puissant pour la spectroscopie des hadrons. Dans l'expérience G10 de Clas, effectuée pendant le printemps 2004, des photons étiquetés avec des énergies de 0.8 à 3.59 GeV interagissaient avec une cible liquide de deutérium, placée au centre du spectromètre Clas. Des données avec une statistique 10 fois plus haute que les données de Clas existantes ont été collectées. Les résultats de l'analyse de la réaction $\gamma d \rightarrow pK^+K^-(n)$ n'ont pas confirmé l'observation publiée en précédente: aucune structure étroite n'est visible dans le spectre de masse invariante nK^+ . La signification statistique du premier signal publié doit donc être interprétée comme le résultat d'une combinaison « malheureuse » d'une fluctuation statistique avec une sous-estimation du bruit de fond. La limite supérieure pour la section efficace pour la réaction $\gamma n \rightarrow \Theta^+K^-$ a été estimée de l'ordre de 5 nb [5]. En plus du but de reproduire le résultat précédemment publié sur le canal $\gamma d \rightarrow pK^+K^-(n)$, la haute qualité et la grande statistique des données de G10 permettaient également l'analyse d'autres canaux de réaction. En particulier, à l'IPN d'Orsay, nous avons étudié la photoproduction de Θ^+ avec un hypéron Λ (voire [6] pour des prévisions théoriques). Les deux modes de décroissance du Θ^+ ($\Theta^+ \rightarrow nK^+$ et $\Theta^+ \rightarrow pK^0$) ont été étudiés. Les résultats de ces analyses ne montrent aucune structure statistiquement significative dans les spectres de masse invariante NK , pour ni l'un ni l'autre des deux modes de décroissance du Θ^+ (fig. 2, pour le mode nK^+). La limite supérieure sur la section efficace de $\gamma d \rightarrow \Lambda\Theta^+$, avec $\Theta^+ \rightarrow nK^+$, a été estimée de l'ordre de quelques nb [7].

[1] T. Nakano *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* 91, 012002 (2003).
 [2] D. Diakonov, V. Petrov, M. Polyakov, *Z. Phys.* A359 (1997) pp. 305.
 [3] S. Niccolai, *Acta Physica Polonica B* Vol. 36 (2005) pp. 2179.
 [4] S. Stepanyan *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* 91, 252011 (2003).
 [5] B. McKinnon *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* 96, 212001 (2006).
 [6] V. Guzey, *Phys. Rev. C* 69, 065203 (2004).
 [7] S. Niccolai *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* 97, 032001 (2006).

•• PHYSIQUE NUCLÉAIRE ET HADRONIQUE

Plasma de quarks et de gluons

Expérience NA60

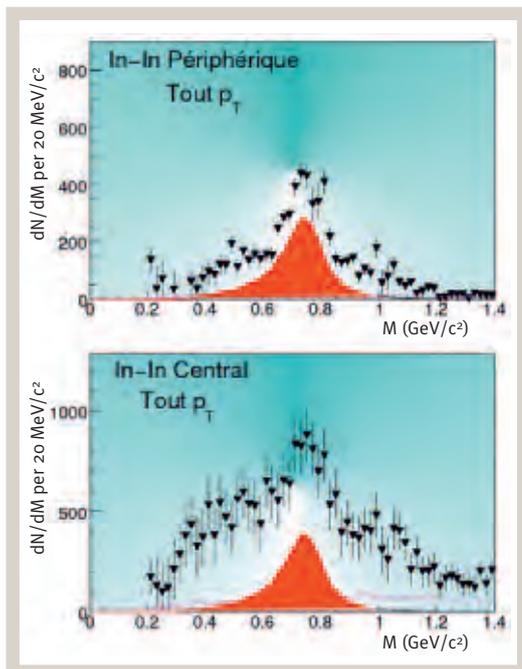
Raphaël Tieulent

L'expérience NA60 réalisée au Cern s'inscrit dans la continuité des expériences NA38 et NA50 consacrées à la recherche du plasma de quarks et de gluons. Elle étudie la production des paires de muons dans les collisions proton-noyau et noyau-noyau. L'ajout d'un télescope de pixels de silicium avant l'absorbeur hadronique a permis d'obtenir des données d'une qualité sans précédent.

Le dispositif expérimental comprend: le spectromètre à muons utilisé par NA38/NA50, un télescope à pixels disposé après la cible dans un dipôle magnétique de 2,5 T ainsi qu'un détecteur de faisceau mesurant la position transverse de la particule incidente avec une précision d'environ 20 μm . L'association des trajectoires des muons amont et aval mesurées dans le spectromètre et dans le télescope permet d'obtenir une résolution à la masse du ϕ de 23 $\text{MeV}\cdot\text{c}^{-2}$ et un rapport signal sur bruit trois fois meilleur que dans NA50. L'expérience NA60 a pris des données en proton-noyau en 2001 et 2003. L'expérience In-In à 158 $\text{GeV}/\text{nucléon}$ a eu lieu en 2004. Nous présentons dans ce rapport les résultats en collisions In-In dans le domaine des basses masses. Ceres a étudié la région des basses masses en diélectrons en collisions p-Be/Au, S-Au et Pb-Au. En ions lourds, un excès de paires d'électrons, au voisinage de la masse du ρ , a été mis en évidence, relativement à l'extrapolation des données p-A. L'étude du ρ dont la durée de vie est inférieure à celle du milieu dense créé donne des informations

sur la matière aux premiers instants de la collision. S'il y a restauration partielle de la symétrie chirale, la fonction spectrale du ρ doit être modifiée. En raison de la faible statistique des

données et de la mauvaise résolution en masse, il était difficile d'étudier dans Ceres les modifications subies par le ρ dans le milieu. La statistique importante accumulée par NA60 (supérieure d'un facteur ~ 1000 à Ceres) ainsi que la qualité des mesures permet ce type d'étude. Après avoir soustrait le fond combinatoire associé aux désintégrations des π et des K ainsi que les fausses associations de traces entre le télescope et le spectromètre à muons, le lot d'événements sélectionné est de 360 000 paires de muons. L'analyse a été réalisée en quatre tranches de centralité: périphérique, semi-périphérique, semi-centrale et centrale. Les données périphériques (figure du haut) peuvent être décrites à l'aide des sources attendues (cocktail hadronique): désintégration en muons des mésons η , ρ , ω et ϕ et du charme ouvert DD . Les données les plus centrales font apparaître un excès obtenu en soustrayant du spectre brut les contributions hadroniques standard à l'exception de la fonction spectrale du ρ . La distribution en masse de l'excès est montrée sur la figure du bas. Cette figure met en évidence l'excès associé à l'élargissement du ρ lorsque la centralité augmente, alors que la distribution reste centrée à la position nominale de la masse du ρ . L'excès atteint un facteur trois entre les collisions centrales et périphériques [2]. Dans le domaine des masses intermédiaires, NA60 montre que l'excès observé par NA50 [3] est dû à des dimuons directs (thermiques). C'est la première expérience à avoir observé ce résultat [4]. L'absorption anormale du J/ψ mise en évidence par NA50 est confirmée par NA60 en In-In [5].



Distribution expérimentale du ρ (triangles noirs), pour des collisions Périphériques (en haut) et centrales (en bas). La fonction spectrale attendue du ρ est représentée en rouge.

 <http://na60.cern.ch/www>

Dimuon and charm production in nucleus-nucleus collisions at the CERN-SPS. *European Physics Journal C14* (2000) 443; CERN-EP-2000-012

First Measurement of the rho Spectral Function in High-Energy Nuclear Collisions, *Phys. Rev. Lett.* 96, 162302 (2006).

A first look at open charm production in Indium-Indium collisions at SPS energies. *European Physics Journal C43* (2005) 209.

J/ψ production in Indium-Indium collisions. *European Physics Journal C43* (2005) 167.

LABORATOIRES FRANÇAIS DE LA COLLABORATION

CNRS/IN2P3: IPNL, LPC-Clermont, LLR.

Phenix, la suppression du J/ψ

Raphaël Granier de Cassagnac

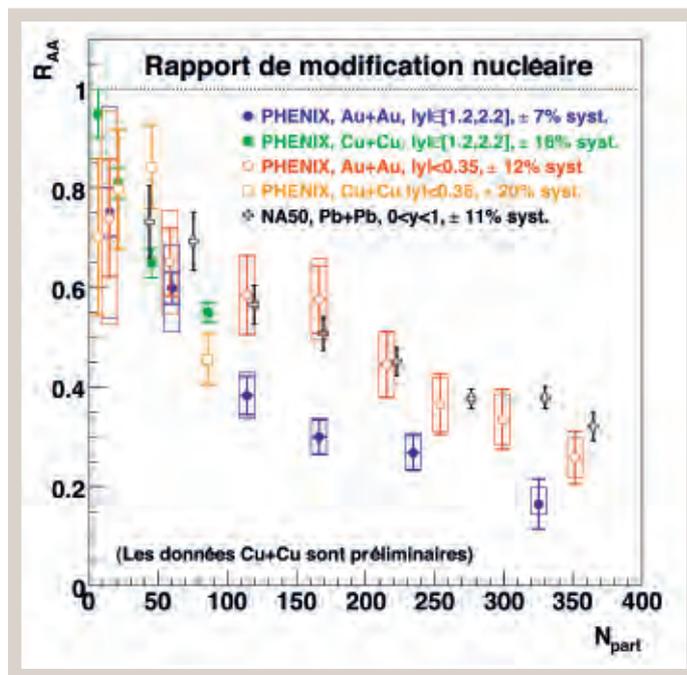
Les physiciens de Phenix observent la disparition de la particule J/ψ , dans les collisions d'ions lourds les plus violentes jamais réalisées. Il s'agit là d'une des signatures prédites de l'apparition d'un milieu dans lequel quarks et gluons sont déconfinés.

Le collisionneur RHIC est situé au Laboratoire National de Brookhaven, dans l'état de New-York. Il a démarré en 2000 et délivre depuis divers types de collisions. Les prises de données de 2004 et 2005 ont permis d'accumuler des lots conséquents de collisions or+or et cuivre+cuivre, favorisant l'observation d'événements de plus en plus rares. C'est en particulier le cas de la production du méson J/ψ .

L'expérience Phenix, à laquelle participent cinq équipes de l'IN2P3 et une du CEA/Dapnia, est particulièrement adaptée à l'observation de cette particule, au travers de ses désintégrations en deux leptons. Elle dispose en effet de détecteurs médians permettant d'identifier des électrons et de deux bras vers l'avant sensibles aux muons. L'électronique de lecture de l'un de ces deux spectromètres à muons a été produite par les équipes françaises qui en possèdent aujourd'hui l'expertise et en assurent la maintenance. La reconstruction du lot de J/ψ se désintégrant en paire de muons a été effectuée au centre de calcul de l'IN2P3 pour la prise de données de 2004 (ainsi que les précédentes).

L'analyse des collisions or+or et cuivre+cuivre montre que le méson J/ψ est supprimé, au-delà des effets nucléaires standards. Cette suppression « anormale » a déjà été observée à des énergies plus basses par l'expérience NA50 du Cern. À en croire les prédictions théoriques extrapolant ces mesures, la suppression aurait dû être plus forte au RHIC. Curieusement, il n'en est rien, les courbes de suppression étant assez similaires. Il est trop tôt pour tirer des conclusions, mais une explication possible serait que seuls les états excités des charmonia (ψ' , χ_c) fondent dans le plasma, laissant intacts les J/ψ initialement produits. Une autre explication, renforcée par le fait que la suppression observée par Phenix est d'autant plus grande que la densité d'énergie est faible (vers l'avant), résiderait dans la recombinaison de quarks charmés. L'une comme l'autre ne sont précisément possibles que si le milieu produit est déconfiné.

D'autres signatures du plasma de quarks et de gluons ont également été vues par Phenix.



L'atténuation des jets, le flot elliptique et la production de photons thermiques forment, avec la suppression des J/ψ , un faisceau de présomptions très fort qu'une matière déconfinée et interagissant fortement est produite à RHIC.

Pour mieux comprendre la suppression du J/ψ , plusieurs pistes sont actuellement suivies. L'observation de son comportement collectif (flot elliptique) nous renseignera sur l'histoire des quarks qui le composent. Cette mesure est prévue lors de la prise de données de 2007 dont la reconstruction sera assurée quasi en ligne par le centre de calcul de l'IN2P3, à la fois pour les électrons et les muons. La mesure de la production totale du charme est également très attendue et sera possible grâce à l'adjonction d'un détecteur de vertex au silicium. Une équipe de l'IN2P3 participe à cet effort en assumant la responsabilité de la conception de cartes d'électronique appelées Silicon Pixel Interface & Read-Out.

Mesure de la suppression (normalisée aux collisions $p+p$) du méson J/ψ dans les collisions or+or (nucl-ex/0611020 soumis à physical review letters) et cuivre+cuivre (données préliminaires) par l'expérience Phenix à rapidité médiane (cercles) et vers l'avant (carrés), comparée au résultat de NA50 (croix), en fonction de la centralité (nombre de nucléons participants à la collision).



LABORATOIRES FRANÇAIS DE LA COLLABORATION

CNRS/IN2P3: LPC Clermont, IPNO, LLR | CNRS/DSM: Dapnia, SPHN Saclay.

Star, l'expérience de l'étrangeté à RHIC

Christelle Roy

Depuis 2000, l'expérience Star a permis de collecter une pléthore de résultats nouveaux et parfois inattendus, contribuant ainsi de façon majeure à la caractérisation de la matière si particulière que les collisions à RHIC ont engendrée. L'implication de l'IN2P3 dans l'expérience Star se situe dans les activités de recherche de deux équipes avec la construction d'un détecteur de vertex et les analyses de physique sur la production d'étrangeté, secteur d'investigation spécifique à Star.

Le SSD au premier plan sur sa structure support avant d'être inséré dans Star (arrière plan).



Après du collisionneur RHIC de Brookhaven, l'expérience Star a la spécificité de posséder les détecteurs adéquats pour la mesure des hyperons. Parce qu'elle portent des quarks étranges, une production anormalement élevée de ces particules étranges est attendue avec l'augmentation de l'énergie de collision mais surtout de la taille du système, « anormalement » par rapport à ce que subirait une particule non étrange dans les mêmes conditions expérimentales. Ceci s'expliquerait par la formation, en amont, d'un plasma de quarks et de gluons, siège d'abondantes fusions de gluons qui seules permettraient une telle production de quarks étranges. À RHIC, les conditions étaient réunies, que ce soit au niveau des énergies de collision ou des détecteurs mis en œuvre, pour caractériser les mécanismes de production de l'étrangeté et mieux encore, pour espérer en déduire qu'un plasma de quarks et de gluons a bel et bien été créé.

En rejoignant la Collaboration Star dès 1998, des physiciens de l'IPHC à Strasbourg et de Subatech à Nantes en ont fait leur programme de recherche pour la dizaine d'années qui allaient suivre, proposant la réalisation d'un détecteur de capteurs silicium à micropistes (le SSD pour Silicon Strip Detector) afin d'améliorer les performances de trajectographie de Star, en particulier pour les particules à faible durée

de vie tels les hyperons. Entièrement conçu et construit dans ces deux laboratoires, le SSD fut installé dans Star de manière définitive pendant l'été 2004 (photo) et collecte depuis les données des diverses campagnes. Utilisant des technologies innovantes, en particulier pour sa connectique, ses performances en font un détecteur clé pour étudier les particules étranges et charmées comme pour les programmes de physique auprès du futur RHICII puisqu'il restera en place, moyennant une modification de cartes électroniques dont Subatech pourrait avoir la responsabilité.

Menées conjointement à l'IPHC et à Subatech, les analyses relatives aux particules étranges ont été diverses, portant sur leurs taux de production, leurs propriétés dynamiques et chimiques, leurs corrélations, leurs résonances ou encore les particules exotiques. Les informations extraites furent tout aussi diverses puisque ce sont les différentes étapes de la collision qui ont pu être étudiées. Certains de ces phénomènes avaient été observés au Cern (expériences WA97, NA57 ou NA49) et RHIC a permis de confirmer et affiner ces mesures grâce aux statistiques élevées à la disposition des physiciens. En revanche, des observations nouvelles apparurent à RHIC: les taux de production des hyperons associés à ceux des hadrons non-étranges indiquèrent que la matière nucléaire étrange créée est aussi à l'équilibre chimique dans le milieu. L'étude des particules multi-étranges révéla la pertinence de degrés de liberté partoniques pour décrire le mouvement collectif des hadrons ainsi que les mécanismes de production dans le domaine des énergies intermédiaires à savoir la formation des hadrons par coalescence de quarks.

L'étrangeté est apparue à RHIC comme une sonde extrêmement judicieuse pour les informations diverses et pertinentes qu'elle a apportée et son investigation se poursuivra auprès d'Alice pour comprendre cette fois-ci la matière créée aux énergies LHC.

 <http://www.phenix.bnl.gov/>

**LABORATOIRES FRANÇAIS
DE LA COLLABORATION**

CNRS/IN2P3: IPHC, Subatech.

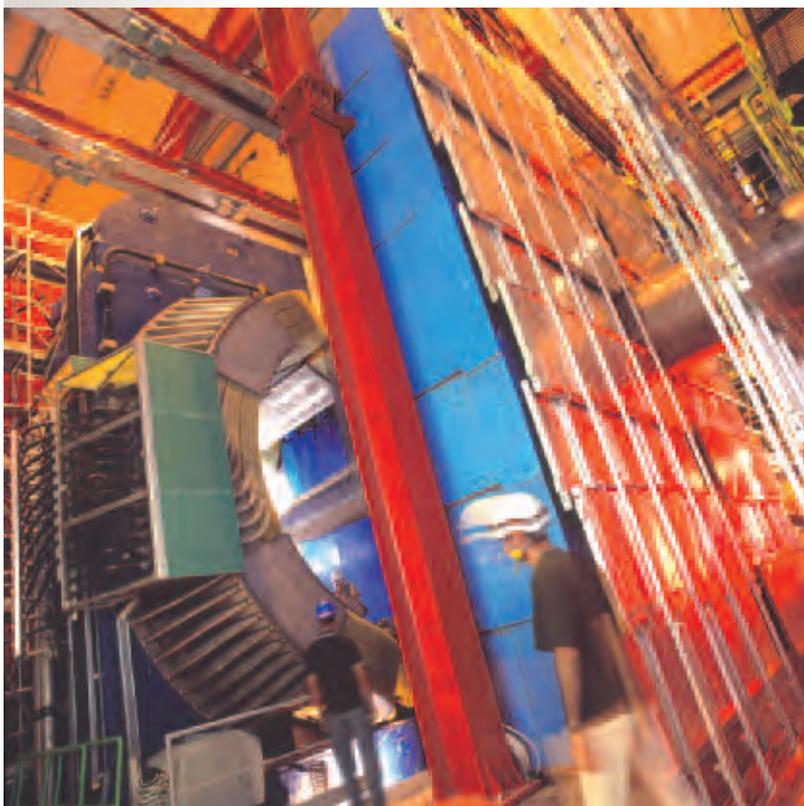
L'expérience Alice

Philippe Crochet, Christian Finck

Alice se prépare à explorer l'autre côté du miroir où, dès 2008, les premières collisions entre ions lourds au LHC devraient révéler les propriétés d'un nouvel état de la matière constitué d'une soupe de quarks et de gluons à des températures colossales.

Avec une énergie par paire de nucléons de près de trente fois supérieure à celle atteinte à RHIC, le LHC va offrir, dès 2008, le saut en énergie le plus grand dans l'histoire des collisions d'ions lourds ultra-relativistes et ouvrir une nouvelle ère pour l'étude du plasma de quarks et de gluons (QGP) dans une région encore inexplorée du diagramme de phase de la matière nucléaire. Le système produit durant la collision sera caractérisé par une augmentation considérable de sa densité d'énergie, de son volume et de son temps de vie, ce qui facilitera grandement son étude expérimentale. Par ailleurs, les conditions thermodynamiques (grande température et faible potentiel chimique baryonique), pour lesquelles les théories perturbatives peuvent être appliquées, faciliteront également les comparaisons avec les calculs de chromodynamique quantique sur réseau. Enfin, un des aspects le plus novateur des collisions d'ions lourds à l'énergie

Le spectromètre à muon d'Alice avec au premier plan les chambres du système de déclenchement. © Antonio Saba pour le Cern.



du LHC est la production massive de processus durs qui pourront être utilisés, pour la première fois, comme des sondes de grande statistique du QGP.

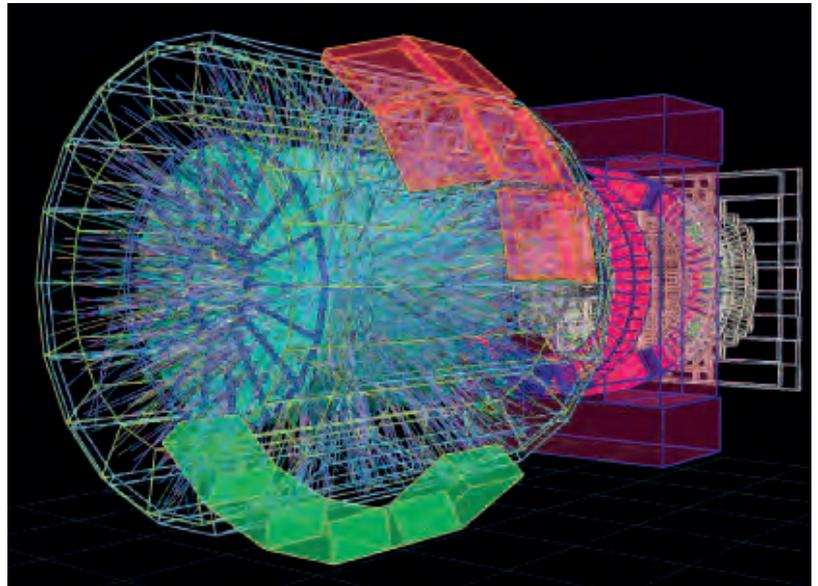
Alice (A Large Ion Collider Experiment) est le seul des quatre détecteurs du LHC spécialement dédié à l'étude des collisions d'ions lourds. La collaboration Alice regroupe actuellement plus de mille membres (dont une cinquantaine de physiciens et une centaine d'ITA français) venant de 90 instituts (dont sept laboratoires français) répartis dans 30 pays. Alice a la tâche particulièrement délicate de regrouper dans un unique détecteur l'ensemble des mesures effectuées au SPS par sept expériences ou au RHIC par quatre expériences. Le détecteur est donc conçu pour effectuer des mesures de précision de l'ensemble des signatures connues du QGP. En plus du programme de physique avec les ions lourds, Alice enregistrera des données en mode ions légers pour explorer une large gamme de densité d'énergie et en mode proton-proton et proton-noyau afin de fournir les références pour les collisions d'ions lourds. Le détecteur est constitué de sous-détecteurs centraux mesurant les hadrons, les électrons et les photons, ainsi que d'un spectromètre à petits angles mesurant les muons. L'ensemble de l'expérience est actuellement en phase d'installation.

Les laboratoires français apportent une contribution importante dans plusieurs sous-détecteurs et projets d'Alice. L'IN2P3 réalise et monte les couches 5 et 6 du système de trajectographie interne de la partie centrale d'Alice. Ce détecteur, comportant 1 700 capteurs en silicium à micro pistes double-face (SSD) montés sur 72 échelles, couvre une surface de plus de 5 m² avec près de 3 millions de voies électroniques. Les laboratoires français ont réalisé avec succès 500 de ces modules, 16 de ces échelles et le système de contrôle du détecteur. Le système complet a été assemblé aux Pays-Bas et livré au Cern en décembre 2006. L'IN2P3 est également impliqué dans la réalisation du détecteur V0 et de son électronique associée. Ce détecteur à petits angles est composé de deux disques de 32 scintillateurs plastiques. Il permet de filtrer les effets du bruit de fond dans le spectromètre à muons et délivre un signal d'interaction pour les détecteurs centraux. Le disque V0C, côté spectromètre, a été installé en caverne début 2007. La contribution française la plus importante



concerne le spectromètre à muons qui constitue l'un des grands sous-systèmes d'Alice. La coordination du projet est assurée par un membre du Dapnia. Le spectromètre est composé d'un absorbeur frontal, d'un absorbeur à petits angles, d'un mur de fer, d'un dipôle, d'un système de trajectographie et d'un système de déclenchement. L'IN2P3 et le Dapnia sont impliqués dans quatre des cinq stations du système de trajectographie avec, notamment, la construction, l'intégration et l'alignement des détecteurs. La coordination de toute l'électronique associée est assurée par l'IN2P3. Le dispositif a une surface totale active de plus de 100 m² et comprend plus d'un million de voies électroniques. Les chambres sont maintenant montées sur leurs supports pour toute la station 4 et la moitié de la station 5. Les chambres des stations 1 et 2 sont assemblées et prêtes à être installées en cave. Les services de gaz, de refroidissement, de basses et hautes tensions sont en phase d'installation pour les cinq stations. Le dispositif de surveillance de positions des supports des chambres à fils a été testé sur une partie de la station 4 avec succès. Pour la partie déclencheur, l'IN2P3 est en charge de l'ensemble de l'électronique, du niveau frontal (21 000 voies) à la logique de décision. L'IN2P3 est aussi impliqué dans l'intégration des services et dans le système de contrôle des détecteurs. Toutes les chambres du déclencheur ont été installées en cave et équipées de leur électronique frontale. Les cartes d'électronique de décision sont maintenant en cours d'installation. Notons finalement que les laboratoires français assurent également la coordination de l'ensemble des logiciels en ligne et hors ligne associés au spectromètre.

La collaboration Alice poursuit aussi un effort considérable de développement d'outils d'analyse et de calcul. L'environnement de simulation, de reconstruction et d'analyse (AliRoot) a permis d'évaluer les performances attendues pour la mesure des différentes observables. Les résultats ont été récemment publiés dans les deux volumes du « Physics Performance Report » de la collaboration. Depuis 2005, les efforts sont concentrés sur la définition du format des données et sur le développement des programmes d'analyse. Ce travail est effectué au sein des quatre groupes de physique (PWG), trois d'entre eux ayant un coordonateur français. La France y est largement représentée avec des analyses orientées sur



Simulation AliRoot d'une collision Pb-Pb à l'énergie du LHC dans l'expérience Alice.
© « Alice core offline and Root team ».

la mesure i) des résonances de basse masse, des saveurs lourdes ouvertes, des quarkonia et des bosons électro-faibles dans le canal (di-)muonique (PWG3), ii) des hyperons simplement et multi-étranges (PWG2) et iii) des photons et des hadrons de grande impulsion transverse (PWG4). Ces études ont été consignées dans 11 thèses soutenues depuis 2003 et ont fait l'objet d'une trentaine de présentations dans des conférences et workshops internationaux (hors réunions de collaboration). Les données simulées sont actuellement produites sur des ressources distribuées dans le cadre du « Physics Data Challenge 2006 » (PDC06). Cette activité vise à s'assurer de la capacité à stocker, transférer, reconstruire et analyser un grand volume d'événements en prévision des premières prises de données réelles. De son démarrage (le 26 avril 2006) au début 2007, le PDC06 a permis de produire plus de 448 000 jobs pour un volume total de données dépassant 325 TB. Cinquante-sept centres de calcul dont six Tier-1 sont impliqués. La France contribue à cette production avec un Tier-1 et quatre Tier-2.

👁 Alice France : <http://alice-france.in2p3.fr/>
Alice « outreach » :
<http://alice-outreach.in2p3.fr/>

LABORATOIRES FRANÇAIS DE LA COLLABORATION ALICE

CNRS/IN2P3 : LPC Clermont, IPHC, IPNO, IPNL, LPSC, Subatech |
CEA/DSM : Dapnia.

Fopi et Hades : étude des effets de milieu nucléaire

Nicole Bastid, Thierry Hennino

Les expériences Fopi et Hades installées auprès du SIS du GSI-Darmstadt sont dédiées à l'étude de la matière hadronique dense et chaude formée lors de collisions d'ions lourds à des énergies de faisceau de 100A MeV à 2A GeV. Un des principaux objectifs scientifiques concerne l'étude du comportement des hadrons (baryons et mésons étranges et mésons vecteurs) dans le milieu nucléaire.

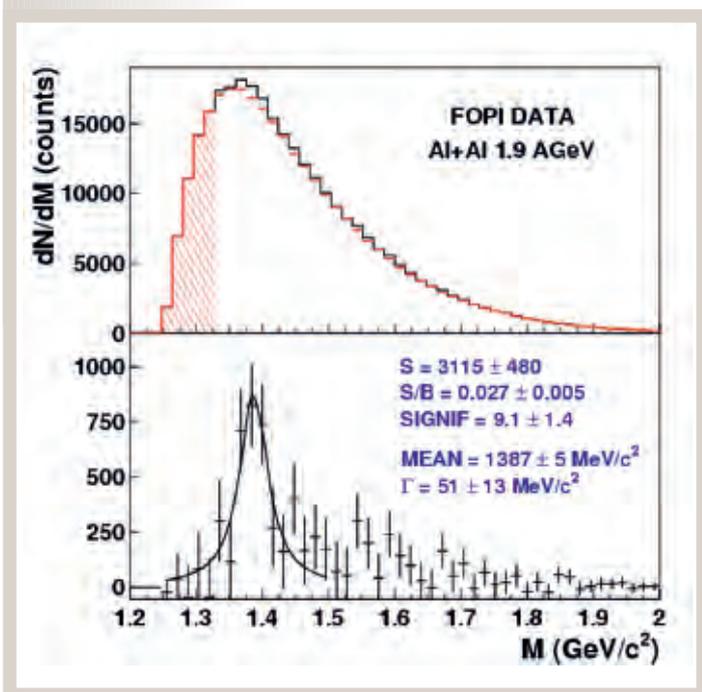
La mesure des kaons, réalisée avec Fopi, a permis d'étudier les effets de milieu nucléaire et notamment de mettre en évidence un potentiel répulsif K^+ -nucléon. Suite à de profondes modifications du dispositif, deux campagnes de prises de données à très haute statistique (Al+Al et Ni+Ni à 1,9A GeV) ont eu lieu entre 2003 et 2006 et ont fourni des résultats remarquables. La statistique collectée (plus de 300 millions d'événements pour le système Al+Al) a en particulier permis de mettre en évidence, pour la première fois, un signal de $\Sigma(1385)$ sous le seuil de création. La seule autre mesure du $\Sigma(1385)$ en mode ions lourds a été effectuée au RHIC par la collaboration Star. La mesure à SIS présente un intérêt fondamental pour l'interprétation des taux de production de K^- . En effet, les K^- sont principalement produits par réaction d'échange d'étrangeté $\pi+Y \rightarrow K^- + \text{Baryon}$ ($Y = \Lambda, \Sigma$) et leur production est ainsi intimement liée à celle des hypérons Y. Afin de compléter l'étude de la production d'étrangeté avec notamment la mesure

des K^- dans une grande acceptance, un nouveau système de temps de vol à haute granularité et haute résolution temporelle, de type « Multi-Gap Resistive Plate Chambers », est en cours d'installation. Les prises de données devraient débuter mi-2007 et se poursuivre jusqu'à fin 2009. Le LPC Clermont a la responsabilité du sous-détecteur « Mur Interne », mur de scintillateurs plastiques situé aux angles avant, et contribue aux principaux thèmes de physique développés dans la collaboration. Il participera aux prises de données avec le nouvel appareillage.

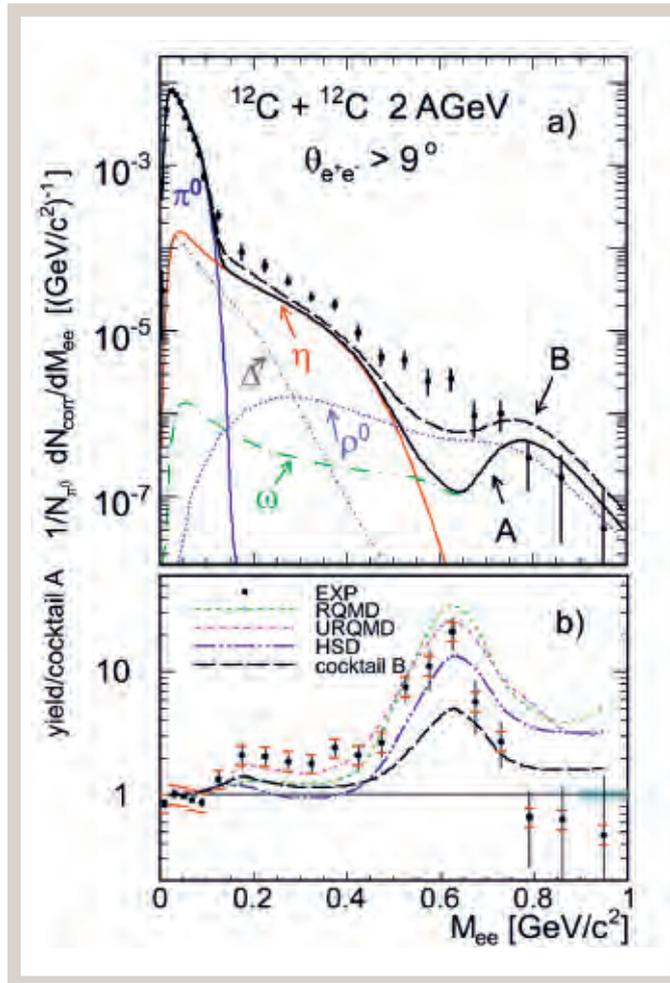
Le détecteur Hades, dédié à la mesure des paires de leptons, a pour but de mesurer la fonction spectrale des mésons vecteurs (masse, largeur) dans la matière nucléaire dense, jusqu'à $3 \rho_0$, et modérément chaude ($T < 100$ MeV). Selon certains modèles théoriques une modification de ces fonctions spectrales pourrait être le signe d'une restauration de la symétrie chirale.

Des expériences ont été réalisées en collisions C+C à 1A et 2A GeV et en Ar+KCl à 1,8A GeV. Des données ont été également prises en réaction p+p à 2,2 et 1,25 GeV et ont permis dans un premier temps de contrôler l'ensemble du détecteur, de valider les calculs d'acceptance et de déterminer pour chacun des sous-détecteurs les efficacités associées. Elles permettent aussi d'accéder directement, par l'utilisation de coupures cinématiques, à chacun des processus contribuant au spectre de dileptons et ainsi fortement contraindre les ingrédients des modèles. C'est ainsi que nous pourrions isoler la décroissance Dalitz du Δ^+ . Tandis que les données sur le système le plus lourd sont en cours d'analyse, les premiers résultats en C+C à 2A GeV, obtenus dans des conditions de résolution encore relativement modestes, permettent d'apprécier la qualité de l'ensemble expérimental. Mesuré sur cinq ordres de grandeur, le spectre expérimental, dominé par la décroissance Dalitz des mésons scalaires π^0 et η , montre déjà clairement l'importance des autres sources et notamment celles associées aux mésons vecteurs.

Distribution de masse invariante des $\Sigma(1385)$ candidats avec le bruit de fond combinatoire en rouge (haut) et distribution obtenue après soustraction du bruit de fond à la combinatoire (bas). (Collaboration Fopi)



Taux de dileptons mesuré dans l'acceptance de Hades, après correction d'efficacité. En a), le taux mesuré de dileptons est comparé à un cocktail de particules supposées décroissant librement dans le vide (c'est-à-dire sans mettre explicitement d'effets de milieu). Tandis que le cocktail A ne comprend que les dileptons associés aux particules émises au-delà du temps caractéristique de la boule de feu (π^0 , η , ω), le cocktail B prend en compte l'ensemble des contributions (π^0 , η , ω , Δ , ρ). En b) le taux expérimental, normalisé au cocktail A permet de mettre en évidence l'effet des sources promptes (Δ et ρ). Les résultats de différents calculs de transport microscopiques, dont aucun n'introduit explicitement de modifications de la réponse spectrale des mésons vecteurs, sont aussi montrés, toujours normalisés par rapport au cocktail A. (Collaboration Hades)



LABORATOIRES FRANÇAIS DE LA COLLABORATION

CNRS/IN2P3: IPHC (Fopi), IPNO (Hades), LPC Clermont (Fopi).

Les nombres magiques à l'épreuve du temps

Marie-Geneviève Porquet, David Verney

L'existence d'une structure en couches dans le noyau atomique, pressentie très tôt dans l'histoire de la physique nucléaire (W. Elsasser, 1934), s'est peu à peu imposée suite à l'accumulation de preuves expérimentales suffisantes pour établir l'existence de nombres magiques de nucléons. Néanmoins, basée sur une analogie formelle avec le modèle du champ moyen de la physique atomique, cette vision du noyau n'a été validée que lorsque M. Goeppert Mayer et J.H.D. Jensen (prix Nobel de 1963) eurent l'idée d'un terme de couplage entre le moment angulaire et le spin du nucléon.

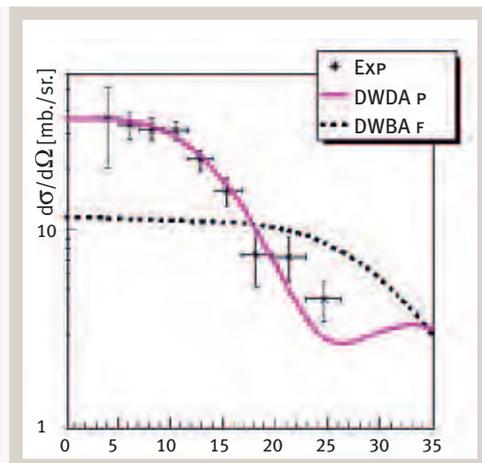
L'existence de tels nombres, marquant les fermetures des couches majeures dans le champ moyen nucléaire sphérique, validait *ipso facto* la notion même de champ moyen nucléaire, pierre angulaire de toute description microscopique de la structure nucléaire. À la lumière de cet éclairage historique on comprend aisément que la découverte du premier état excité de $^{32}\text{Mg}_{20}$ à une énergie anormalement basse étant donné son nombre magique $N=20$ de neutrons, allait solliciter un grand nombre de travaux, tant expérimentaux que théoriques. Afin d'expliquer les apparentes érosions, raffermissements, voire éclosions des nombres magiques loin de la stabilité, différents mécanismes ont été tour à tour invoqués.

Le comportement de $N=28$, premier sur la liste des nombres magiques de la séquence spin-orbite (28, 50, 82, 126), a fait l'objet de plusieurs études expérimentales ces dernières années afin de mieux comprendre ces mécanismes. Deux expériences récentes [1, 2] effectuées au Ganil ont permis de mettre en évidence une réduction importante du *gap* en énergie assurant l'effet de couches à 28 neutrons, lorsque le nombre de protons diminue. Dans la première, le

premier état excité 2^+ du $^{42}\text{Si}_{28}$ a été mesuré suite à deux fragmentations successives d'un faisceau primaire de ^{48}Ca délivré par le Ganil [1]. Dans la seconde, un faisceau radioactif de ^{46}Ar issu du dispositif Spiral a été utilisé pour étudier les états de $^{47}\text{Ar}_{29}$ par l'intermédiaire d'une réaction de transfert (d,p) [2]. Ces expériences n'ont été rendues possibles que par l'utilisation optimale de tous les dispositifs de détection mis au point au fil des années : détecteurs de localisation du faisceau, détecteurs Must, détecteurs du Château de Cristal et spectromètre Spieg. La conséquence de cette réduction de *gap* sur la structure du noyau très exotique $^{42}\text{Si}_{28}$ est impressionnante : ce noyau, à l'instar de $^{32}\text{Mg}_{20}$, possède un premier état excité à une énergie très faible, typique d'un comportement collectif, par ailleurs confirmé par des calculs théoriques élaborés. Il est clair qu'avec leurs nombres de neutrons et de protons formant des couples inhabituels, les noyaux exotiques présentent des configurations neutron-proton inédites, sensibles à certains termes de l'interaction effective nucléon-nucléon jusqu'alors négligeables : c'est la nature même de cette interaction qu'interroge donc la physique des noyaux exotiques.

La fermeture de couches $N=50$ (deuxième dans la séquence) est maintenant à l'étude [3, 4, 5] : de premiers résultats indiquent déjà une réduction du *gap* lorsque le nombre de protons baisse de 38 à 32. Sans nul doute, les expériences prévues prochainement auprès d'Alto, poursuivant celles effectuées auprès de PARRNe, devraient apporter leur moisson d'informations sur le comportement des orbites d'intérêt pour le $^{78}\text{Ni}_{50}$, avant que son étude ne puisse être entreprise avec les faisceaux de Spiral2.

Distribution angulaire du groupe de protons de plus haute énergie correspondant au peuplement de l'état fondamental de $^{47}\text{Ar}_{29}$ dans la réaction $^{46}\text{Ar}_{28}(d,p)$, le neutron étant déposé sur la couche p.



- 👁 [1] B. Bastin, S. Grévy *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* 99 (2007) 022503
 [2] L. Gaudefroy, O. Sorlin *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* 97 (2006) 092501
 [3] O. Perru, D. Verney *et al.*, *Eur. Phys. J. A* 28 (2006) 307
 [4] D. Verney *et al.*, *Phys. Rev. C* 76 (2007) 054312
 [5] A. Prévost, M.-G. Porquet *et al.*, *Eur. Phys. J. A* 22 (2004) 391

LABORATOIRES FRANÇAIS
 IPNO, Ganil, IPHC, CSNSM.

Les vibrations géantes du noyau n'en finissent plus de se superposer !

Muriel Fallot

Les noyaux peuvent présenter des modes d'excitation extrêmes dans lesquels ils peuvent être super/hyper-déformés et tourner à très grande vitesse ou vibrer à haute fréquence. Récemment le mouvement de vibration d'amplitude la plus grande jamais observée dans les noyaux atomiques a été découvert au Ganil : un état à trois phonons construit avec des résonances géantes.

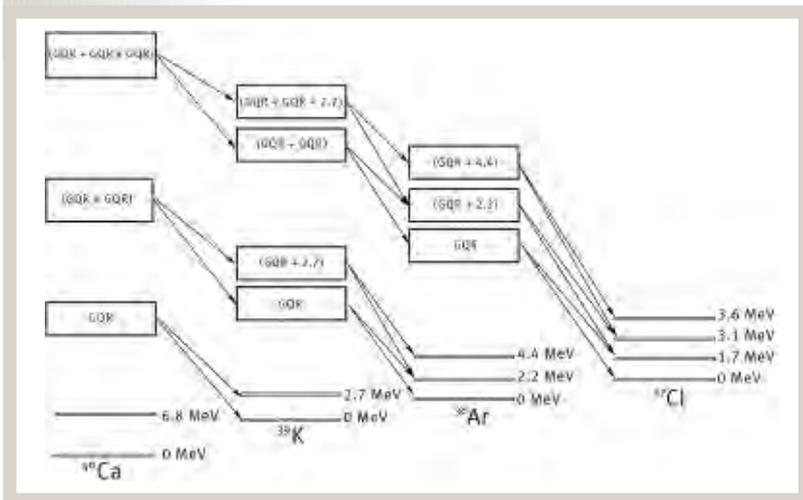
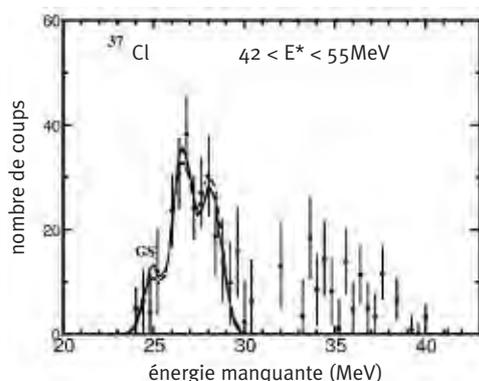
Les résonances géantes sont des vibrations collectives du noyau où une fraction importante des nucléons qui le composent oscillent de façon cohérente, ils bougent ainsi de manière organisée et périodique. Certains de ces modes sont similaires aux vibrations d'une goutte liquide. La mécanique quantique prédit que plusieurs de ces résonances géantes peuvent être excitées simultanément formant des modes appelés états multiphonons. Pour la première fois un état à trois phonons a été mis en évidence, constitué de trois résonances géantes superposées, ce qui confère à cette vibration l'amplitude la plus grande jamais observée jusqu'alors [1].

Des états à 2 phonons ont été observés il y a une dizaine d'années via différentes méthodes expé-

rimentales, en particulier au Ganil [2]. Toute la question est de savoir si ces vibrations du noyau sont harmoniques, ce qui signifierait que les nucléons s'assemblent par paires pour adopter les propriétés des bosons, ou si les interactions entre ces nucléons rendent les vibrations anharmoniques. Les sections efficaces des états à deux phonons mesurées par différentes méthodes dans de nombreux noyaux jusqu'alors ne correspondent pas à celles prédites pour un spectre harmonique. Selon les prédictions théoriques, les anharmonicités devraient augmenter avec le nombre de phonons excités [3]. L'observation d'un état à 3 phonons est donc primordiale pour expliquer l'origine de ces anharmonicités et faire progresser notre compréhension des mouvements nucléaires de grande amplitude. Ces derniers, difficiles à observer, sondent la réponse nucléaire à des conditions extrêmes et sont un outil primordial pour notre compréhension de l'interaction nucléaire.

Cette découverte a été réalisée au Ganil à l'aide d'un dispositif expérimental très sophistiqué, constitué d'un spectromètre de haute résolution (Speg) [4] couplé à un multidétecteur de particules chargées (Indra) [5] couvrant la quasi-totalité de l'espace autour de la cible. Des collisions entre un faisceau de ^{40}Ca à 50 MeV/A et une cible de ^{40}Ca ont été réalisées. C'est la décroissance particulière d'un état à trois phonons par émission de trois protons, sa décroissance directe, détectée en coïncidence avec un ^{40}Ca émergent qui a permis de signer cet état. Les propriétés de sa décroissance directe ont été étudiées et ne semblent pas correspondre à celles attendues dans le cas le plus simple d'un spectre harmonique.

Spectre expérimental de la décroissance directe par 3 protons vers les états du ^{37}Cl d'un état à trois phonons construit avec la résonance géante quadrupolaire principalement dans le ^{40}Ca , ainsi qu'une représentation schématique de la décroissance directe de l'état à 3 phonons. Le spectre expérimental est comparé à des simulations de vibration harmonique ou anharmonique [1].



[1] M. Fallot et al., *Phys. Rev. Lett.* 97 (2006) 242502.
 [2] J. A. Scarpaci et al., *Phys. Rev. Lett.* 71 (1993) 3766.
 [3] E. G. Lanza et al., *Phys. Rev. C* 74 (2006) 064614
 [4] L. Bianchi et al., *Nucl. Inst. Meth. A* 276 (1989) 509.
 [5] J. Pouthas et al., *Nucl. Inst. Meth. A* 357 (1995) 418.

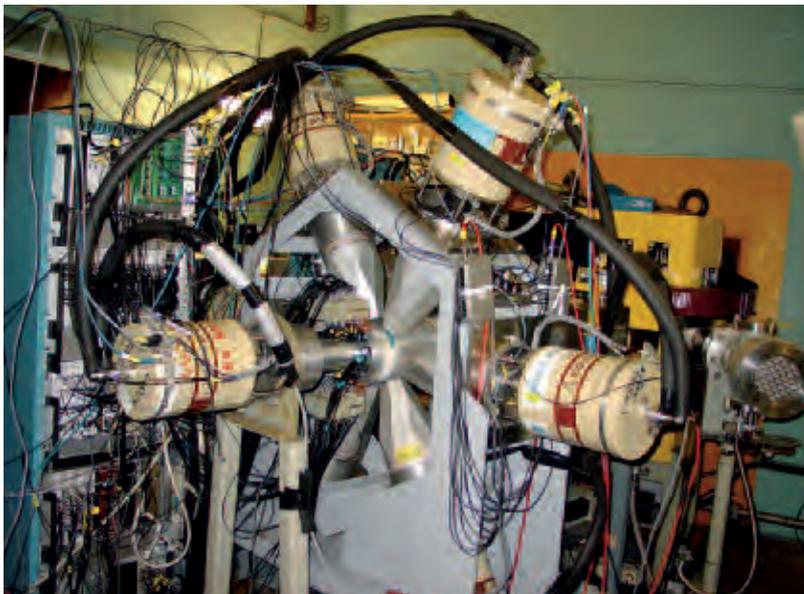
LABORATOIRES FRANÇAIS

CNRS/IN2P3 : IPNO | CEA/CNRS : Ganil | CEA : DSM/Dapnia/SPhN.

Spectroscopie des noyaux lourds : une route vers les super lourds

Araceli Lopez-Martens, Olivier Dorvaux

Deux laboratoires de l'IN2P3, le CSNSM et l'IPHC, ont lancé et mis en place un projet de spectroscopie des noyaux très lourds au Flerov Laboratory of Nuclear Reactions (FLNR) du Joint Institute for Nuclear Research (JINR) à Dubna.



Le dispositif expérimental Gabriela.

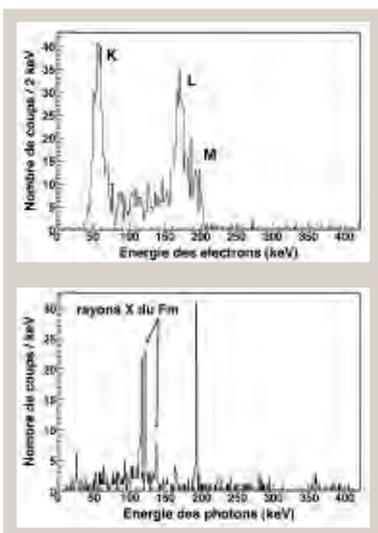
Les éléments les plus lourds sont un laboratoire unique pour étudier la structure nucléaire dans des conditions extrêmes de charge (Z) et de masse. Malheureusement, les très faibles sections efficaces de synthèse des éléments super lourds ($Z > 108$) rendent impossible l'étude directe et

détaillée de leur structure par des mesures spectroscopiques. Heureusement, des informations toutes aussi pertinentes sur les propriétés des noyaux massifs peuvent être apportées par la spectroscopie des noyaux transfermium déformés ($Z \geq 100$), pour lesquels les sections efficaces de production sont supérieures de plusieurs ordres de grandeur.

Dans ce but, une collaboration IN2P3-JINR a amorcé un projet nommé Gabriela [1], qui consiste en la détection des photons et électrons de conversion interne émis par des noyaux lourds produits dans des réactions de fusion et transportés jusqu'au plan focal du séparateur d'ions de recul Vassilissa. Ce qui rend ce projet original est l'utilisation de réactions de fusion chaude induites par des faisceaux légers très intenses ($> 6 \cdot 10^{12}$ particules/s) sur des cibles d'actinides radioactifs, uniquement disponibles à Dubna. Un ensemble nouveau de noyaux très lourds devient alors potentiellement accessible aux études spectroscopiques.

Trois campagnes de mesures ont eu lieu et ont permis d'une part d'accroître la sensibilité du dispositif expérimental et d'autre part d'obtenir des résultats nouveaux sur plusieurs noyaux comme par exemple les noyaux ^{249}Fm [2], ^{253}No [3], ^{255}No et ^{255}Lr . Après avoir récemment observé avec succès la décroissance de noyaux de ^{255}No produits avec de très faibles énergies de recul dans la réaction $^{238}\text{U}(^{22}\text{Ne}, ^5n)$, Gabriela se prépare à son prochain défi : détecter et étudier les résidus d'évaporation issus de la fusion du ^{22}Ne et ^{242}Pu : ^{259}Rf ($Z=104$).

Spectre de photons γ émis instantanément par le noyau ^{251}Fm et spectre des électrons de conversion interne émis par un état isomérique du même noyau.



<http://www.csnsm.in2p3.fr/groupe/strucnuc/research/GABRIELA/intro.html>

[1] K. Hauschild *et al.*, *Nucl. Instr. Meth. A* 560 (2006) 388

[2] A. Lopez-Martens *et al.*, *Phys. Rev. C* 74 (2006) 044303

[3] A. Lopez-Martens *et al.*, *Eur. Phys. J.* A32 (2007) 245

Developments in spectroscopic studies of deformed superheavy nuclei, *Nuclear Physics News*, Vol. 14 (2004)

LABORATOIRES FRANÇAIS DE LA COLLABORATION

CSNSM, IPHC, Ganil.

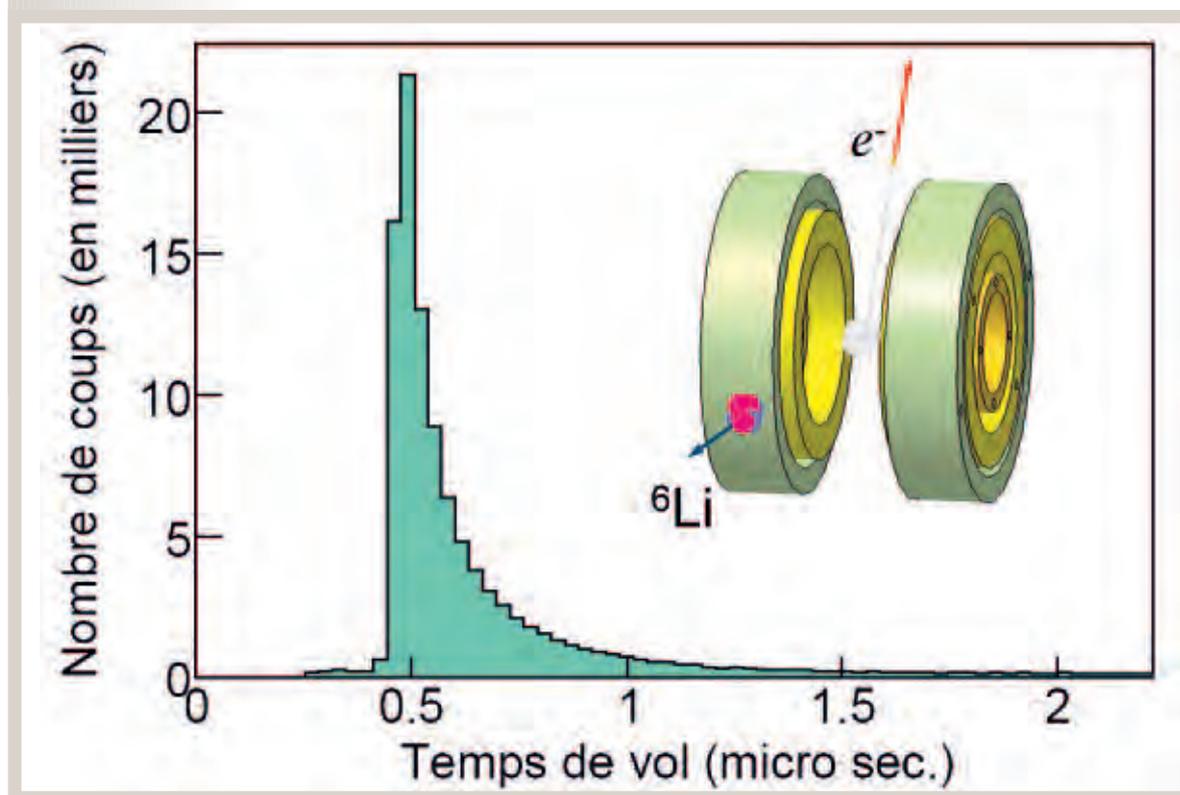
Décroissance bêta d'ions dans un piège de Paul transparent

Oscar Naviliat-Cuncic

Les outils de confinement d'atomes et d'ions ont trouvé de nombreuses applications dans leur utilisation avec des espèces radioactives. Les mesures réalisées avec des pièges se caractérisent par leur très grande précision, comme c'est le cas des mesures de masses nucléaires, des mesures du rayon de charge ou encore des mesures de corrélation en désintégration bêta, qui ont atteint des niveaux de sensibilité sans précédents.

Un piège de Paul de configuration innovante, couplé à un refroidisseur et regroupeur à radio fréquences, est actuellement opérationnel sur la ligne d'ions de basse énergie Lirat au Ganil. Le dispositif permet de piéger efficacement des ions, jusqu'aux plus légers, au moyen d'électrodes annulaires tout en permettant la détection des produits issus de leur décroissance (Figure). Le système a été construit pour mesurer la corrélation angulaire $\beta\nu$ dans la transition de Gamow-Teller du noyau ${}^6\text{He}$ afin de chercher des couplages exotiques dans l'interaction faible. Après la phase de construction et de mise en œuvre, suivie du test de principe de la méthode, plus de 10^8 ions ${}^6\text{He}^+$ ont été piégés au cours d'une semaine de mesure. Environ 10^5 coïncidences ont été détectées entre les particules émises dans la désintégration ce qui valide définitivement la sensibilité statistique du dispositif pour les futures mesures de précision. Le système peut également être utilisé avec tout noyau de relativement courte durée de vie, permettant ainsi la spectroscopie assistée par des pièges.

Spectre du temps de vol entre les ions ${}^6\text{Li}^{++}$ ($E_{\text{max}} = 1.4 \text{ keV}$) et la particule bêta, issus de la désintégration d'ions ${}^6\text{He}^+$ confinés dans le piège de Paul.



LABORATOIRES FRANÇAIS
LPC-Caen, Ganil.

Avancées dans la thermodynamique des petits systèmes

Francesca Gulminelli

Des développements théoriques récents suggèrent que les paliers de coexistence qui caractérisent les transitions de phases dans le monde macroscopique, trouvent leur origine au niveau élémentaire des très petits systèmes dans une inversion de pente des équations d'état, qui conduit à des anomalies thermodynamiques telles qu'une capacité calorifique ou une susceptibilité négative.

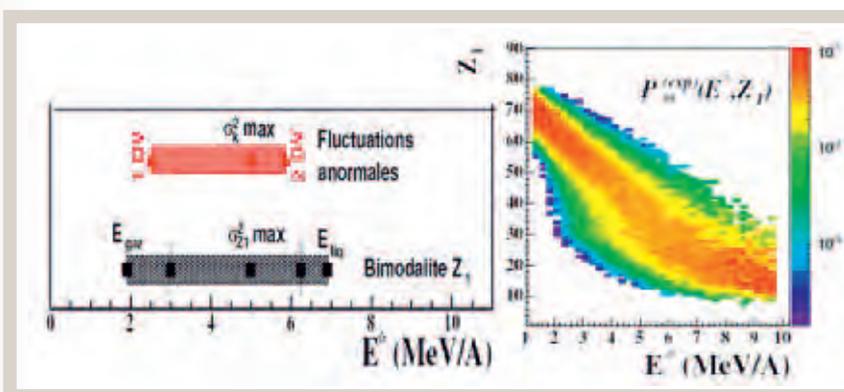
Des observables mesurables expérimentalement ont été proposées pour mettre en évidence ces anomalies, et testées sur des modèles schématiques pour lesquels la thermodynamique est connue de façon exacte [1].

La comparaison de modèles statistiques aux données expérimentales est compliquée par le fait que ces dernières sont souvent loin de l'équilibre thermodynamique. Pour aborder cette question une extension hors équilibre des ensembles de Gibbs basée sur la théorie de l'information a été récemment proposée. Cette approche fournit un pont entre modèles statistiques et

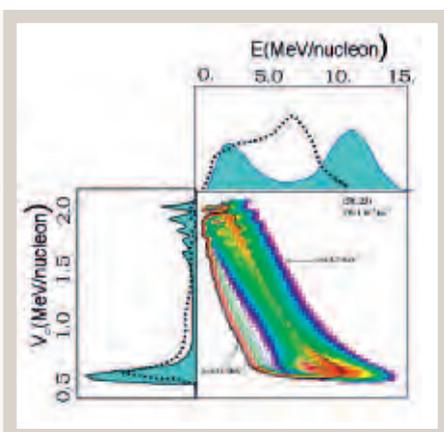
équations de transport, elle permet de définir un diagramme de phase avec des variables d'état qui évoluent au cours du temps, et en particulier de traiter les systèmes sous flot de façon thermodynamiquement consistante [2]. Ce programme a progressé de façon exemplaire au cours des dernières années grâce à l'étude de la multifragmentation. Un faisceau convergent de signaux de transition de phase a été mis en évidence [3]. Il peut à terme permettre une véritable métrologie de l'équation d'état de la matière dense et de son diagramme de phase.

Droite: distribution du plus gros fragment détecté en collisions Au+Au à 80 A.MeV par la collaboration Indra/Aladin, qui montre, une fois renormalisé pour le poids des différents dépôts d'énergie, deux pics correspondant à deux phases en coexistence.

Gauche: estimation de la chaleur latente de la transition (noir) pour le même système, en très bon accord avec l'estimation de la région spinodale (rouge) à partir de mesures de fluctuations d'énergie partielle.



Une transition de phase dans un petit système correspond à une distribution bimodale des événements dans la direction du paramètre d'ordre (ici l'énergie pour un noyau fragmenté). L'effet de l'interaction Coulombienne (courbes de niveaux et lignes tiretées) est une rotation du paramètre d'ordre: la projection le long de l'axe d'énergie ne permet plus de reconnaître les deux phases, mais la transition est toujours évidente dans la représentation bidimensionnelle.



- [1] F. Gulminelli, Ph. Chomaz, A. H. Raduta, A. R. Raduta: The influence of Coulomb on the liquid gas phase transition and nuclear multifragmentation, *Phys.Rev.Lett.* 91 (2003) 202701.
 [2] Ph. Chomaz, F.Gulminelli, O.Juillet: Generalized Gibbs ensembles for time dependent processes, *Annals Phys.* 320 (2005) 135-163
 [3] *Dynamics and thermodynamics with nuclear degrees of freedom*, F. Gulminelli, W. Trautmann, S. J. Yennello, Ph. Chomaz eds, Springer (2006).

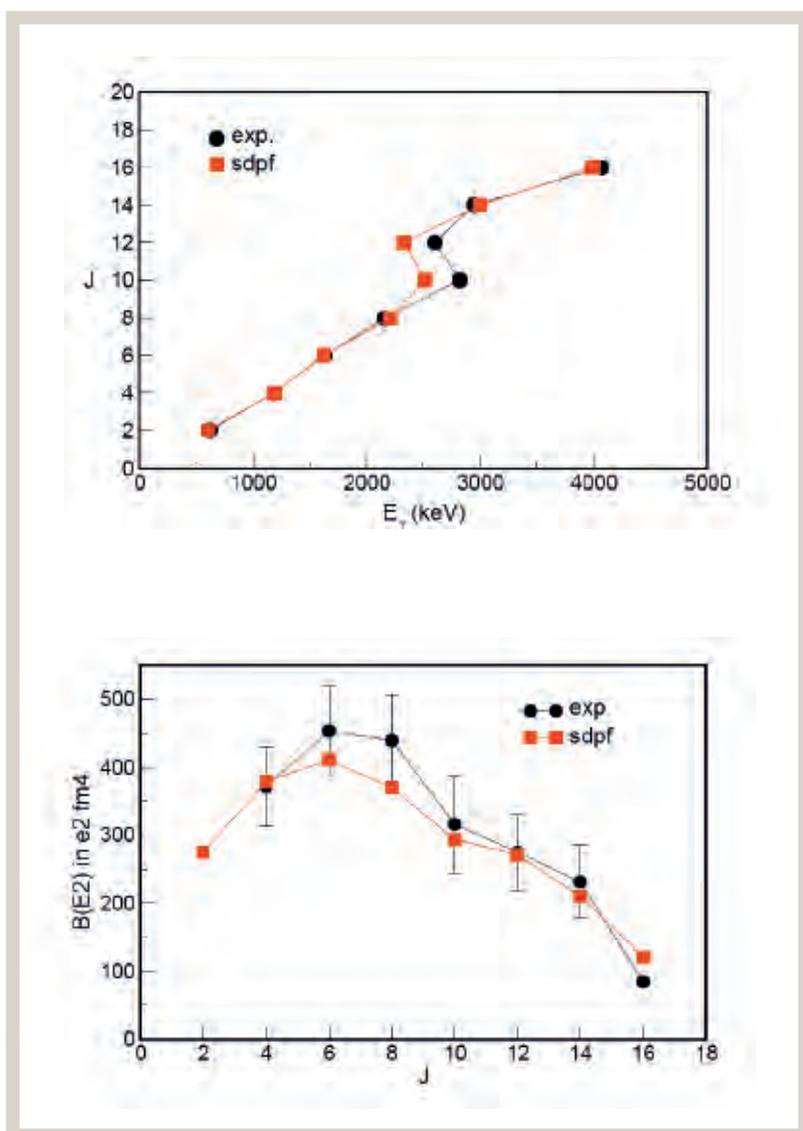
LABORATOIRES FRANÇAIS

LPC-Caen, Ganil.

Avancées dans la description microscopique de la structure d'un noyau et de ses modes de désintégration

Nadya Smirnova

Notre compréhension de la structure nucléaire a fait des progrès dans les dernières années grâce, en particulier, au développement de l'approche du modèle en couches [1].



Description de la bande superdéformée du ^{36}Ar et sa décroissance (E. Caurier, F. Nowacki, A. Poves, Phys. Rev. Lett. 95 (2005) 042502)

Ce dernier décrit les excitations d'un noyau en basse énergie en considérant les particules de valence au-dessus d'un cœur fermé, dans l'espace des couches de valence. L'interaction effective entre les nucléons dans le noyau dérive des potentiels nucléon-nucléon réalistes dans le vide, ce qui donne à ce modèle un caractère fondamental. Les avancées dans les techniques numériques permettent de traiter les espaces très grands et de pouvoir bien décrire les phénomènes divers de la structure nucléaire et pour de plus en plus de noyaux [1]: les excitations de particules individuelles et collectives, la superdéformation et la coexistence de formes, d'étudier l'évolution de la structure en couches dans les noyaux très riches en neutrons et d'améliorer la description des noyaux riches en protons. Les calculs *ab-initio* pour les noyaux légers – sans cœur inerte et dans l'espace contenant plusieurs couches d'oscillateur harmonique – sont devenus des calculs de référence, donnant la possibilité de tester les forces nucléaires, notamment en incorporant la force à trois corps. Les nouvelles approches ont été développées pour prendre en compte les effets du *continuum*, importants dans la description des noyaux près du seuil de séparation d'un nucléon [2]. Tous ces développements permettent l'application avancée du modèle en couches vers l'astrophysique et l'étude de l'interaction faible, au travers par exemple de la décroissance double-beta [1].

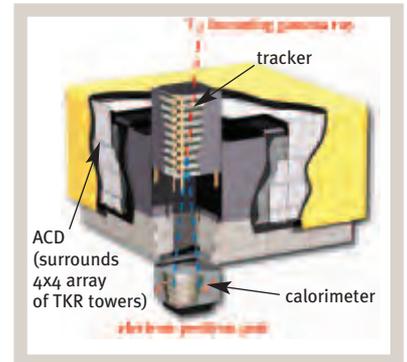
- [1] E. Caurier, G. Martinez-Pinedo, F. Nowacki, A. Poves, A.P.Zuker, *Rev. Mod. Phys.* 77 (2005) 427
 [2] J. Okolowicz, M. Ploszajczak, I. Rotter, *Phys. Rep.* 374 (2003) 271

LABORATOIRES FRANÇAIS
 CNRS/IN2P3: IPHC, CENBG, IPNO |
 CNRS/CEA: Ganil.

Astronomie des rayons gamma : Glast

David Smith

Glast (Gamma-ray Large Area Space Telescope) est la mission phare de la Nasa pour l'astrophysique des hautes énergies. Le satellite sera lancé fin 2007, pour une durée de 5 à 10 ans. L'instrument principal, le LAT (Large Area Telescope), est dédié à l'observation du ciel gamma de 30 MeV à plus de 300 GeV. L'IN2P3 a contribué à la conception du calorimètre, la structure mécanique en fibres de carbone étant conçue et réalisée par le LLR. Les équipes du LPTA, LLR, et CENBG contribuent à la maîtrise de la mesure en énergie des photons, ainsi qu'à l'exploitation scientifique de l'instrument.



De haut en bas :

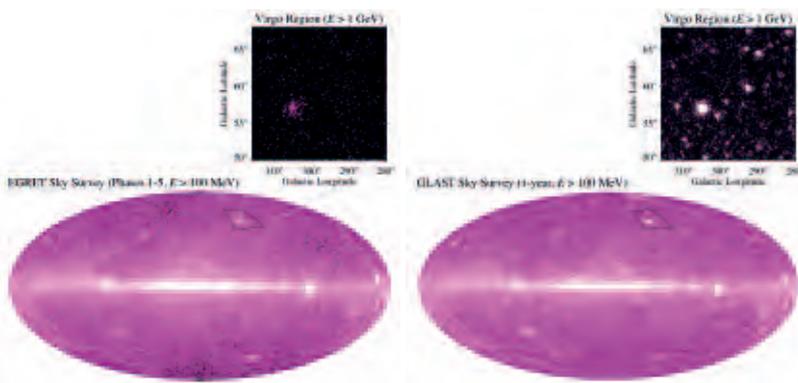
- Découpe schématique du LAT.
- Le LAT (Large Area Telescope) après intégration avec le satellite Glast (décembre 2006).
- Simulations de cartes du ciel gamma pour énergie >100 MeV après un an d'observation avec Egret et Glast.



Glast est un instrument de haute technologie. Le LAT, dont le principe de détection est basé sur la conversion en paires des photons gamma, possède une centaine de mètres carrés de micro-pistes silicium empilées. Le calorimètre est constitué de 1536 grands cristaux de CsI(Tl), pour un poids de 1,5 tonnes environ. Le LAT est réalisé et exploité par une collaboration internationale (États-Unis, France, Italie, Japon et Suède). Son champ de vue (20% du ciel à un moment donné, le ciel entier couvert toutes les 3 heures), sa résolution angulaire, et sa grande surface permettront d'augmenter de plus d'un facteur dix le nombre de sources connues. L'éventail des sujets scientifiques que Glast abordera est par conséquent très étendu : accélération de particules dans l'environnement de sources compactes (noyaux actifs de galaxies, sursauts gamma, pulsars, restes de supernovae, étoiles massives), compréhension de la nature des nombreuses sources non identifiées par les expériences précédentes (dont Egret et Hess), étude des émissions gamma diffuses,

recherche indirecte de matière noire supersymétrique, étude du fond diffus infra-rouge. L'interprétation des données bénéficiera d'informations à d'autres longueurs d'ondes, et différentes campagnes d'observations conjointes ont été préparées, dont, par exemple, des études de noyaux actifs de galaxie avec les détecteurs à rayons X RXTE et Swift, ou le chronométrage de pulsars avec le radio télescope de Nançay. La forte complémentarité scientifique de Glast avec Hess s'étend à l'inter-calibration en énergie des deux expériences.

Après le suivi des performances du calorimètre pendant l'assemblage du LAT, l'IN2P3 assure une grande partie des tâches concernant la mesure de l'énergie des photons, par le développement des méthodes d'analyse, et par l'étalonnage en orbite au moyen des dépôts par ionisation des ions lourds. Afin de valider la simulation Monte-Carlo nos équipes ont engagé plusieurs campagnes sur accélérateurs (au Ganil, puis au GSI et au Cern avec un dispositif réalisé avec des modules de vol). Le CENBG monitore les horloges du satellite, pour les études de pulsars. Enfin, l'IN2P3 fournit à la collaboration des ressources informatiques du centre de calcul de Lyon pour des simulations intensives, avec un réseau informatique mis en place entre le Slac, la France et l'Italie.



 <http://glast.gsfc.nasa.gov/>
<http://www-glast.stanford.edu/>

LABORATOIRES FRANÇAIS DE LA COLLABORATION

CNRS/IN2P3 : CENBG, LLR, LPTA |
 CNRS/Insu : CESR-Toulouse, SAp-Dapnia (CEA-Saclay).

CNGS et Opera

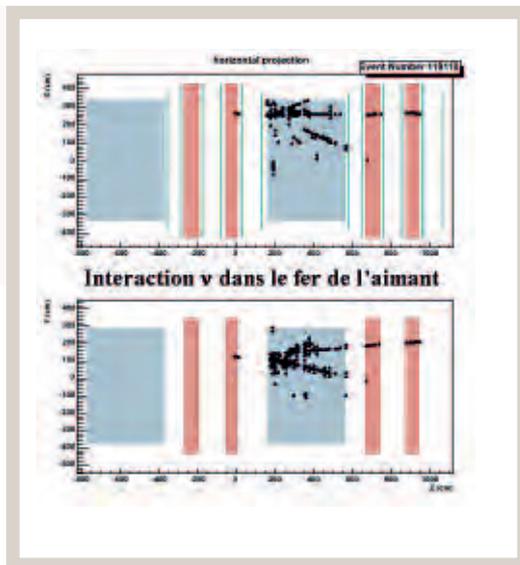
Dominique Duchesneau

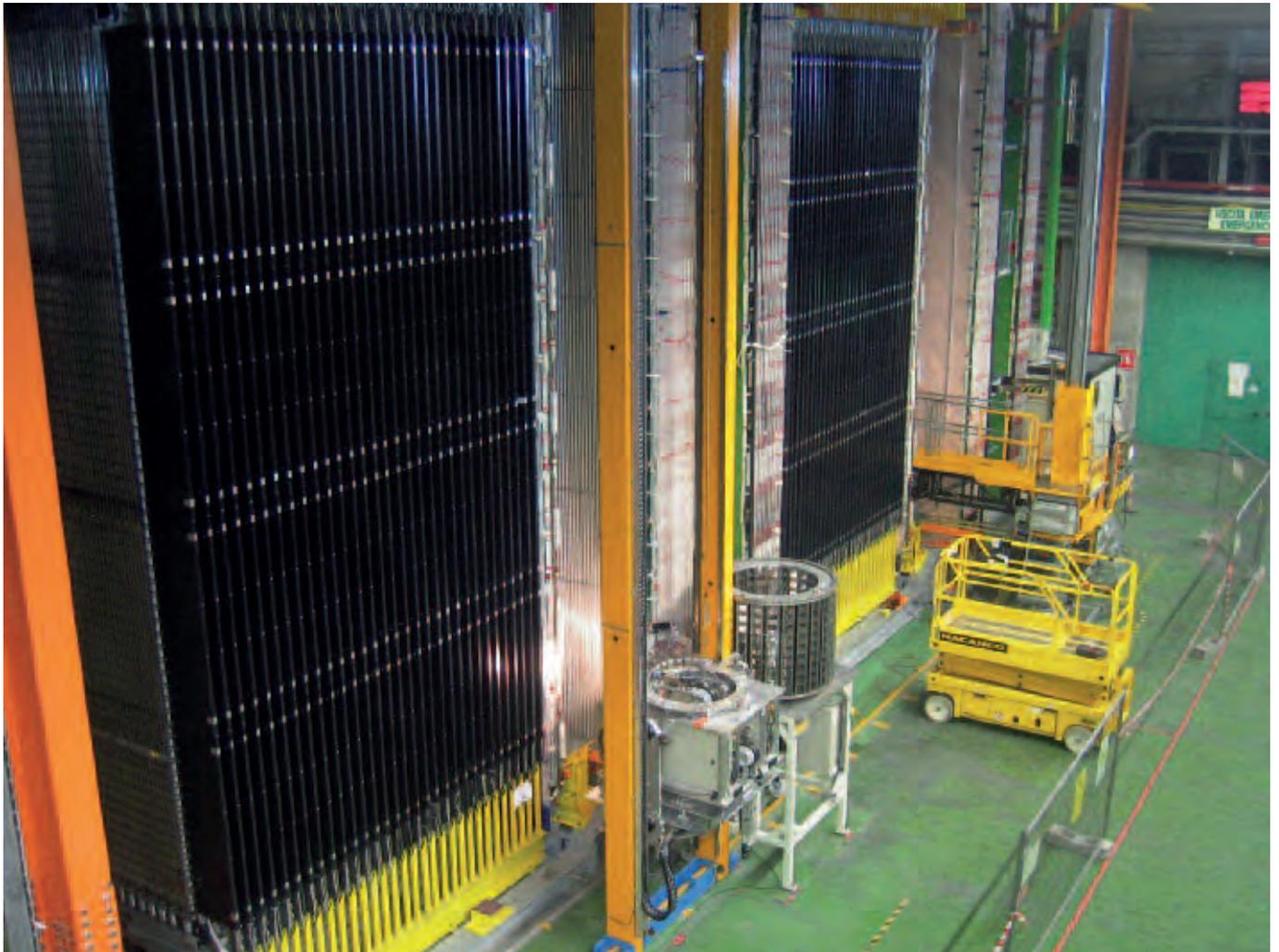
L'institut est depuis de nombreuses années fortement impliqué dans des projets de physique des neutrinos dont un volet concerne l'étude des propriétés d'oscillation des neutrinos. Le phénomène d'oscillation par lequel des neutrinos d'une certaine saveur peuvent se transformer en une autre saveur au cours de leur propagation a été mis en évidence expérimentalement en 1998 par l'expérience Super-Kamiokande avec les neutrinos issus de l'interaction du rayonnement cosmique avec l'atmosphère terrestre. Cette découverte a permis de lancer un vaste programme expérimental pour approfondir la compréhension de ce phénomène. Dans ce contexte, le détecteur Opera, installé dans le laboratoire souterrain du Gran Sasso en Italie, aura pour but principal de mettre en évidence pour la première fois l'apparition de neutrino de type tau dans un faisceau de neutrinos initialement de saveur mu, produit au Cern 730 km plus loin.

Le faisceau du CNGS utilise des protons de 400 GeV envoyés sur une cible de graphite. Les pions et kaons produits dans ces interactions sont ensuite sélectionnés et orientés vers un tube de désintégration de 1 km de long grâce à un système de focalisation magnétique dont une partie a été développée et fabriquée par l'IN2P3. La construction des infrastructures et l'installation des différents éléments du faisceau se sont déroulées entre 2003 et 2006. La mise en route de la ligne de faisceau a eu lieu au printemps 2006 et le premier faisceau de neutrino a été envoyé avec succès vers le Gran Sasso en août

2006. Avec près de $7,6 \cdot 10^{17}$ protons sur cible le détecteur Opera a été en mesure d'enregistrer près de 300 événements avec les détecteurs électroniques et d'en valider le fonctionnement. Son détecteur hybride allie deux concepts de détection : un trajectographe électronique à base de plans de scintillateurs couplés à un spectromètre, qui sert à déterminer la présence d'une interaction neutrino issu du faisceau et à la localiser dans le bloc cible, et un trajectographe de très haute précision utilisant des films d'émulsion mis en alternance avec des feuilles plomb dans deux cent mille blocs cibles. Les émulsions permettront de reconstruire les traces des particules chargées résultant des interactions neutrino avec une précision micrométrique, nécessaire pour signer la présence de ν_τ dans le faisceau. Ces 3 dernières années ont vu l'essentiel de la construction du détecteur avec l'installation des spectromètres, puis le montage des plans de scintillateurs et des murs devant contenir les briques cibles. La mise en route des détecteurs électroniques au printemps 2006 a permis de collecter les premières données avec des rayons cosmiques avant de détecter les premiers neutrinos du faisceau. En parallèle a eu lieu l'installation et la mise en route des systèmes manipulateurs de briques qui ont permis de procéder à un test de remplissage avec près de mille briques fin 2006. Les groupes français jouent un rôle important dans Opera. Ils ont la responsabilité de la construction, installation et mise en route du trajectographe à scintillateurs et de son électronique associée ainsi que le système d'acquisition. Ils ont en charge la conception, la réalisation et la mise en route du système des deux robots manipulateurs des briques cibles qui permettront de remplir la cible et d'aller extraire les briques contenant des interactions neutrinos. De plus les laboratoires de l'IN2P3 participent activement à la préparation de l'analyse des données avec la mise en route et l'exploitation d'un laboratoire de scanning des émulsions et le développement des logiciels de simulation et de reconstruction de l'expérience.

Vues de haut et de côté des dépôts d'énergies dans les scintillateurs électroniques laissés par les particules produites lors d'une interaction neutrino du faisceau CNGS dans le fer de l'aimant supermodule.





Vue du détecteur Opera dans le hall C du Gran Sasso prise en octobre 2006. Au premier plan: la cible du premier supermodule avec ses plans de scintillateurs ainsi qu'un des robots manipulateurs de briques avec sa station de chargement.

 <http://operaweb.web.cern.ch/operaweb/index.shtml/>

**LABORATOIRES FRANÇAIS
DE LA COLLABORATION**

CNRS/IN2P3: IPNL, LAL, IPHC, LAPP.

La recherche d'ondes gravitationnelles : Virgo

Fabien Cavalier

Virgo, interféromètre kilométrique pour la recherche d'ondes gravitationnelles approche de sa sensibilité nominale. Durant les deux dernières années, les laboratoires de l'IN2P3 ont joué un rôle moteur dans la mise en route de l'instrument permettant d'atteindre une sensibilité intéressante pour la physique, ouvrant ainsi la porte au démarrage de la prise de données. Cette période a été aussi marquée par un renforcement des activités concernant l'analyse des données et le rapprochement entre Virgo et Ligo.

L'expérience Virgo a pour but la détection directe d'ondes gravitationnelles produites par des phénomènes astrophysiques violents tels que les supernovae, les coalescences d'étoiles à neutrons ou de trous noirs... Au-delà des tests de la Relativité Générale, leur détection ouvrira une nouvelle fenêtre astrophysique permettant de sonder le cœur de certains phénomènes violents de l'Univers qui restent inaccessibles aux ondes électromagnétiques.

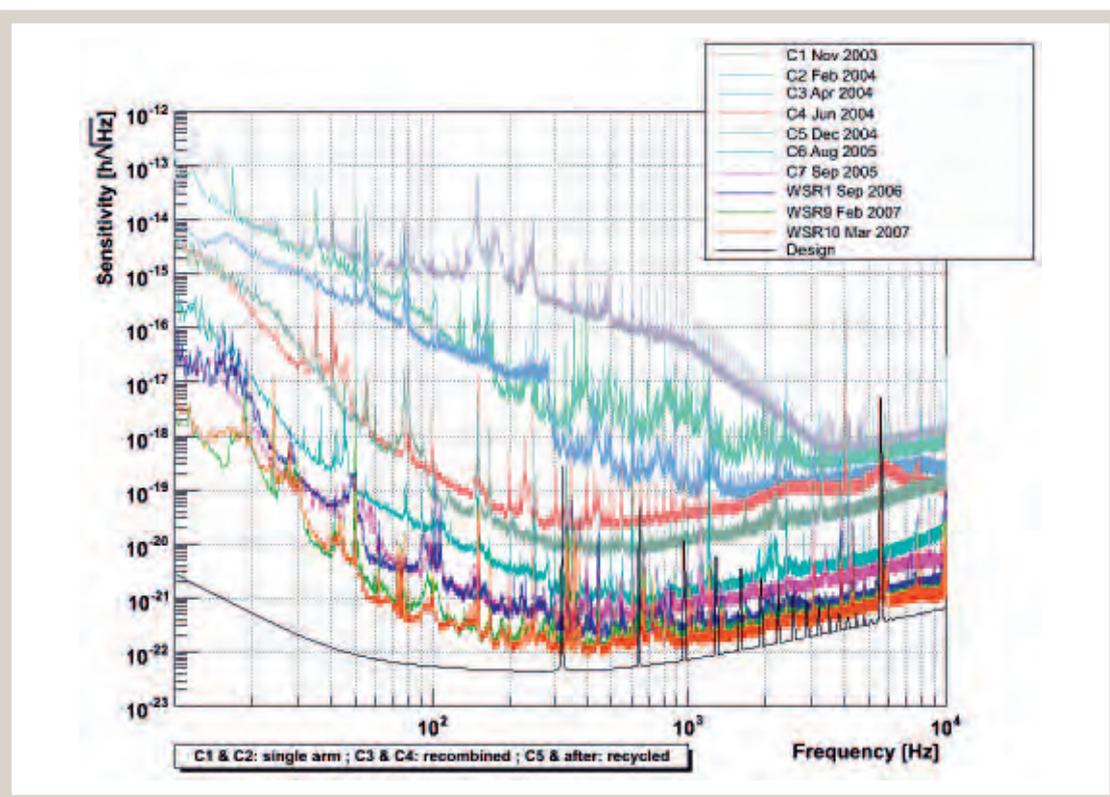
Les ondes gravitationnelles induisent d'infimes « déformations de l'espace-temps » vues comme une variation de la distance entre deux points. Virgo mesure de telles variations en utilisant les miroirs d'un interféromètre de Michelson de

3 km. Virgo est par exemple capable de détecter des ondes gravitationnelles dont l'amplitude est de l'ordre de 10^{-21} , soit un déplacement typique des miroirs de 10^{-18} m.

Les laboratoires de l'IN2P3 ont fortement contribué à la construction de Virgo en réalisant l'ensemble de l'enceinte à vide de l'interféromètre, les traitements de surface des miroirs, le système de détection, une grande partie des systèmes de contrôles (électronique et logiciels), l'acquisition des données ainsi que de nombreux logiciels allant de la simulation à l'analyse des données. Ils sont aussi impliqués dans la mise en route et le fonctionnement de Virgo.

Depuis la fin de la construction mi 2003, l'interféromètre a vu sa sensibilité régulièrement s'améliorer en passant de configurations optiques simples – cavité Fabry-Perot unique (courbes C1 et C2) puis interféromètre recombinaison (C3 et C4) – à la configuration finale où le miroir de recyclage de puissance a été utilisé (C5 et au-delà). Depuis décembre 2004, la mise en route et l'amélioration des différents composants de l'interféromètre a permis de gagner au moins deux ordres de grandeur sur la sensibilité. En particulier, l'ensemble du système d'injection du fais-

Courbes de sensibilité de Virgo illustrant les progrès accomplis au cours du commissioning

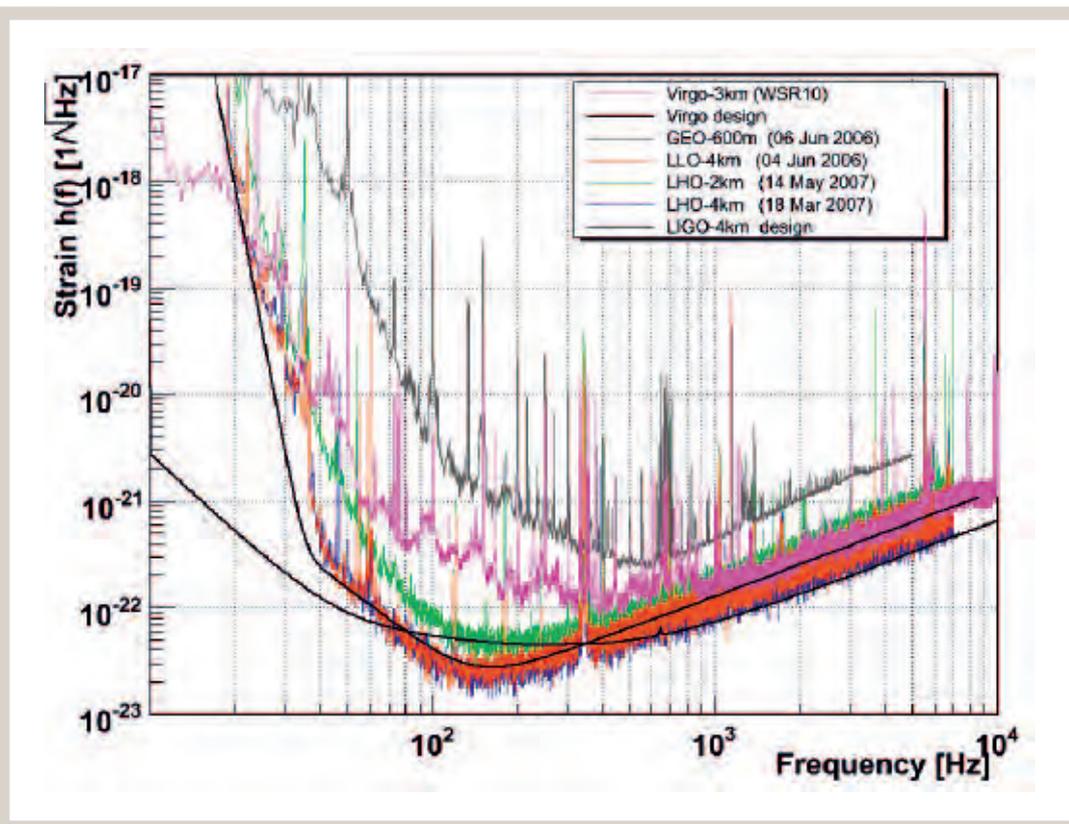


ceau laser a du être remplacé fin 2005 conduisant à un arrêt de six mois. Ce changement majeur a permis de gagner à haute fréquence et de s'approcher de la sensibilité nominale dans la région où le bruit lié à la puissance laser est dominant (au-delà de 500 Hz). Même s'il reste encore à gagner à basse fréquence, la sensibilité actuelle devient compétitive comme le montre la figure qui compare la sensibilité de Virgo à celles des détecteurs Ligo. Environ chaque mois, des prises régulières ont lieu durant certains week-ends (WSR). La première longue prise de données scientifiques sur une durée de plusieurs mois a commencé à la fin du printemps 2007. Elle se fait en coïncidence avec les détecteurs Ligo et l'accord de partage et d'exploitation commune des données a été conclu au début 2007.

Dans cette optique, les groupes de l'IN2P3 jouent un rôle majeur dans la recherche de coalescences d'étoiles binaires et celle de sources impulsives type supernovae. L'étude des données déjà acquises a permis la mise au point des algorithmes et du processus d'identification systématique des sources de bruit. Ce travail démarré dans des groupes propres à Virgo se transpose dans les différents groupes de travail communs avec Ligo.

Enfin, les équipes de l'IN2P3 participent aux améliorations de Virgo, en particulier à la préparation de Virgo+ (remise à niveau de l'électronique, amélioration du système de détection, nouveau traitement de surface des miroirs) ainsi qu'aux R&D pour Advanced Virgo.

Courbes de sensibilité de Virgo comparées à celles des autres interféromètres existants.



 <http://www.virgo.infn.it>

LABORATOIRES FRANÇAIS DE LA COLLABORATION

CNRS/IN2P3 : LAL, LAPP, LMA |
 CNRS/Insu : Observatoire de la Côte d'Azur |
 CNRS/MPPU : ESCPI.

Le LSM, un laboratoire souterrain pour la matière noire, la masse du neutrino et la recherche d'événements rares

Paschal Coyle, Alexandre Juillard, Xavier Sarazin

Le laboratoire souterrain de Modane est une UMR CNRS/IN2P3-CEA/DSM, il est situé au centre du tunnel routier du Fréjus entre la France et l'Italie. Le personnel comprend 2 chercheurs et 8 ITA.

Le laboratoire accueille des expériences de physique fondamentale telles que Nemo3 (Neutrino Ettore Majorana Observatory) et TGV (Telescope Germanium Vertical) pour l'étude des propriétés du neutrino, Edelweiss (Expérience pour DÉtecter Les WIMPs En Site Souterrain) pour la recherche de la matière noire et SHIN (Super Heavy elements In Nature) pour la recherche de noyaux super lourds. Le laboratoire accueille également treize détecteurs de spectroscopie gamma pour des activités très variées de mesures de radiopureté des matériaux, d'études des sédiments dans les lacs alpins, de surveillance et de contrôle de la radioactivité dans l'environnement (IRSN, DASE), de datation du vin etc.

Dans la période 2004-2006, Nemo 3 a poursuivi sa prise de données et Edelweiss 2 a été installé. TGV a fini la mesure d'une source de 8 g de ^{48}Ca pour la recherche de la double désintégration bêta et va commencer la recherche de la double capture électronique du ^{106}Cd , jamais encore observé.

SHIN (Collaboration CSNSM et JINR Dubna) a été installée en 2005. Cette expérience consiste en un minerai d'osmium de 500g placé entre des compteurs neutrons ^3He pour la détection des neutrons qui seraient émis de la fission des éléments super lourds.

Le laboratoire a fourni le support pour le bon fonctionnement des treize détecteurs Germanium. Dans le cadre du programme européen Ilias, le LSM a recruté une physicienne en post-doctorat en 2004 pour le développement d'un Ge planar très bas bruit. Les études sont terminées et la commande du détecteur a été passé à l'automne 2006.

Certains gros équipements ont du être modifiés afin de pouvoir accueillir l'expérience Edelweiss. En plus de l'infrastructure pour recevoir le cryostat, la puissance électrique et la capacité de refroidissement du laboratoire ont du être augmentées. Le LSM, en collaboration avec Nemo 3 s'est doté une usine anti-radon permettant de fournir jusqu'à $150 \text{ m}^3/\text{h}$ d'air avec un taux de $10 \text{ mBq}/\text{m}^3$ (au lieu de $10 \text{ Bq}/\text{m}^3$) aux différentes expériences.

Un accord entre le JINR Dubna, le CNRS/IN2P3

et le CEA/DSM a été signé pour la création d'un LEA qui permet des échanges de personnes et l'installation de nouveaux détecteurs.

Recherche directe de matière noire dans l'expérience Edelweiss

À l'heure nouvelle de la cosmologie dite de précision, de nombreux paramètres cosmologiques sont mesurés à quelques % près. Paradoxalement, 85% du contenu en masse de l'univers est de nature exotique et nous échappe toujours ! Installée au LSM depuis 1997, l'expérience Edelweiss a pour but la détection directe de matière noire non baryonique sous forme de WIMPs (Weakly Interactive Massive Particle), dont un candidat privilégié est le Neutralino des modèles SUPERSYMÉTRIQUES.

Edelweiss utilise des bolomètres Ge à double détection ionisation-chauffage fonctionnant à 20 mK. Cette technique permet de discriminer, événement par événement, les rares reculs nucléaires, induits par la diffusion élastiques des WIMPs, des reculs électroniques provenant de la radioactivité ambiante.

Edelweiss-I a atteint en 2003 une sensibilité à des taux de reculs aussi faible que $0.1 \text{ évts}/\text{kg}/\text{jour}$, excluant des sections efficace supérieure à 10^{-6} pb pour $M_{\text{WIMPs}}=50 \text{ GeV}/c^2$. Cette performance a constitué la plus forte contrainte mondiale jusqu'en 2004 et permet d'exclure certains modèles Susy parmi les plus optimistes. Depuis l'expérience américaine CDMS a repris les devants.

Pour contraindre une fraction plus importante de modèles, il reste nécessaire de gagner plusieurs ordres de grandeur. Edelweiss-I a ainsi pris fin à l'été 2004 pour permettre l'installation d'une phase beaucoup plus ambitieuse, Edelweiss-II, officiellement inaugurée le 31 mars 2006. Son installation a occupé toute l'année 2005 et a impliqué un nombre important de laboratoire IN2P3, CNRS et CEA.

L'objectif est de gagner un facteur 100 en sensibilité : pour cela tout l'environnement a été revu. Le cryostat Edelweiss-II permet en effet de rece-

voir jusqu'à cent vingt détecteurs de 300g (contre 3 pour Edelweiss-I), il est entouré d'un blindage de plomb et de polyéthylène de plus de 100 tonnes, lui-même entouré d'un veto scintillateur anti-muons de 100 m² pour identifier les quelques rayons cosmiques résiduels. Enfin, cet ensemble est installé dans une salle blanche alimentée en partie en air déradonisée pour atténuer encore le fond radioactif.

L'année 2006 a été consacrée à la validation de l'ensemble de l'expérience (cryogénie, électronique, câblage, acquisition etc.) en utilisant un nombre réduit de bolomètres.

28 détecteurs, dont 4 prototypes Ge/NbSi entièrement développés par l'IN2P3 ont été installés en mars 2007 et devraient permettre à Edelweiss de reprendre la tête de la compétition.

Recherche du neutrino de Majorana et de la double désintégration bêta : l'expérience Nemo-3

Une des questions fondamentales en physique des particules concerne la nature du neutrino : le neutrino serait-il identique à son antiparticule (neutrino de Majorana) ? Cette propriété est un paramètre fondamentale dans les théories de Grande Unification ainsi que dans le modèle de Leptogénèse, modèle permettant d'expliquer la formation d'une asymétrie matière anti-matière lors des premiers instants de l'Univers. Expérimentalement, si le neutrino est de Majorana, un nouveau type de radioactivité apparaît : la double désintégration bêta sans émission de neutrino ($\beta\beta 0\nu$).

Installée au LSM, l'expérience Nemo-3 cherche à découvrir cette nouvelle radioactivité. Le détecteur est constitué de feuilles ultrafines d'isotopes émetteurs double bêta (environ 20 m²) installées au centre d'une très grande chambre à fils. L'ensemble est recouvert de deux mille scintillateurs plastiques couplés à des photomultiplicateurs pour mesurer l'énergie des électrons. Ce détecteur permet ainsi d'étudier différents isotopes (principalement 7kg de ¹⁰⁰Mo et 1kg de ⁸²Se), de reconstruire directement les deux électrons émis lors de la désintégration double bêta et d'identifier et rejeter les différents bruits de fond.

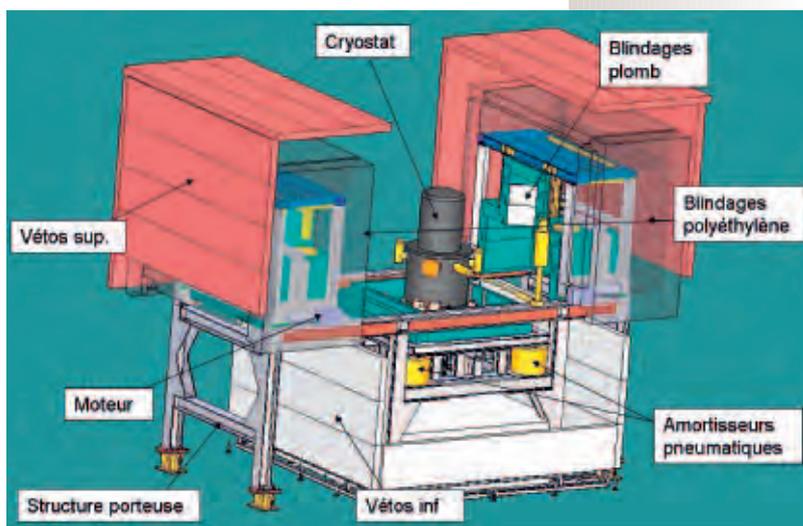
Le détecteur Nemo-3 prend des données depuis février 2003. Une première phase de prises de

données avait permis de montrer qu'une très faible diffusion dans le détecteur du radon présent dans le laboratoire venait perturber les mesures. À l'automne 2004, un dispositif permettant de purifier l'air contre le radon a été installé au LSM. Ce dispositif a permis de supprimer le bruit de fond du au radon.

Depuis décembre 2004, le détecteur prend des données sans radon en continu (avec une efficacité d'environ 80%). Le seul bruit de fond résiduel, correspondant à la double désintégration bêta standard avec émission de deux neutrinos, est de seulement 2 événements par an. Les premiers résultats présentés aux conférences de l'été 2006 indiquent qu'après 290 jours de données collectées, aucun signal de désintégration $\beta\beta 0\nu$ n'a été observé, correspondant à une limite inférieure sur la demi-vie du processus de $T_{1/2}(\beta\beta 0\nu) > 5.8 \cdot 10^{23}$ ans (90% C.L.).

Étant donné les très bons résultats de l'expérience Nemo-3, un programme R&D de trois ans a débuté en 2006 pour l'étude d'un détecteur SuperNemo pouvant mesurer 100kg d'isotopes, principalement le ¹⁵⁰Nd et le ⁸²Se. La réalisation d'un premier module (5kg d'isotopes) commencerait en 2010. SuperNemo pourrait sonder la désintégration $\beta\beta 0\nu$ avec une sensibilité de 10²⁶ années.

Schéma de l'expérience Edelweiss.



 <http://www-lsm.in2p3.fr/>
<http://edelweiss.in2p3.fr/>
<http://nemo.in2p3.fr/>

L'astronomie neutrino : Antares

Paschal Coyle

Le projet Antares a pour but la détection des neutrinos de haute énergie provenant des sources astrophysiques. Actuellement, une moitié du détecteur est déjà immergé et des données sont prises depuis le mois de mars 2006. Le détecteur sera complet fin 2007. L'IN2P3 après avoir apporté une contribution majeure à sa réalisation, participe activement à la mise en route du détecteur ainsi qu'à la préparation de l'analyse des données.

Le télescope à neutrinos Antares a pour but d'étudier les neutrinos cosmiques de haute énergie avec un réseau de photo-détecteurs installés au fond de la Méditerranée. La détection de ces neutrinos permettra de mieux comprendre les phénomènes les plus violents de l'Univers (restes des supernovae, sursauts gammas, micro-quasars, etc.) liés en partie aux observations de rayons cosmiques et des gammas de haute énergie. Antares contribuera également à la recherche de la matière noire en détectant la production de neutrinos issus de l'annihilation des WIMPs piégées gravitationnellement dans les zones denses de l'Univers.

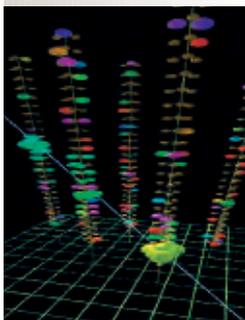
Le détecteur est formé par une matrice tridimensionnelle de neuf cents photomultiplicateurs (PMT) groupés sur douze lignes flexibles, chacune d'elles divisée en vingt-cinq étages. Ces PMTs sont groupés par triplets avec l'électronique nécessaire à la lecture des signaux. Les lignes sont ancrées au sol à 2475m de profondeur et tendues verticalement grâce à un flotteur de tête.

Elles sont ensuite connectées à une boîte de jonction permettant l'alimentation des lignes et l'acheminement des données jusqu'à la terre à travers un câble électro-optique de 40 km. Les données sont enregistrées à la station terrestre de La Seyne-sur-Mer. Le réseau de photomultiplicateurs a pour but de détecter la faible lumière Tcherenkov émise par les muons qui traversent le détecteur. Ces muons sont produits lors de l'interaction des neutrinos cosmiques avec l'eau ou la roche située sous le détecteur.

Les laboratoires de l'IN2P3 ont fortement contribué à la construction d'Antares en réalisant l'ensemble de la mécanique, le système d'horloge, le système à positionnement acoustique, les intégrations des lignes, l'acquisition des données ainsi que de nombreux logiciels allant de la simulation à l'analyse des données. Ils sont aussi fortement impliqués dans la mise en route et le fonctionnement d'Antares.

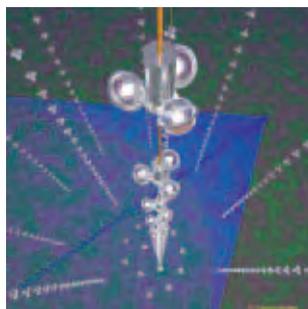
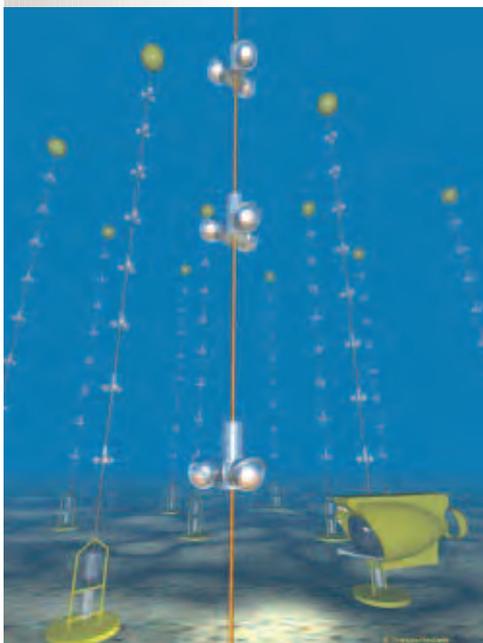
L'une des premières étapes dans la construction du détecteur fut l'installation, en novembre 2001, du câble électro-optique reliant le site expérimental à la côte. Une année plus tard, la boîte de jonction était connectée. Deux lignes de tests seront par la suite connectées en 2003 et ont été opérationnelles pendant quatre mois. Une mini ligne instrumentée avec des modules optiques, nommée Milom, fut connectée en avril 2005. La Milom présente la conception définitive pour l'électronique et la mécanique. Après un an et demi, la Milom continue de fonctionner, ce qui permet de vérifier la stabilité dans le temps des principaux composants du détecteur. La première ligne de détection production a été déployée en février 2006 et connectée par le sous-marin Rov Victor de l'Ifremer en mars 2006. Les premières études préliminaires sur le flux de muons descendants ont pu être entreprises. La deuxième ligne a été connectée au mois de septembre 2006. Le début de l'année 2007 a vu la connexion des lignes 3, 4 et 5. À ce rythme, le détecteur complet sera opérationnel en 2008.

Muon ascendant (neutrino candidat), reconstruit par les cinq lignes d'Antares.



Vues artistiques 3D d'Antares.

© François Montanet.



 <http://antares.in2p3.fr>

LABORATOIRES FRANÇAIS DE LA COLLABORATION

CNRS/IN2P3 : APC, CPPM, IPHC I

CNRS/Insu : COM, LAM, Géoscience Azur.

HESS, un nouveau regard sur la Galaxie

Mathieu de Naurois

Opérationnel depuis décembre 2003, Hess a ouvert une nouvelle fenêtre sur notre galaxie dans le domaine des très hautes énergies. De nombreuses sources ont été découvertes, appartenant à des catégories aussi variées que les Restes de Supernova, les Plérions, les Microquasars et les Blazars, et pour certaines totalement inconnues aux autres longueurs d'onde. Ces résultats mettent en évidence la diversité des mécanismes de production de rayons gamma dans l'Univers et soulignent l'émergence d'une nouvelle branche de l'astronomie dans laquelle Hess occupe une position pionnière.

Hess (High energy stereoscopic system) est un réseau de 4 imageurs Cherenkov, installé en Namibie et dédié à l'observation des rayonnement gamma de très haute énergie (entre quelques dizaines de GeV et une centaine de TeV). Ce réseau de troisième génération se caractérise par des miroirs de 107 m², des caméras à grand champ de vue (5 degrés) finement pixelisées et dotées d'une électronique intégrée dans la caméra et fonctionnant au GHz. La partie française de la collaboration a conçu et réalisé les quatre caméras du réseau.

Opérationnel depuis décembre 2003, le réseau a notamment fourni une carte complète des régions centrales de la Galaxie comprenant plus de 17 nouvelles sources, pratiquement toutes étendues et caractérisées par un spectre dur en énergie. Certaines sont associées à des pulsars énergétiques au cœur de nébuleuses synchrotrons (Plérions), tandis que quelques autres correspondent à des restes de supernovae en coquille. L'étude morphologique détaillée de l'une d'entre elle a permis de mettre en évidence une corrélation forte entre émission X et gamma, indiquant ainsi qu'une population unique de particules est à l'origine des deux émissions. Les modèles récents favorisent une composition hadronique de cette population, ce qui constituerait une solution au mystère centenaire de l'origine des rayons cosmiques.

Parmi les autres sources détectées par Hess, le centre galactique revêt un intérêt particulier du fait d'une émission potentiellement due à la désintégration de particules supersymétriques. Ces particules, postulées dans de nombreuses théories, seraient de bons candidats au problème de la matière noire non baryonique représentant 23% de la masse de l'Univers, mais les observations de Hess favorisent plutôt une source astrophysique conventionnelle. Dans la même région,

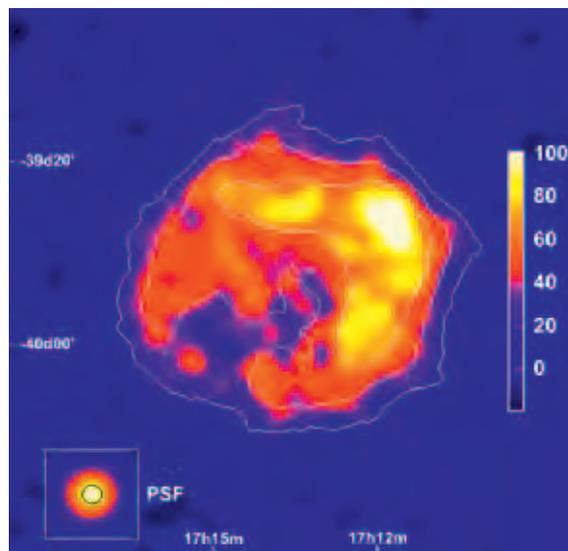


Image Gamma de Très Haute Énergie du reste de supernova RX1713.7-3946 obtenue par Hess.

Hess a mis en évidence une émission diffuse à grande échelle (200 pc) attribuée à l'interaction de rayons cosmiques avec la matière interstellaire. Ces observations indiquent que le spectre des rayons cosmiques est – probablement du fait de la proximité des sources – significativement plus dur au centre de la Galaxie qu'au voisinage de la Terre.

Dans le domaine extragalactique, les observations de Blazars lointains ont en particulier permis de conclure à une plus grande transparence de l'Univers aux rayons gamma, du fait d'une émission infrarouge plus faible que généralement attendu. Cette découverte, outre le fait qu'elle ouvre de nouvelles perspectives observationnelles, a d'importantes conséquences concernant l'époque de formation des étoiles primordiales. De nombreux résultats sur d'autres types de sources ont également été publiés au cours des dernières années. Hess a ainsi su, en quelques années, s'imposer comme une référence incontournable de l'astronomie Gamma de très haute énergie et participer pleinement à l'ouverture d'une nouvelle branche de l'astronomie.

 <http://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/HESS/>

LABORATOIRES FRANÇAIS DE LA COLLABORATION

CNRS/IN2P3: LLR, LPNHE, APC, LPTA |

CNRS/Insu: Observatoire de Paris, LAOG, CESR |

CEA: Dapnia.

L'Observatoire Pierre Auger inaugure une nouvelle astronomie

Etienne Parizot

L'Observatoire Pierre Auger, dont l'installation en Argentine s'achèvera dans quelques mois, vient de rendre publics ses premiers résultats majeurs sur le spectre d'énergie, la composition et la distribution angulaire des particules les plus énergétiques de l'univers connues à ce jour, pouvant dépasser les 10^{20} eV. Ils marquent l'avènement d'une astronomie fondée sur les particules chargées, ouvrant notamment la voie d'une étude multimessager des sources astrophysiques de haute énergie et des processus physiques associés.

Avec sa surface de détection de 3 000 km², l'Observatoire Pierre Auger représente une avancée majeure dans l'étude des rayons cosmiques ultra-énergétiques, dont la rareté (environ une particule par siècle et par km² au-delà de 10^{20} eV) est le principal obstacle à la compréhension de leur nature et de leur origine. Ces rayons cosmiques sont détectés de manière indirecte, par l'observation des gerbes de particules secondaires qu'ils produisent dans l'atmosphère terrestre. Un réseau de détecteurs composé de 1600 cuves d'eau à effet Cherenkov (environ 1400 sont déjà en opération) permet d'en échantillonner la densité au sol, tandis que 24 télescopes (tous opérationnels) fonctionnant principalement dans l'ultra-violet et observant l'atmosphère au-dessus du réseau peuvent détecter, par nuit noire, la lumière de fluorescence émise dans le sillage des milliards de particules constituant la gerbe.

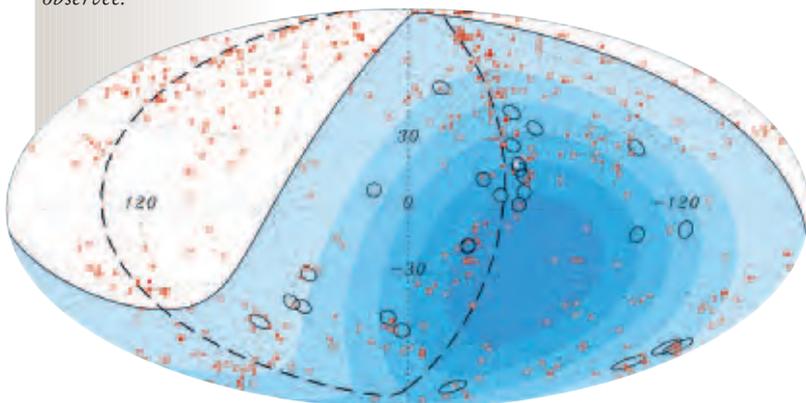
Le recours à cette technique de détection hybride permet la mise en place d'une méthode d'analyse indépendante de l'extrapolation à haute énergie des modèles hadroniques impliqués dans le développement des gerbes. La reconstruction de ces gerbes permet d'identifier l'énergie et la direction d'arrivée de la particule incidente avec une résolution satisfaisante, et de contraindre dans une

certaine mesure l'évolution avec l'énergie de la composition des rayons cosmiques ultra-énergétiques.

Les premiers résultats relatifs à ces trois observables fondamentales ont suscité l'enthousiasme d'une vaste communauté de chercheurs. D'une part, il est à présent établi que le flux des rayons cosmiques est fortement atténué aux abords de 10^{20} eV, comme il est attendu si l'on tient compte de leur interaction avec les photons du fond diffus cosmologique. Ensuite, une limite supérieure très contraignante a été placée sur la fraction de photons parmi ces particules, ce qui exclut de nombreux modèles basés sur la désintégration de particules supermassives pouvant constituer une partie de la matière noire. Dans le même temps, l'analyse des gerbes suggère la présence de noyaux parmi ces particules, ce qui aura des implications astrophysiques importantes, y compris pour la phénoménologie du rayonnement cosmique de plus basse énergie, d'origine galactique. Enfin, et c'est à ce jour le résultat le plus enthousiasmant, une corrélation significative a pu être établie entre les directions d'arrivée des rayons cosmiques les plus énergétiques et la distribution de la matière extragalactique locale (tracée notamment par les noyaux actifs de galaxie), ce qui donne une première indication précieuse sur leur origine, et garantit dans le même temps qu'une véritable astronomie est possible, même avec des particules chargées, pourvu qu'on se place à suffisamment haute énergie et qu'on accumule une statistique suffisante.

De nombreuses voies nouvelles sont désormais ouvertes pour étudier les conditions d'accélération et de propagation des rayons cosmiques ultra-énergétiques. Ces résultats rendent plus nécessaire encore la construction d'un pendant de l'Observatoire Pierre Auger dans l'hémisphère nord (« Auger Nord »), pour aborder l'étude systématique des sources les plus intenses dans l'ensemble du ciel, avec une acceptance accrue aux énergies extrêmes, et commencer à mettre en œuvre une astronomie véritablement multimessager.

Directions d'arrivée des rayons cosmiques les plus énergétiques détectés par Auger, ayant permis d'établir leur anisotropie. Une corrélation avec des sources extragalactiques relativement proches est observée.



 <http://auger.cnrs.fr>

**LABORATOIRES FRANÇAIS
DE LA COLLABORATION**

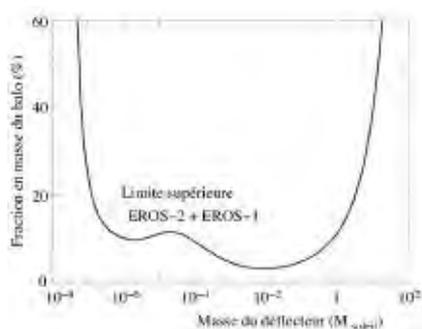
CNRS/IN2P3: IPNO, APC, LAL, LPNHE, LPSC.

Eros 2 : à la recherche d'objets massifs sombres dans la Voie Lactée

Reza Ansari

Comme toutes les galaxies spirales, la Voie lactée contient une fraction très importante (de l'ordre des 4/5^{es}) de matière invisible dont la nature est inconnue.

Le programme d'astrophysique Eros fut lancé il y a un peu plus d'une quinzaine d'années pour savoir si cette matière était composée de nucléons qui résideraient dans des « naines brunes », c'est-à-dire des étoiles de masse trop réduite pour que la fusion nucléaire se développe au point de les rendre brillantes. Une réponse claire et définitive a été apportée à cette question par les mesures d'Eros 2.



Limite supérieure de la contribution d'objets compacts massifs (« déflecteurs ») à la matière obscure de la Voie Lactée en fonction de leur masse (rapportée à celle du Soleil). Cette limite, établie à un niveau de confiance de 95%, résulte de l'ensemble des mesures faites pendant les phases 1 et 2 du programme Eros.

Bilan des observations de la collaboration Eros 2 de 1996 à 2003. D'autres observations ont été faites dans des directions très éloignées du plan Galactique pour rechercher des explosions de supernovae de type Ia et pour les caractériser.

Le premier objectif du programme Eros a donc été la mesure de la contribution de machos (Massive Astrophysical Halo Objects) à la matière dite « obscure » de notre galaxie. Le terme machos recouvre des boules de gaz de masse inférieure à ~ 0,015 masse solaire, des naines brunes dont la masse se situe entre ~ 0,015 et ~ 0,08 masse solaire et d'éventuels objets exotiques compacts, peu ou pas lumineux, sans restriction de masse, tels que des trous noirs.

Le principe de cette mesure repose sur le phénomène de microlentille gravitationnelle. Prévu en 1936 par Albert Einstein, ce phénomène consiste en un accroissement temporaire de la luminosité apparente d'une étoile lointaine lorsqu'un corps céleste massif croise la ligne de visée qui va du télescope jusqu'à cette étoile. La collaboration Eros a choisi comme étoiles lointaines « cibles » celles des deux Nuages de Magellan et elle a recherché d'éventuelles variations de leur luminosité dues aux transits de naines brunes ou autres machos.

Les observations ont été faites avec le télescope de 1 m « Marly » à l'observatoire de l'Eso situé à La Silla (Chili); commencées en 1996, elles ont été poursuivies jusqu'en février 2003. L'analyse des données est pratiquement achevée aujourd'hui.

Les observations ont été faites avec le télescope de 1 m « Marly » à l'observatoire de l'Eso situé à La Silla (Chili); commencées en 1996, elles ont été poursuivies jusqu'en février 2003. L'analyse des données est pratiquement achevée aujourd'hui.

Tout au long des sept années d'observations quasi-ininterrompues la sensibilité de cette recherche de machos s'est progressivement améliorée. Il a été possible de mieux cerner la difficile question du bruit de fond qui a pu être réduit, d'une part en poursuivant l'observation des candidats machos trouvés au début du programme et, d'autre part, en identifiant les supernovae explosant derrière les Nuages de Magellan.

À la fin des observations, 50.10⁶ courbes de lumière couvrant une période de plus de 6 ans étaient disponibles pour les Nuages de Magellan (voir tableau). Parmi elles, les 35.10⁶ les plus brillantes ont été analysées. La figure illustre les résultats obtenus. La conclusion est claire: les objets compacts invisibles de masse inférieure à 0,8 fois celle du Soleil ne représentent pas plus d'un dixième de la matière cachée de la Voie Lactée. Alors qu'une collaboration concurrente avait présenté, en 2000, des résultats favorisant une conclusion différente de celle-ci (sans doute parce que les champs visés dans cet autre programme étaient particulièrement encombrés), c'est aujourd'hui la conclusion d'Eros qui est retenue par la communauté scientifique.

La collaboration Eros 2 a également exploité l'effet de lentille gravitationnelle pour étudier la structure de la Galaxie (bulbe, disque et bras spiraux). Elle a aussi déterminé le taux d'explosion des supernovae de type Ia proches et étudié des corrélations entre leur luminosité absolue et certains de leurs caractères spectraux. Les observations de plus de cent millions d'étoiles pendant sept années ont conduit à la découverte de nombreuses étoiles variables (RR-Lyrae, Céphéides, Miras et bien d'autres!). Au total des centaines de milliers d'étoiles variables apparaissent dans les données, parmi lesquelles le nombre d'étoiles périodiques est estimé à une centaine de milliers. Ces données (images de référence, courbes de lumières) sont progressivement mises à la disposition de la communauté des astronomes sur le site <http://ledbg.in2p3.fr:8080/ledbg/index.jsp>.

| DIRECTION D'OBSERVATION | COUVERTURE (degrés carrés) | ÉTOILES OBSERVÉES (millions) | MOYENNE DU NOMBRE DE MESURES |
|-------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Grand Nuage de Magellan | 88 | 45 | 600 |
| Petit Nuage de Magellan | 10 | 5 | 1000 |
| Centre Galactique | 120 | 40 | 700 |
| Bras spiraux | 30 | 15 | 500 |

 <http://eros.in2p3.fr/>

LABORATOIRES FRANÇAIS DE LA COLLABORATION

CNRS/IN2P3: LAL, LPNHE, LPSC |
CNRS/Insu: IAP, OM, OMP |
CEA/DSM: Dapnia.

Application biomédicale

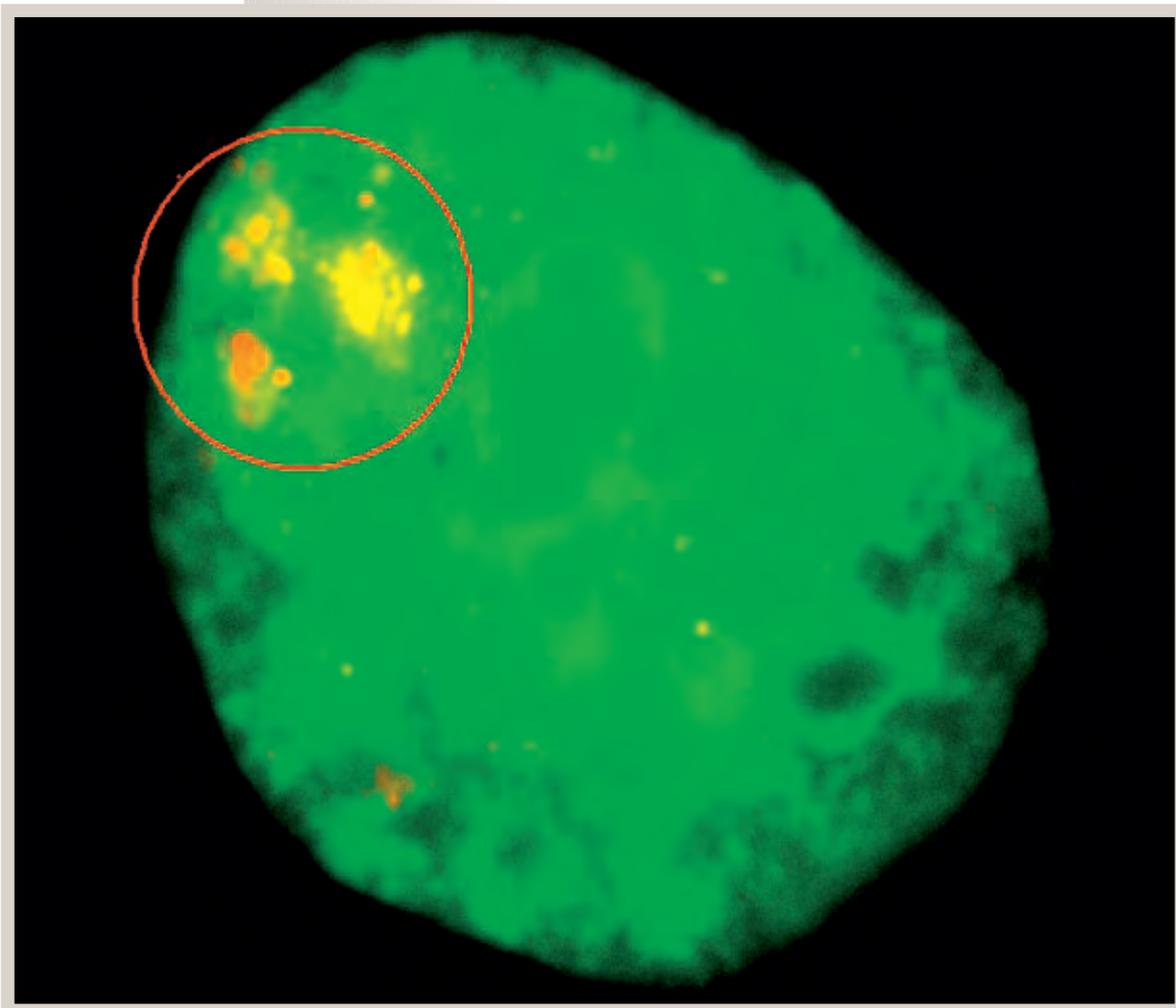
Gérard Montarou

Les années 2003-2007 ont été marquées par l'apparition de structures importantes et performantes au sein des laboratoires de l'Institut dans divers thèmes à l'interface de la Physique et de la Biologie.

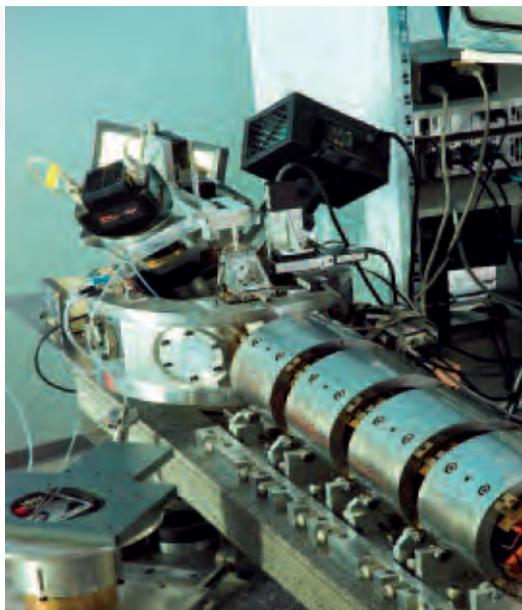
Dans le domaine de l'imagerie multimodale du petit animal, la plateforme μ CT/ μ TEMP/ μ TET Imabio développée à l'IPHC de Strasbourg, et la version multimodale (TEP/CT) du ClearPET au CPPM pour le petit animal, avec le développement de modules de détection X/gamma, capable de fonctionner dans un champ magnétique et permettant un couplage de l'imagerie anatomique et fonctionnelle au sein du même instrument, sont destinés à devenir des outils performants pour des études de métabolisme ou de pharmacologie.

Visualisation par Immunofluorescence des distributions des cassures doubles brins après irradiation cellulaire sous microfaisceau d'ions Aifira.

Dans le domaine de l'imagerie cellulaire, des progrès spectaculaires ont été accomplis par la mise en service de la nouvelle ligne microfaisceau Aifira au CENBG de Bordeaux qui peut délivrer des ions (protons, deutons ou particules alpha) dans ce domaine en énergie de quelques MeV en ciblant spécifiquement des compartiments cellulaires dans des champs de cellules en culture. Les ions sont délivrés un par un avec une précision spatiale de quelques micromètres. L'association de cette sonde radio-toxique totalement contrôlée, aussi bien en position d'impact qu'en dose, avec la mise en évidence des cassures double-brin de l'ADN dans les cellules irradiées par des techniques performantes de marquage (immunofluorescence) est un outil majeur et unique en France pour l'étude et la compréhension des effets des rayonnements ionisants sur le vivant et notamment les mécanismes de signali-



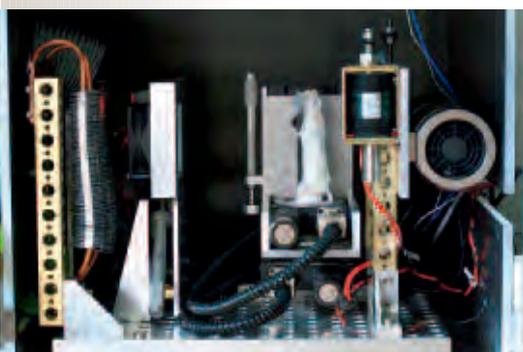
Dispositif d'irradiation cellulaire par microfaisceau sur Aifira (CENBG).



sation cellulaire qui résultent de ces irradiations. En complément à cette ligne microfaisceau, l'étude de l'action de rayonnement fortement ionisant sur la plateforme du Ganil, avec la mise en place du Laria, trouve un écho particulier avec le développement de nouveaux protocoles de radiothérapie utilisant des faisceaux d'hadrons pour le traitement d'un certain nombre de pathologies cancéreuses. À ce titre, la décision du ministère de la Santé en février 2007 de construire le centre médical de traitement par faisceau de carbone en Rhône-Alpes (Etoile) constitue indéniablement une étape importante pour le développement de cette activité au sein de l'Institut, qui peut s'appliquer également à la protonthérapie dans le cadre des centres existants (CPO Orsay, Medycic Nice).

Dans ce contexte, l'Inca a mis en place un programme national de recherche en hadronthérapie, avec la définition d'axes de R&D impliquant l'utilisation d'outils et de méthodes familiers aux chercheurs et ingénieurs de l'Institut,

Plateforme Pixscan du CPPM Scanner-CT optimisé pour la vitesse d'acquisition et le contraste des tissus mous pour l'imagerie du petit animal.



que ce soit pour un contrôle précis des faisceaux, mais également pour la mesure et le contrôle de la dose distribuée, et pour l'imagerie associée.

Sous un aspect plus clinique, ces dernières années ont vu la mise au point et la validation clinique de systèmes miniaturisés pour assister le chirurgien en bloc opératoire. De telles sondes per-opératoires ont été développées essentiellement à l'IMNC d'Orsay et l'IPHC de Strasbourg. D'autres laboratoires de l'Institut se consacrent à des recherches et développements pour l'amélioration de l'imagerie TEP.

Dans le domaine de la recherche en médecine nucléaire et notamment en chimie nucléaire, le projet Arronax (Accélérateur pour la Recherche en Radiochimie et Oncologie à Nantes Atlantique) dont le laboratoire Subatech de Nantes est un des acteurs principaux, consistera, lors de sa prochaine mise en service à l'automne 2008, en une plateforme importante pour la production et l'utilisation de radioisotopes innovants. La plateforme Arronax est destinée à devenir dans les années futures, un centre de recherche performant en imagerie TEP pour le diagnostic et la thérapie en cancérologie et en cardiologie.

L'utilisation de la simulation, que ce soit pour l'optimisation des systèmes d'imagerie (collaboration openGate), ou par la modélisation des effets des rayonnements dans la matière biologique (collaboration Geant4 DNA et plateforme This), a pris une importance considérable ces dernières années à l'interface de la physique et des sciences de la vie. Ce type d'activité s'est largement adossé sur les capacités du centre de calcul de l'Institut, et le déploiement de la grille de calcul dans sa version pluridisciplinaire (EGEE) fortement soutenue par la communauté européenne. Sur le plan national, la création de l'Institut Des Grilles qui est la structure du CNRS en charge de la coordination et de l'animation de l'ensemble des travaux du CNRS dans le domaine des grilles de production et des grilles de recherche, sera un de point de contact vis-à-vis des partenaires notamment européens pour tous les projets de grilles dans ces domaines.



LABORATOIRES FRANÇAIS

CNRS/IN2P3 : IMNC, CPPM, IPHC, Subatech, IPNL, LPC Clermont, LPC Caen, CENBG, LPSC.

Activités et événements marquants du musée Curie

Renaud Huynh

Le musée Curie est à la fois un lieu de mémoire et un musée d'histoire des sciences. Lieu de réflexion et de partage du savoir, le musée bénéficie d'un rayonnement international et suscite l'admiration d'un large public.

Constitué d'un espace de visite et d'un centre de ressources historiques, il propose au public de découvrir l'histoire de la radioactivité et des utilisations médicales des rayonnements dans la première moitié du XX^e siècle.

Les missions principales de l'unité sont : la conservation du patrimoine, l'accueil des publics et la diffusion de la culture scientifique et technique.

L'UMS 6425 CNRS-IN2P3/Institut Curie « Musée et archives de l'Institut du Radium, Pierre et Marie Curie, Irène et Frédéric Joliot-Curie » a été créée en 1994. Elle a été renouvelée en 2006 pour une durée de 4 ans.

Les collections

Le musée Curie conserve de nombreux documents et objets originaux : instruments scientifiques, archives, livres, journaux anciens, photographies, audiovisuels, objets insolites... Ces collections concernent principalement l'histoire des Curie, des Joliot-Curie, de l'Institut du Radium et de la Fondation Curie, et plus largement l'histoire de la radioactivité et de la cancérologie. Cet ensemble constitue un patrimoine unique, très sollicité lors d'événements scientifiques, culturels ou pour des commémorations.

Indépendamment du travail de conservation préventive des différents fonds, la conception et la réalisation d'outils de recherches documentaires est au centre de nos activités.

Un inventaire électronique des collections d'imprimés (de la fin du XIX^e siècle à aujourd'hui) a été finalisé en 2005 : au total, deux mille livres, brochures et journaux, ont été classés et répertoriés.

Les fonds photographiques (plaques de verre, négatifs, tirages originaux...), très demandés pour des expositions ou des publications, sont progressivement numérisés et intégrés à des bases de données et des catalogues électroniques afin de faciliter leur gestion.

De nombreuses demandes spécialisées sont traitées par courrier électronique et de nombreux lecteurs (historiens, chercheurs, journalistes, étudiants...) sont accueillis sur rendez-vous dans nos locaux au 70, rue Mouffetard (75005).

Les publics

Le musée Curie se situe dans l'un des bâtiments de l'Institut du Radium (aujourd'hui Institut Curie), créé en 1909. Ce pavillon abritait un laboratoire, spécialisé dans l'étude des rayonnements, dirigé par Marie Curie de 1914 à 1934. Frédéric et Irène Joliot-Curie, tous deux prix Nobel de chimie en 1935, y ont effectué une grande partie de leurs recherches scientifiques.

L'espace de visite accueille en moyenne six mille visiteurs par an (individuels et groupes), en visite libre ou guidée (français et anglais), dont un tiers de scolaires.

D'une surface totale d'environ 120 m², la capacité d'accueil du musée est limitée¹.

Pour pallier ces limites spatiales et pour diversifier les animations proposées aux publics, le musée développe des activités « hors-les-murs » (expositions, conférences promenades...) et a organisé, entre avril 2004 et décembre 2005, une vingtaine de conférences thématiques mensuelles, *les mercredis du musée Curie*.

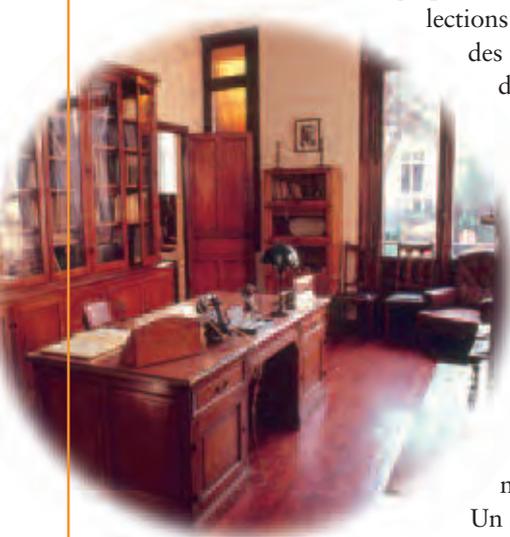
En 2005, *Année Mondiale de la Physique*, grâce à une subvention de la DRRT-DRAC Île-de-France (appel à projets de culture scientifique et technique), deux projets ont été réalisés : restauration d'instruments anciens (pour des démonstrations pédagogiques de la « méthode Curie » pour la mesure de la radioactivité) et élaboration de deux visites contées (*Marie Curie, magicienne du radium*, tout public à partir de 6 ans, et *Chez Madame Curie à l'Institut du Radium*, à partir de 12 ans).

Enfin, dans la continuité du travail entrepris depuis 2003 pour développer l'autonomie de visite et l'interactivité, des aménagements muséographiques ont été opérés, notamment l'introduction de *bornes tactiles* dans l'espace d'exposition (cf. article sur le site <http://leden.wordpress.com/>) et d'un système directionnel de diffusion du son (douche sonore) à l'entrée du bureau de Marie Curie.

La médiation scientifique et culturelle

Conception et réalisation d'expositions, quelques réalisations récentes :

Un siècle de radiothérapie (septembre 2005) : exposition actuellement dans l'amphithéâtre de l'Espace des Sciences de Paris (ESPCI). Elle a été dupliquée sous une forme plus adaptée à l'itinérance (bâches enroulées) et a été présentée à la Bibliothèque Universitaire de Reims (Fête de la Science 2006).



Bureau de Marie Curie
© Musée Curie

¹ - en 2004, première participation aux Journées Européennes du Patrimoine (ouverture exceptionnelle le week-end avec conférences), plus de mille visiteurs se sont présentés en deux jours ! L'espace de visite était saturé.

Marie Curie, itinéraire d'une femme (exposition de photographies N&B): Sancellemoz-Plateau d'Assy (été 2004), Créasciences-Bergerac (fin 2005), Mairie des Lilas (printemps 2006), Grignan (07/2006), Mairie de Boulogne-Billancourt (09/2006), Castres (Centre et musée Jean Jaurès, 11/2006)... exposition traduite en allemand pour une itinérance en Allemagne (juillet 2004/fin 2005).

Marie Curie, a life: exposition biographique bilingue (anglais et français). Inaugurée à Boston en octobre 2006 (French-American Innovation Day), cette exposition bénéficie du soutien du ministère des Affaires étrangères. Après une itinérance aux États-Unis, l'exposition est présentée actuellement à Manchester.

Pierre Curie, l'homme, le scientifique (été 2006, centenaire de la mort de Pierre Curie): exposition réalisée en collaboration avec le Panthéon (Monum) et l'Espace des Sciences de Paris (ESPCI).

De la découverte de la radioactivité à la Fondation Curie (2004); *Dans le jardin de Marie Curie* (2005); *Irène Joliot-Curie, une scientifique du XX^e siècle* (2006): expositions temporaires de plein air sur les grilles des rues d'Ulm et Curie.

Prêts d'instruments et d'objets:

- Panthéon-Monum (*Pierre Curie, l'homme, le scientifique*, été 2006)
- CEA (Espace Zoé, Fontenay-aux-Roses): dépôt
- Nobel Museet (Stockholm et itinérance USA, Japon, Europe 2001/2006)
- Espace des sciences de Paris (ESPCI): dépôt
- Observatoire de Besançon (Fête de la Science 2005): prêt temporaire
- Musée des Arts et Métiers (*Doisneau chez les Joliot-Curie, un photographe au pays des physiciens*, juin-octobre 2005): prêt temporaire
- Université P. et M. Curie (Paris 6): *Marie Curie, première « professeure » à l'Université* centenaire du cours inaugural de Marie Curie (*envie d'aphi*, nov. 2006)

Quelques publications récentes, utilisant les fonds documentaires ou l'iconographie du musée:

Marie Curie, femme savante Sainte Vierge de la science? (F. Balibar, Découvertes Gallimard n°497, 2006)

Doisneau chez les Joliot-Curie, un photographe au pays des physiciens (catalogue d'exposition, 2005)

Pionniers de la radiothérapie (J.-P. Camilleri, J. Coursaget, EDP Sciences, 2005)

Les Curie, pionniers de l'atome (P. Radvanyi, Belin, 2005)

Histoire de la Radioactivité (R. Bimbot, Vuibert/Adapt, 2006)

Autres réalisations ou contributions

Marie et Irène Curie: création d'une adaptation théâtrale de la correspondance entre Marie Curie (interprétée par Geneviève Casile) et sa fille Irène (Isabelle Carré) pour une représentation lors du festival de la correspondance de Grignan (juillet 2006).

La « méthode Curie » pour la mesure de la radioactivité: film documentaire de 8 min réalisé en 2006 et diffusé pendant l'exposition sur Pierre Curie au Panthéon (Monum-ESPCI), ainsi qu'à la Mairie de Boulogne-Billancourt (exposition numérique *Marie Curie, femme de science*, en collaboration avec le Leden et l'Université Paris 7).

Contribution à la réalisation de plusieurs films documentaires:

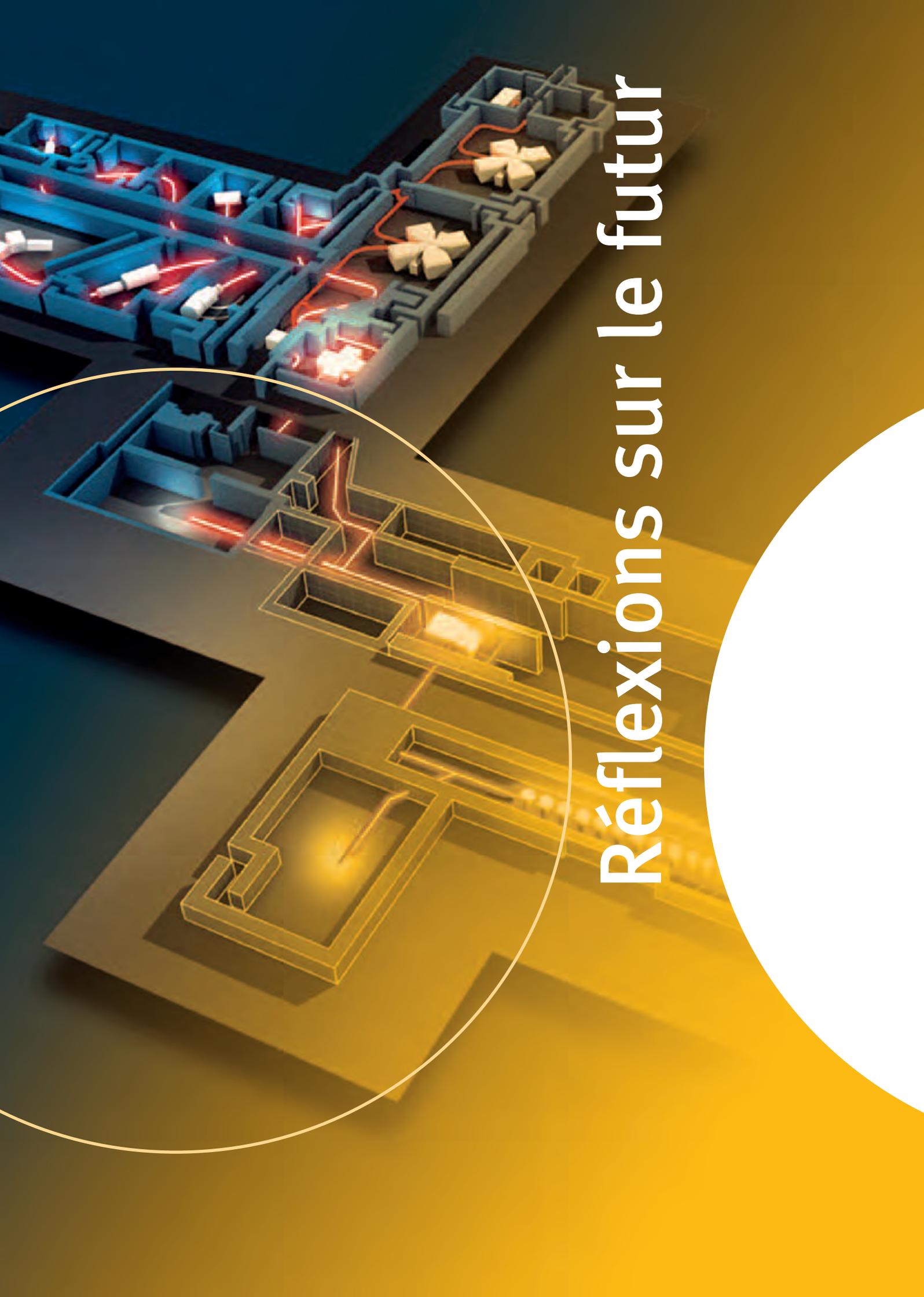
Marie Curie vue par Marie-Christine Barrault (France 2, 2004); *Le plus grand Français de tous les temps – Marie Curie* (France 2/TV5 Monde, 2005); *Questions Sciences – Radioactivité* (magazine scientifique, France 5, 2006); *Lise Meitner* (2006, Rosemary Reed Prod. Ltd).

Journal de l'Institut Curie: rédaction d'articles (partie « histoire »).



PARTENAIRES PRINCIPAUX

- Association Curie et Joliot-Curie
- Institut Curie
- CNRS-IN2P3
- LEDEN (Laboratoire d'Évaluation et de Développement pour l'Édition Numérique)
- Espace des Sciences de Paris (ESPCI)
- DRRT-DRAC Ile de France
- Musée des Arts et Métiers
- Ministère des Affaires Étrangères (DGCID)
- Panthéon (MONUM)
- Mairie du V^e arrondissement
- AREVA (Festival de la correspondance, Grignan)
- EDP Sciences : colloque, exposition et publication « la radiothérapie »
- CEA (Espace Zoé, Fontenay-aux-Roses)
- Université Pierre et Marie Curie (Paris 6)



Réflexions sur le futur

ASTROPARTICULE ET NEUTRINO

- 78 La mission spatiale Planck
« Regarder vers l'aube du temps »
- 79 L'espace : un avenir privilégié pour l'Astroparticule
- 80 Mesure directe du rayonnement cosmique
par les expériences AMS et Cream
- 81 T2K – Double Chooz
- 82 Préparation des détecteurs du collisionneur
électron-positron ILC
- 85 Alto a fourni son premier faisceau
- 86 Spiral 2 : un projet majeur pour la production
de noyaux exotiques
- 88 Agata : un spectromètre γ de nouvelle génération
- 89 Eurisol : vers une nouvelle génération
de faisceaux radioactifs pour l'Europe

La mission spatiale Planck « Regarder vers l'aube du temps »

Daniel Santos

Planck est une mission de l'ESA (European Space Agency) qui sera lancée en août 2008 et qui a pour objectif principal la mesure des anisotropies en température et en polarisation du fond diffus cosmologique (FDC). Ces anisotropies sont des traces laissées il y a plus de treize milliards d'années à l'époque où le rayonnement se libérait de la matière. La détection de ces photons fossiles, refroidis par l'expansion de l'Univers à une température T_0 de 2.726 K, constitue une des clés de la cosmologie observationnelle pour décrire les premiers instants de notre Univers et retracer son évolution.

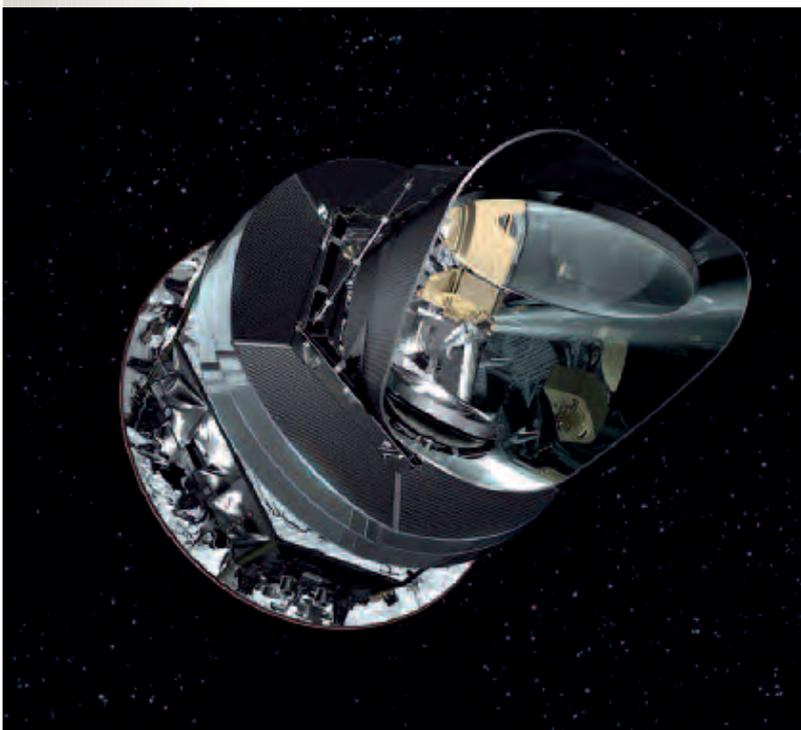
À partir de cette observable, une estimation de la géométrie de l'espace-temps et du contenu global en matière et en énergie de notre Univers est possible dans le cadre du Modèle Standard cosmologique. Ce modèle cohérent avec d'autres observables indépendantes provenant des supernovae de type Ia et des amas de galaxies qui représente l'état actuel de compréhension de notre Univers, nous dit qu'un peu plus de 95 % du contenu en matière et en énergie de notre Univers est d'une nature encore inconnue [1]. Afin de mesurer les anisotropies en température avec une sensibilité de 10^{-5} ($\Delta T/T_0$) et une résolution angulaire de l'ordre de 5 à 9.5 minutes d'arc, deux instruments sont montés sur la sonde Planck [2]: le LFI (low frequency instrument), qui utilise onze radiomètres répartis en

trois bandes de fréquences (30, 44 et 70 GHz), refroidis à 20 mK, et le HFI (high frequency instrument) [3], qui comprend cinquante-deux bolomètres, dont trente-deux sensibles à la polarisation, distribués en six bandes de fréquences (100, 143, 217, 353, 545 et 857 GHz), refroidis à 100 mK. Grâce aux mesures dans ces neuf bandes de fréquences il sera possible de soustraire les contaminants d'avant-plan ayant des dépendances spectrales différentes à celle du FDC.

Cette mission, la troisième mission spatiale dédiée au FDC après Cobe (Nasa, 1989) [4] et WMAP (Nasa, 2001) [5], pourra faire la mesure ultime des anisotropies en température à la résolution angulaire des instruments et fera un pas important vers la mesure de la polarisation de modes B, observable capable de nous renseigner sur le fond stochastique des ondes gravitationnelles primordiales.

L'IN2P3 travaille à la préparation de cette mission depuis plus de dix ans. Trois laboratoires de l'Institut (APC, LAL, LPSC) sont fortement impliqués sur l'électronique et les logiciels de bord, l'étalonnage de l'instrument HFI et la préparation à l'analyse de données. Pendant la période 2004-2006, la livraison à l'ESA des modèles de vol de différents sous-systèmes a eu lieu et leur intégration a été faite par les principaux industriels (Alcatel -France-, et Alenia -Italie-). De plus, l'étalonnage de HFI a été effectué, montrant que l'instrument remplit le cahier des charges, notamment pour la sensibilité requise.

Le satellite Planck.



- 👁 [1] U. Seljak *et al.* JCAP 0610 (2006) 14
 [2] <http://www.planck.fr>
 [2] J. M. Lamarre *et al.* The Planck High Frequency Instrument, a third generation CMB experiment, and a full sky submillimeter survey. *New Astronomy Reviews* 47 (2003) 1017.
 [4] http://www.gsfc.nasa.gov/astro/cobe/cobe_home.html
 [5] <http://map.gsfc.nasa.gov/>

LABORATOIRES FRANÇAIS DE LA COLLABORATION

CNRS/IN2P3: APC, LAL, LPSC |

CNRS/MPPU: CRTBT |

CNRS/Insu: CESR, IAP, IAS, LAOG, Lerma |

CNRS/DSM: Dapnia (SPP, SAP).

L'espace : un avenir privilégié pour l'Astroparticule

Anne Ealet, Éric Plagnol

L'espace est un domaine privilégié d'avenir pour l'Astroparticule avec la préparation de projets spatiaux ambitieux, basés sur des collaborations étroites européennes et américaines avec les grandes agences spatiales (collaborations ESA/Nasa ou Nasa/Cnes/DOE).



*Un éclaté d'un des bancs optiques d'un satellite de Lisa. On voit la masse témoin (cube doré) et les chemins suivis par les faisceaux lasers pour l'interférométrie.
© Albert Einstein Institute (Hanovre/Postdam)*

La Détection des Ondes Gravitationnelles dans l'Espace: LISA

La mission Lisa, coordonnée par l'Esa et la Nasa, avec une participation active du Cnes et de l'IN2P3, se propose de détecter les ondes gravitationnelles (OG) provenant de l'univers lointain. Lisa permettra la détection d'ondes gravitationnelles de basses fréquences (10^{-5} à 10^{-1} Hz) avec une sensibilité de 10^{-23} . La constellation Lisa est constituée de trois satellites, situés aux sommets d'un triangle équilatéral de 5 millions de kilomètres de côté. La détection des OG est basée sur une méthode d'interférométrie Michelson qui permettra de mesurer, avec une précision de quelques picomètres, la modification de la distance entre les satellites provoquée par le passage des OG. Cette mesure repose sur des défis technologiques majeurs qui seront testés par la mission LisaPathfinder (Esa/Nasa) dont le lancement est prévu en 2009 et qui mesurera la position de deux masses inertielles (distante de 40 cm!) avec la précision requise. L'APC, soutenu par le Cnes, participe à cette mission en contrôlant la réalisation d'un système de modulation de la fréquence des lasers (Module Acousto-Optique). Le groupe Lisa-France est impliqué dans des développements expérimentaux et théoriques et dans l'analyse des données futures de Lisa. L'APC, avec Artemis, conduit deux études: stabiliser les futurs lasers de Lisa et développer des codes de simulation et d'analyse. Ce travail, soutenu par le Cnes, s'inscrit dans le cadre d'une collaboration internationale européenne et américaine sous l'égide du LIST (Lisa International Science Team). La mission Lisa est actuellement, en Europe et aux USA, en compétition pour un lancement en 2018/2022.

La recherche de l'énergie noire: Snap

Snap est un projet de satellite dédié à la recherche de la nature de l'énergie noire, composante qui serait responsable de l'accélération récente de l'Univers. L'observation de supernovae donne une mesure directe de cette accélération (SNLS) Les mesures de lentilles gravitationnelles faibles

sont aussi un moyen puissant de contraindre le modèle cosmologique à travers un test de la croissance des fluctuations. La combinaison de ces deux informations procure un test de cohérence interne fondamental. Snap pourra mesurer quelques milliers de supernovae et effectuera un relevé de plusieurs milliers de degrés carrés avec une qualité d'image inégalée dans neuf filtres, visible et infrarouge. Le contrôle et la calibration de la mesure sont assurés par un spectrographe embarqué. Snap est une collaboration franco/américaine soutenue par le DOE et fait partie des trois projets sélectionnés par la Nasa dans le cadre JDEM (accord Nasa/DOE). Le Cnes et le DOE, en relation avec l'IN2P3, étudient une participation française élargie avec le télescope. Les sélections finales devraient avoir lieu en 2007/2008 pour un lancement vers 2014. Des équipes françaises IN2P3/Insu, soutenues par le Cnes, participent au projet et sont en charge du spectrographe. Ces équipes ont développé un concept innovant et ont construit en 2005/2006 un démonstrateur qui fonctionnera mi-2007 et validera les performances optiques. Cet instrument doit fonctionner à froid dans l'infrarouge. L'IPNL a développé et testé une électronique originale de lecture de détecteurs pixels infrarouge qui permet des performances bas bruit et qui sera utilisée sur le démonstrateur avec un détecteur Rockwell bas bruit dernière génération.

le « slicer » ou découpeur d'image du spectrographe sur son support réalisé au CPPM.



👁 LISA:

http://www.apc.univ-paris7.fr/APC_CS/Experiences/LISA/lisa.html

SNAP:

<http://snap.lbl.gov>,
<http://marwww.in2p3.fr/renoir/spectro.html>

LABORATOIRES FRANÇAIS

LISA/CNRS/IN2P3 : APC, LAPP |

CNRS/Insu : LAM, Observatoire de Nice, LUTH Meudon, IAP, Syrte.

SNAP/CNRS/IN2P3 : CPPM, IPNL, LAL, LPNHE | CNRS/Insu : LAM, CRAL.

Mesure directe du rayonnement cosmique par les expériences AMS et Cream

Laurent Derome

Le rayonnement cosmique a été découvert depuis bientôt un siècle et n'a cessé depuis d'être intensivement mesuré par plusieurs générations d'expériences. Pourtant un grand nombre de questions restent ouvertes quant aux sources et aux processus à l'origine de ce rayonnement.

De plus le rayonnement cosmique est une sonde unique pour rechercher la matière noire dans la galaxie et tester l'asymétrie matière-antimatière dans notre Univers.

Les expériences AMS et Cream vont mesurer de manière directe ce rayonnement et produire dans les prochaines années un renouvellement complet de nos connaissances sur le rayonnement cosmique.



Vue d'AMS (au premier plan) arrimé sur un des bras de la station spatiale internationale (ISS).



Décollage de l'expérience Cream depuis la station Mc Murdo en Antarctique (Vol 2005).

Le rayonnement cosmique est constitué de particules chargées énergétiques qui se propagent à travers notre Galaxie avant de bombarder la Terre. Pour le mesurer, il faut mettre en œuvre un détecteur soit dans l'espace (expérience AMS), soit dans la haute atmosphère (expérience Cream). AMS va mesurer le rayonnement cosmique du GeV au TeV alors que l'expérience Cream mesure le rayonnement cosmique du TeV au PeV. Ces expériences complémentaires permettront d'aborder de nombreuses questions ouvertes quant à la physique du rayonnement cosmique : quelles sont les sources de ces particules dans notre Galaxie ? Quels sont les processus d'accélération ? Jusqu'à quelles énergies ces processus peuvent-ils accélérer ces particules ? Quels sont les processus liés à la propagation et au confinement du rayonnement cosmique dans notre Galaxie ?

De plus AMS pourra mesurer les composantes les moins abondantes du rayonnement cosmique

qui constituent une sonde très sensible. Ainsi la mesure des composantes d'antiprotons ou de positrons pourrait permettre d'identifier une contribution venant de l'annihilation de matière noire, et la détection d'antinoyaux dans le rayonnement cosmique pourrait remettre en question l'asymétrie matière-antimatière de l'Univers. Mais la mesure de ces contributions minoritaires constitue un challenge expérimental et c'est cet objectif qui a déterminé l'architecture du détecteur AMS. Il est constitué de plusieurs sous détecteurs permettant de façon complémentaire d'identifier les particules qui le traversent et de mesurer leur énergie. En particulier les groupes français ont participé aux instruments Rich (imageur Cherenkov) et Ecal (calorimètre électromagnétique). AMS devrait être installé sur la station spatiale à partir de 2009 et la longue durée de l'expérience et son large volume de détection permettra d'accumuler une statistique de plusieurs ordres de grandeurs supérieure à la statistique aujourd'hui disponible, avec une grande capacité d'identification des particules du rayonnement cosmique.

L'expérience Cream est un détecteur sous ballon qui effectue des vols annuels à partir de la base de Mc Murdo en Antarctique. Les groupes français ont construit un nouveau détecteur pour l'expérience Cream. Il s'agit d'un imageur Cherenkov (CherCam) qui permettra d'améliorer significativement la résolution en charge de l'instrument et d'identifier les particules du rayonnement cosmique. Le premier vol de Cream avec CherCam aura lieu en décembre 2007.

Les expériences AMS et Cream, grâce à la mesure directe du rayonnement cosmique, vont permettre dans les années à venir de profondément renouveler notre connaissance de cette physique et vont offrir de grandes perspectives de découvertes.

 <http://ams.cern.ch/>
<http://lpsc.in2p3.fr/CREAM/>

LABORATOIRES FRANÇAIS DE LA COLLABORATION AMS

CNRS/IN2P3 : LAPP, LPSC, LPTA.

LABORATOIRES FRANÇAIS DE LA COLLABORATION CREAM

CNRS/IN2P3 : LPSC |

CNRS/Insu : CESR.

T2K – Double Chooz

Jacques Dumarchez, Hervé de Kerret

Après les avancées spectaculaire de la physique du neutrino ces dernières années, le prochain pas sera la connaissance du dernier angle de mélange entre les neutrinos. θ_{13} , qui n'est toujours pas mesuré. Le meilleur résultat mondial a été fourni par l'expérience de Chooz, dans les Ardennes, qui en a donné une limite supérieure il y a quelques années. Si cet angle n'est pas trop petit, un nouveau champ de recherche expérimentale va s'ouvrir : l'étude de la violation de symétries fondamentales (appelées symétries CP) dans le secteur leptonique deviendra possible. Les expériences en construction vont répondre à cette question d'ici quelques années.

Deux types d'expérience apportant des informations complémentaires sont possibles. Les accélérateurs produisent un faisceau de neutrino de saveur bien définie : on cherche si des neutrinos de saveur différente apparaissent. On peut aussi utiliser des neutrinos de type électron issus des réacteurs nucléaires : leur changement de saveur se traduira par un taux de neutrinos électrons plus faible dans le détecteur. On parle alors de disparition.

T2K

Un faisceau de neutrinos est en construction au Japon, depuis J-Parc vers le grand détecteur de Superkamioka, à 295 km de là. Cette expérience atteindra la meilleure limite ultime sur l'angle θ_{13} , et bénéficie aussi d'une certaine sensibilité au paramètre de violation de symétrie CP.

La bonne connaissance du faisceau est la clef de l'expérience, et plusieurs détecteurs seront installés dans ce but au départ de ce faisceau. L'IN2P3

est très impliquée dans ces détecteurs, en liaison avec le CEA. Les groupes français ont des responsabilités importantes dans la mesure directe du contenu du faisceau (détecteur Ingrid) et dans le suivi des traces de particules produites et traversant la chambre à projection temporelle (TPC). La connaissance de ce faisceau sera encore améliorée par de nouveaux détecteurs à 2 km du point de départ, et l'IN2P3 participe à l'étude de l'option argon liquide.

Le faisceau doit envoyer ses premiers neutrinos vers Superkamioka en 2009, pour atteindre une pleine intensité en 2012.

Ce programme conduit vers de nouveaux détecteurs de plus grande taille. Les groupes français participent au développement des techniques nécessaires, notamment vers de grands Cerenkov à eau et des détecteurs à argon liquide. Le projet Laguna rassemble cet effort au niveau Européen. Un des sites possibles serait en France, où il pourrait bénéficier d'un faisceau venant du Cern. Ceci est étudié dans le cadre du programme européen Bene.

Double Chooz

L'expérience se déroulera auprès du réacteur nucléaire de Chooz, dans les Ardennes, en bénéficiant du laboratoire neutrino déjà existant. Une forte collaboration internationale, dirigée par les équipes françaises, va construire deux détecteurs identiques, pour comparer le flux de neutrinos au départ et 1 km plus loin.

L'installation du détecteur lointain commencera en mars 2008, et les premières données sont attendues début 2009. La limite mondiale sera améliorée en un an de prise de données. La mise en service du détecteur proche en 2010 permettra ensuite de continuer à fournir le meilleur résultat jusque vers 2011.

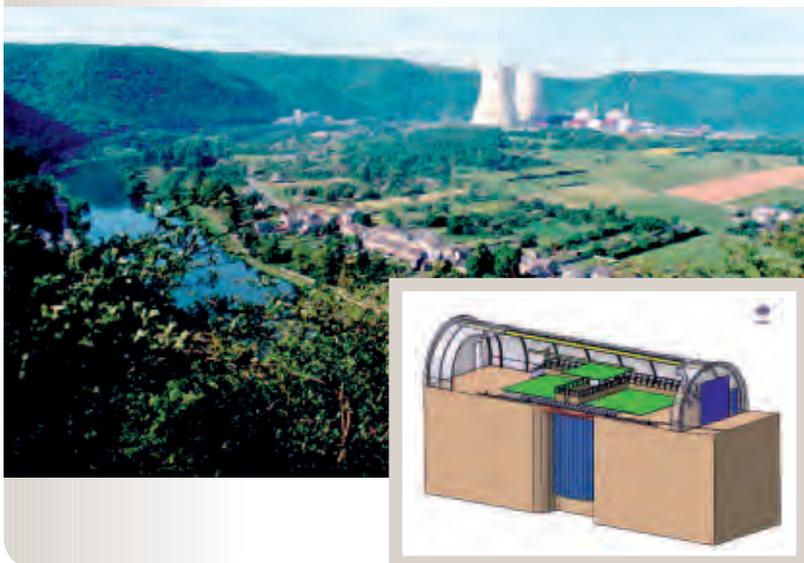
Une retombée de cette recherche concerne la lutte contre la prolifération nucléaire. L'AIEA souhaite voir étudier la possibilité de contrôler le fonctionnement des réacteurs nucléaires via les neutrinos émis. La mesure de la puissance du réacteur par ce moyen sera aussi étudiée.

 <http://doublechooz.in2p3.fr/public/french/welcome.php>

LABORATOIRES FRANÇAIS DE LA COLLABORATION

CNRS/IN2P3 : APC, Subatech |
CEA/DSM : Dapnia/SPP.

Site de Double Chooz



Préparation des détecteurs du collisionneur électron-positron ILC

Jean-Eudes Augustin

Le progrès de la physique fondamentale nécessite l'utilisation de collisionneurs permettant d'atteindre des énergies inexplorées et d'y accomplir des mesures de précision. Pour répondre à l'ensemble de ces demandes, un collisionneur électron-positron dans le domaine du TeV est indispensable au côté du collisionneur hadronique LHC.

Une collaboration mondiale s'est rassemblée pour la réalisation de cette installation, l'ILC (International Linear Collider), sous l'égide des instances de concertation internationale. Une structure commune, le GDE (Global Design Effort) a été mise en place pour détailler les choix techniques et couvrir les étapes nécessaires à la réalisation du projet. Parallèlement, l'étude des détecteurs de l'ILC est coordonnée mondialement par le World-Wide Study (WWS). Le but est de mettre au point les technologies nécessaires pour les détecteurs spécifiques, puis de concevoir leur assemblage en grands détecteurs complets et cohérents capables de réaliser les mesures attendues de l'ILC.

À l'IN2P3, les équipes de huit laboratoires travaillent sur ce sujet, en relation avec le Dapnia et plusieurs groupes de théoriciens français. L'activité inclut une participation aux instances de coordination du GDE et du WWS et la participation à deux des pré-projets de détecteurs, le LDC (Large Detector Concept) et le SiD (Silicon Detector). Mais le travail principal porte sur la conception et les tests de détecteurs spécifiques : - un calorimètre électromagnétique et hadronique à très haute granularité (Collaboration inter-

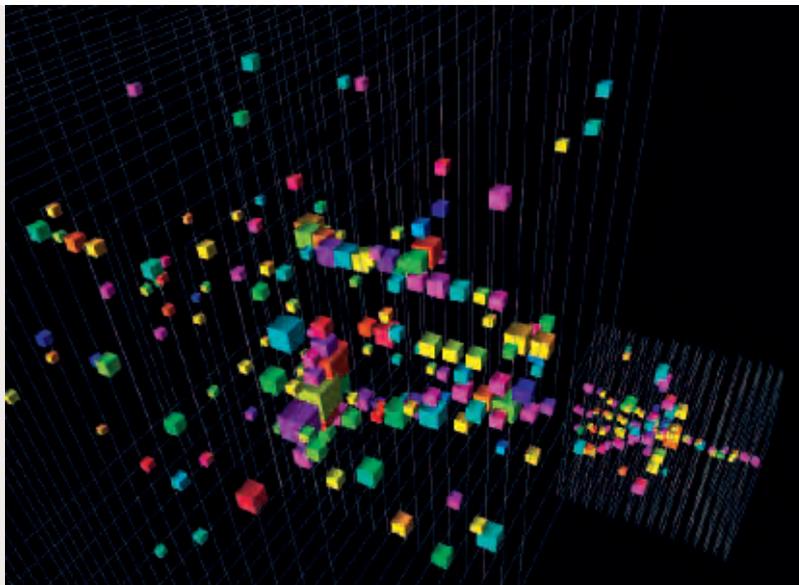
ationale Calice), - un mesureur de vertex innovant utilisant la technologie CMOS - la mesure des traces chargées par détecteurs silicium à micro-pistes et pixels (Collaboration internationale SiLC). Les équipes françaises ont été fondatrices et sont leader dans ces trois activités. Il y a de plus des études sur un détecteur gazeux TPC et des contributions aux études sur l'interface entre le collisionneur et le détecteur. Des développements informatiques sont faits pour la simulation et l'analyse des données. L'ensemble de ces travaux bénéficie entre autres du programme européen Eudet du 6^e PCRD obtenu grâce en particulier à des membres des équipes de l'IN2P3.

Calorimétrie

Pour répondre aux enjeux de physique de l'ILC, la calorimétrie est face à une révolution conceptuelle. Pour l'ILC, le programme de physique, très fortement orienté vers les événements multi-jets, impose une calorimétrie dont l'objectif principal est la reconnaissance des gerbes hadroniques et électromagnétiques, permettant de séparer au mieux les contributions individuelles des particules constituant le jet. Cette méthode dite PFA (« Particle Flow Algorithm »), est née sur le collisionneur e^+e^- LEP du Cern avant d'être développée pour la physique sur l'ILC. Elle constitue aujourd'hui le concept central pour un projet de détecteur.

Pour optimiser la reconnaissance de forme, il faut un grand nombre de pixels, plusieurs ordres de grandeur supérieure à celui utilisé par exemple

Test en faisceaux au Cern: Interaction d'un pion de 30 GeV.
© Jean-Claude Brient /LLR.



sur le LHC: 200 Méga pixels sont considérés pour le calorimètre final sur l'ILC.

Les nombreux développements nécessaires pour démontrer la faisabilité d'un tel instrument se font dans le cadre d'une grande collaboration internationale (Calice, dont le porte-parole est de l'IN2P3) constituée de trent-huit laboratoires (6 de l'IN2P3) de douze pays. Les contributions de l'IN2P3 couvrent les développements d'un calorimètre électromagnétique à base de pixels de silicium et de radiateur en tungstène, d'un calorimètre hadronique gazeux (DHCAL) fait d'un sandwich de radiateurs en inox et d'instruments de lectures à base de RPC ou de Micromegas.

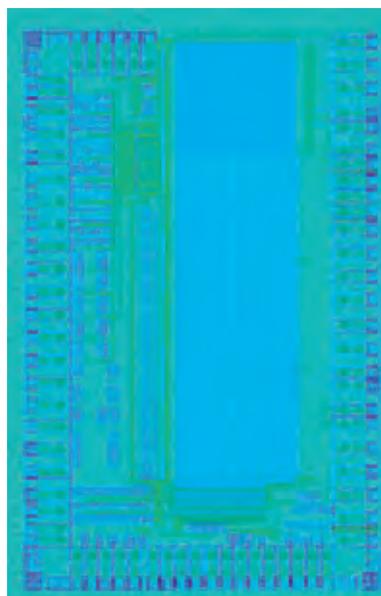
Les développements de ces calorimètres passent par la construction de prototypes qui sont ensuite testés en faisceau. Les laboratoires de l'IN2P3 ont ainsi fortement participé aux développements d'un prototype de calorimètre électromagnétique dont la première mouture a été testée de manière très satisfaisante en faisceau d'électrons et de pions à Desy et au Cern. Les laboratoires français participent aussi au développement d'un prototype similaire de DHCAL avec le reste de la collaboration.

Mesureur de vertex

La mise au point des capteurs CMOS pour le détecteur de vertex a connu d'importants progrès: il est à présent bien établi qu'une résolution spatiale de 1,5 à 2,5 μm peut être obtenue. Par ailleurs, plusieurs capteurs ont été amincis avec succès à environ 50 μm . Enfin, les tests de tolérance aux rayonnements sont concluants.

Sur la base de ces résultats, la mise au point de capteurs spécifiques à des applications à court terme a été décidée: il s'agit d'équiper le détecteur de vertex de l'expérience Star au RHIC (BNL) et le télescope de faisceau du projet Eudet. Ces applications constituent des jalons importants du processus de validation de cette technologie pour son emploi au superLHC et à l'ILC.

Ce dernier requiert une fréquence de lecture des capteurs très supérieure au kilohertz. Le flot de données qui en résulte nécessite la sélection des pixels touchés et la numérisation des signaux, réalisées dans le capteur même. Un tel capteur a déjà été conçu et fabriqué en collaboration avec le Dapnia (zone bleue sur le schéma ci-contre).



Trajectomètre silicium.
© Marc Winter / IPHC.

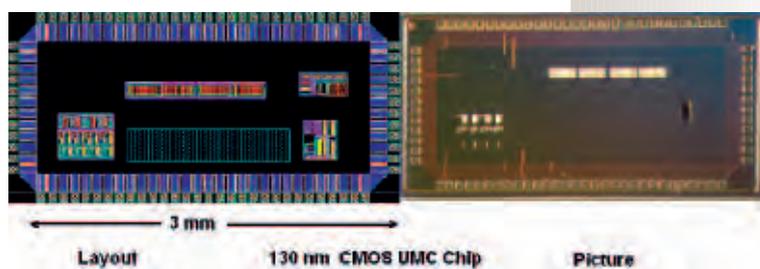
Chaque pixel a un microcircuit de suppression du bruit moyen. Le signal corrigé est sélectionné par des discriminateurs en bout des colonnes. Les tests sur faisceau ont validé cette architecture pour la suite du développement.

Trajectomètre : Silicium

La collaboration SiLC a été initiée par l'IN2P3 pour développer la nouvelle génération de trajectomètres au Silicium de grande superficie. Cette R&D est menée en synergie avec le développement de ces détecteurs pour le LHC et pour le superLHC futur. Les faits marquants de ces dernières années sont:

- Le développement de la collaboration SiLC (une vingtaine d'institutions) dont l'IN2P3 assure la coordination,
- les nouvelles technologies de détecteurs au silicium en technologie microbandes 3D,
- l'électronique de lecture sur le détecteur, lancée en technologie DSM 180 nm CMOS-UMC,
- la construction (avec le Cern) de modules faits de trois détecteurs et le développement de l'outillage nécessaire,

Chip prototype en 180 nm.
© Aurore Savoy-Navarro / LPNHE.



- la caractérisation des modules et des nouveaux chips sur banc test,
- premiers tests en faisceau sur ces modules et le chip prototype en 180 nm.

Trajectomètre : TPC à lecture Micromegas

Le concept de détecteur LDC inclut une grande chambre à projection temporelle (TPC). La R&D a d'abord porté sur la prise de données cosmiques qui a fourni la validation de la lecture.

En collaboration avec Montréal, le MPI-Munich et des laboratoires japonais, dont le KEK, les laboratoires français ont équipé deux TPC avec une lecture Micromegas et un dépôt résistif sur l'anode. Les mesures en 2005 ont donné d'excellents résultats, avec une résolution de 50 microns confirmée à Desy en 2006 dans une bobine de 5T. Un prototype de grandes dimensions est à l'étude.

Interface machine-détecteur

À l'ILC, l'intégration du détecteur et de la ligne de faisceau doit être soigneusement optimisée afin de réduire les bruits de fond induits par le faisceau, favoriser les diagnostics nécessaires aux réglages de la machine et assurer aux détecteurs les meilleures conditions. Le programme de physique requiert aussi de connaître précisément la luminosité absolue et son spectre, l'énergie absolue et la polarisation des particules. Un groupe de l'IN2P3 est actif sur les thèmes suivants :

- amélioration du logiciel de simulation de l'interaction faisceau-faisceau,
- mise en œuvre d'une simulation Geant4 de la ligne de faisceau et étude du bruit de fond rétro-diffusé dans le détecteur,
- optimisation des paramètres de l'ILC pour l'étude du boson de Higgs au voisinage du seuil de production,
- étude de l'étiquetage des électrons à très petit angle pour la recherche de particules supersymétriques susceptibles d'expliquer la matière noire dans l'univers.

Par ailleurs, plusieurs mesures de précision profiteront beaucoup de positrons polarisés. Une équipe travaille sur une source de positrons polarisés par diffusion Compton. Il s'agit de produire des photons à partir de l'interaction d'un laser pulsé de forte puissance, polarisé circulairement, avec un faisceau d'électrons de quelques GeV, de

les convertir en paires e^+e^- dans une cible, puis de collecter et d'accélérer les positrons créés. En parallèle, l'équipe étudie avec un financement Eurotev le remplissage d'une cavité Fabry-Pérot de très haute finesse (10^4 - 10^5) par un faisceau laser pulsé de 1ps, dans laquelle les interactions Compton laser-électrons auront lieu.

Développements de logiciel

La précision de reconstruction des jets dans un détecteur est basée sur des algorithmes PFA où l'on mesure chaque particule (chargée et neutre) au sein du jet. Ces méthodes guident les choix et l'optimisation des calorimètres tout en intégrant l'identification de la saveur des partons qui gouverne les performances de l'ensemble du trajectomètre.

L'IN2P3 a eu un rôle pionnier dans l'utilisation du logiciel Geant4 pour les simulations. Les algorithmes de reconstruction basés sur la simulation complète des détecteurs sont en cours d'élaboration, en synergie avec l'exploitation des données collectées lors des tests en faisceau.

L'activité PFA se structure de façon à mettre en œuvre les logiciels nécessaires aux analyses de physique : simulation complète du détecteur et de la reconstruction. Les laboratoires impliqués étudient par exemple la mesure du couplage de Yukawa du top et la reconstruction du potentiel de Higgs. Parallèlement, des logiciels de simulation rapide sont développés.

Une grande partie des ressources est mise en commun au niveau international au travers de la grille, pour laquelle le CC-IN2P3 joue un rôle primordial.

Conclusion

La préparation de la physique à l'ILC est en pleine activité, cela concerne la quasi-totalité des laboratoires de physique des particules de l'IN2P3. Le travail va encore s'intensifier dans les années qui viennent avec à court terme les réalisations de prototypes en vraie grandeur des sous-détecteurs et la constitution des projets de détecteur complet et des collaborations mondiales correspondantes.

 <http://www.linearcollider.org/>

LABORATOIRES FRANÇAIS

CNRS/IN2P3 : IPHC, IPNL, LAL, LAPP, LLR,
LPC Clermont, LPNHE, LPSC |
CEA/DSM : Dapnia/SPP.

Alto a fourni son premier faisceau

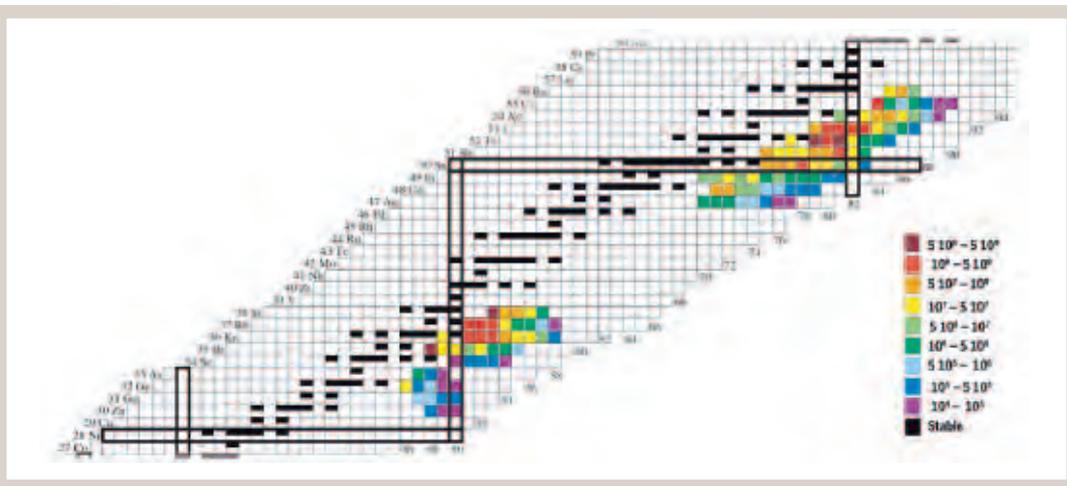
Fadi Ibrahim

Le projet Alto (Accélérateur Linéaire auprès du Tandem d'Orsay) consiste en l'installation d'un accélérateur d'électrons (10-50 MeV, 10 μ A) dans les aires expérimentales du Tandem de l'IPN Orsay. Cette installation s'intègre parfaitement au Tandem ce qui ouvre de larges perspectives pour les études de structure nucléaire, pour des programmes pluridisciplinaires (chimie, biologie, physique atomique et de la matière condensée) ainsi que pour des activités de recherche et de développement sur les accélérateurs.

d'Alto, sont d'une importance primordiale pour le projet Spiral 2.

La mise en place de l'infrastructure nécessaire à l'accueil de la physique auprès d'Alto est actuellement en cours. Cela concerne principalement, les nouvelles lignes de physiques pour les études de structure nucléaire, d'orientation nucléaire, de spectroscopie laser colinéaire, la mise en place de l'infrastructure pour l'installation de la source laser ainsi que la jouvence du séparateur. Par ailleurs des systèmes de détection de grande perfor-

Premiers faisceaux observés à Alto et leur intensité au point de mesure.



En décembre 2005 cet accélérateur, construit en collaboration entre l'IPN et le LAL, a fourni son premier faisceau d'électrons. Dès juin 2006, il a été possible d'irradier à intensité réduite (100 nA) une cible de carbure d'uranium ce qui a permis d'une part de valider les calculs de radioprotection liés à Alto, et d'autre part de confirmer les estimations de production des fragments de fissions. Les productions de noyaux très exotiques allant du zinc au baryum ont été mesurées au point de mesure physique. Nous avons obtenu de la Direction générale de la Sureté nucléaire et de la Radioprotection l'autorisation d'effectuer les tests de mise en service de l'accélérateur Alto. Il est prévu au cours de l'année 2007 d'effectuer ces tests sur des paliers en intensité allant de 100 nA à 10 μ A, tout en développant l'infrastructure nécessaire à l'accueil de la physique.

Un effort particulièrement important est porté au niveau d'Alto pour le développement d'ensembles cibles sources permettant de disposer de faisceaux de noyaux réfractaires ainsi que des faisceaux d'une grande pureté. Ces études, outre l'intérêt pour la physique effectuée auprès

mance sont petit à petit mis en place auprès du nouveau pôle accélérateur Tandem-Alto ouvert désormais à une très large communauté scientifique internationale.

Les axes majeurs de la physique étudiés auprès d'Alto sont l'étude de la magieité des noyaux riches en neutrons, l'étude du processus r en astrophysique nucléaire, la mesure de propriétés fondamentales de noyaux très exotiques tels que la forme ou la masse. Avec la mise en fonction d'Alto, il est envisagé à titre d'exemple d'étudier la décroissance, du ^{80}Cu vers le ^{80}Zn afin de connaître enfin l'énergie du premier état 2^+ ainsi que de l'état 4^+ du ^{80}Zn qui est le dernier noyau pair-pair sur $N=50$ avant le ^{78}Ni . Cela constituera une avancée majeure dans la connaissance de la force du « gap » $N=50$ aussi proche du ^{78}Ni .



LABORATOIRES FRANÇAIS DE LA COLLABORATION

IPNO, LAL, Ganil.

Spiral 2 : un projet majeur pour la production de noyaux exotiques

Marek Lewitowicz

Spiral2 est un projet d'extension majeur des capacités de production de noyaux exotiques de l'ensemble Ganil-Spiral. Élément déterminant de la stratégie européenne pour la recherche en physique nucléaire, il fera franchir à la communauté internationale une étape cruciale dans la compréhension du noyau atomique en permettant d'explorer de nouvelles limites de la cohésion nucléaire. En effet, l'installation fournissant des faisceaux de deutons et d'autres ions stables plus lourds d'intensités jamais encore atteintes permettra de produire et d'accélérer des noyaux exotiques lourds aussi bien riches en neutrons qu'en protons.

L'objectif de Spiral 2 est d'étendre considérablement la gamme des noyaux exotiques disponibles en particulier sous forme de faisceau. Utilisés comme projectiles lors d'une réaction secondaire, ces noyaux exotiques accélérés permettront des études inédites et donneront accès à de nouvelles espèces nucléaires encore plus exotiques.

L'utilisation de faisceaux primaires d'ions lourds de très grande intensité permettra, quant à elle, d'explorer une zone de noyaux très déficients en neutrons ainsi que la production de noyaux lourds et super-lourds.

Par-delà la physique nucléaire, Spiral 2 formera, avec le Ganil d'aujourd'hui, un outil unique pour la physique atomique, la physique du solide et la radiobiologie. On peut noter, en particulier que Spiral 2 sera une des sources de neutrons rapides (14 MeV) les plus performantes au monde pour les dix prochaines années au moins. L'ensemble Spiral 2 est constitué :

- d'un accélérateur primaire linéaire supraconducteur de deutons (5 mA, 40 MeV) et d'ions lourds légers (1mA, 14 MeV/A),
- d'un convertisseur de neutrons pouvant induire jusqu'à 10^{14} fissions par seconde dans la cible de carbure d'uranium; ce processus génère une riche population de noyaux exotiques lourds très excédentaires en neutrons,
- d'un ensemble cible-source et d'un séparateur de masses,
- d'un post-accélérateur déjà existant, le cyclotron Cime, qui accélère ces noyaux exotiques.

Spiral2 est le projet de priorité nationale du CNRS et du CEA en physique nucléaire pour les années à venir. Au démarrage du projet, sont impliqués en France :

- au CNRS: sept laboratoires de l'IN2P3 (le

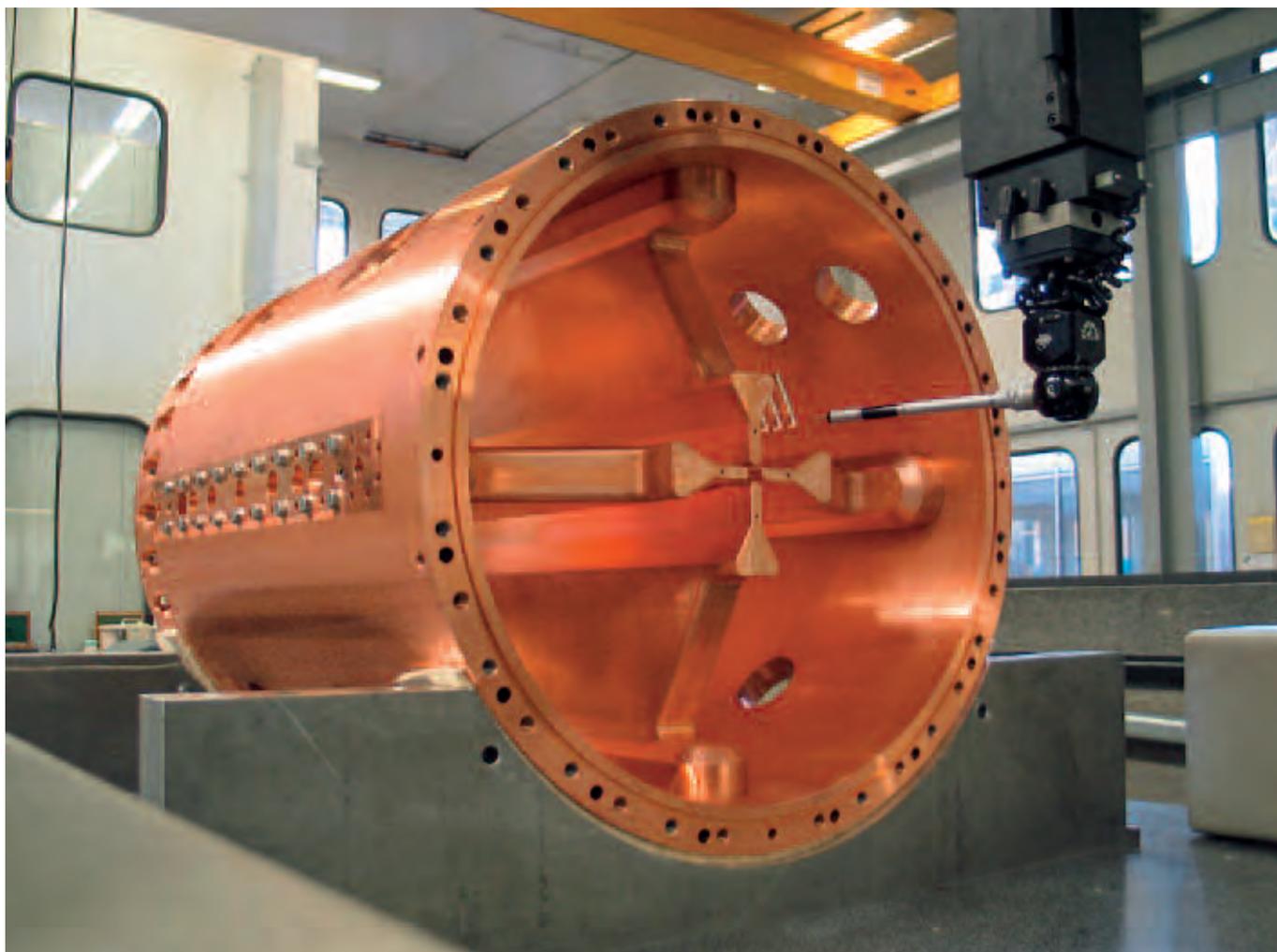
CENBG à Bordeaux, le CSNSM et l'IPNO à Orsay, l'IPHC à Strasbourg, l'IPNL à Lyon, le LPC à Caen et le LPSC à Grenoble)

- au CEA: quatre services du Dapnia de la DSM à Saclay, le SACM, le Senac, le SIS et le SPhN ; le SPN du DPTA de la DAM à Bruyère-le-Châtel;
- le Ganil à Caen.

Le projet est financé par l'Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules (IN2P3) du CNRS, la Direction des Sciences de la Matière (DSM) du CEA, la Région et les collectivités territoriales de Basse-Normandie, avec le soutien de l'Union européenne et des collaborations internationales.

De nombreux accords de collaboration internationaux bilatéraux sont déjà signés ou en préparation. On peut notamment citer l'Allemagne, les États-Unis, l'Inde, Israël, l'Italie, le Japon, la Pologne, la Roumanie, le Royaume-Uni et la Russie. Spiral 2, une des trente-cinq plus importantes infrastructures européennes de la recherche sélectionnées par le comité ESFRI, est éligible pour le financement dans le cadre du 7^e PCRD.

Spiral 2 est conçu pour être l'installation de faisceaux radioactifs la plus performante au monde pour au moins les quinze ans à venir, en particulier pour la production des faisceaux de noyaux très riches en neutrons. Avec un dimensionnement, qui permet de produire 10^{14} fissions par seconde, Spiral 2 se situe à mi-chemin entre les installations existantes comme Rex Isolde et Oak Ridge et le projet à long terme comme Eurisol.



*Prototype d'un
quadrupôle radio-
fréquence (RFQ)
accélérant les faisceaux
de Spiral 2 à la sortie
de la source. © Ganil*



LABORATOIRES FRANÇAIS DE LA COLLABORATION

CSNSM, IPNO, IPNL, IPHC, LAL, LPC-Caen, LPNHE,
LPSC |

DSM/Dapnia/SPhN-SACM-SIS-Senac |

DSM-Saclay-Expertise |

DAM/DPT₁/DASE-DP2 |

DEN-Expertise |

DPSN-Expertise |

Ganil.

Agata : un spectromètre γ de nouvelle génération

Gilbert Duchêne

Agata est un spectromètre gamma révolutionnaire basé sur la reconstruction du parcours des photons dans le germanium. Le projet qui regroupe 11 nations européennes et 45 laboratoires est en phase de R&D jusqu'en 2008. Sept laboratoires français y sont fortement impliqués dans la plupart des domaines de développement. Les performances des premiers prototypes laissent augurer des bonnes performances de l'appareillage.

Agata (Advanced GAMMA Tracking Array) [1] est un spectromètre gamma uniquement constitué de germanium (Ge) contrairement aux appareillages actuels tels que Exogam, Jurogam, Clara, Rising en Europe ou Gammasphère aux États-Unis. Il permettra une augmentation de la sensibilité de détection de deux à trois ordres de grandeur. De toutes nouvelles perspectives seront ainsi ouvertes pour l'étude des états extrêmes de la matière nucléaire comme i) la structure des noyaux très exotiques à la limite de la cohésion, ii) celle des noyaux très lourds [2] et iii) les déformations exotiques et symétries du noyau. L'appareillage complet sera constitué de 180 cristaux regroupés en 60 cryostats appelés triples clusters (voir photo).

L'originalité d'Agata repose sur la reconstruction des trajectoires des rayonnements gamma ayant interagis dans le Ge. Pour cela les cristaux de Ge sont subdivisés électriquement en 36 petits volumes de détection élémentaires ($\sim 10 \text{ cm}^3$) appelés segments. La précision sur la position du point d'interaction (quelques millimètres) est obtenue par l'étude de la forme des signaux électriques issus des segments, analyse rendue possible par la numérisation et le traitement en ligne des impulsions. À partir des coordonnées des points d'interaction ainsi déterminés et des énergies partielles déposées, des logiciels dits de tracking reconstituent le parcours des photons. La complexité de l'ensemble de ces calculs, effectués avant stockage des données, requiert une très importante puissance de calcul en ligne.

La collaboration européenne

Agata regroupe onze pays (Allemagne, Bulgarie, Danemark, Finlande, France, Italie, Pologne, Roumanie, Royaume-Uni, Suède et Turquie) et quarante-cinq laboratoires dont sept français (CSNSM, Ganil, IPHC, IPN Lyon, IPN Orsay, LPSC, CEA-DSM-Dapnia Saclay). Ceux-ci sont fortement impliqués dans le projet par le développement des préamplificateurs des segments, de l'électronique frontale, de logiciels d'analyse de formes d'impulsion [3, 4] et de tracking γ [5, 6], de l'acquisition de données très haut débit, de l'analyse des données et de l'infrastructure d'Agata. Sur les vingt sous-groupes de travail du projet Agata, la responsabilité de huit est assurée par des physiciens français.

En 2005, trois prototypes de cristaux segmentés montés dans leur cryostat de triple cluster ont été testés sous faisceau. L'analyse des données en cours montre qu'une résolution spatiale de 5 mm est un objectif réaliste. À l'automne 2006, l'électronique frontale de numérisation des impulsions, Digitiser, a été testée et validée. Les programmes de tracking γ sont en phase finale d'optimisation.

Un démonstrateur correspondant à 10% d'Agata (6 triples clusters) sera testé à partir de fin 2008 en conditions expérimentales au laboratoire de Legnaro, Italie. Cette phase de validation sera suivie d'une campagne de mesures d'un an avant le transfert au Ganil pour des expériences en couplage avec le spectromètre Vamos.

Photographie de cristaux segmentés montés dans leur cryostat de triple cluster.



- [1] <http://www-w2k.gsi.de/agata/>
 J. Simpson and R. Krücken, *Nuclear Physics News*, 13 n°4 (2003) 15
 [2] A. Korichi *et al.*, *Nucl. Phys. A* 734 (2004) 457
 [3] A. Olariu *et al.*, *IEEE/ACM Transactions on Nuclear Sciences* (2006) 1028
 [4] P. Désesquelles *et al.*, 14th IEEE NPSS Conference Stockholm 2005- Cat. 05EX1084C. (2006).
 [5] I. Piqueras Pacheco *et al.*, *Nucl. Instr. and Meth.* A533(2004)454
 [6] A. Lopez-Martens *et al.*, *NIM A* 533 (2004) 454

LABORATOIRES FRANÇAIS DE LA COLLABORATION

IPNO, IPNL, CSNSM, IPHC, LPSC, DSM/Dapnia, Ganil.

Eurisol : vers une nouvelle génération de faisceaux radioactifs pour l'Europe

Yorrick Blumenfeld

Depuis deux décennies, la possibilité de disposer de faisceaux de noyaux radioactifs a conduit à un renouveau de la structure nucléaire. Néanmoins, la très faible intensité des faisceaux actuels limite leur impact scientifique. Les physiciens réclament donc des faisceaux plus intenses et une palette d'ions plus étendue allant jusqu'aux confins de la carte des noyaux.

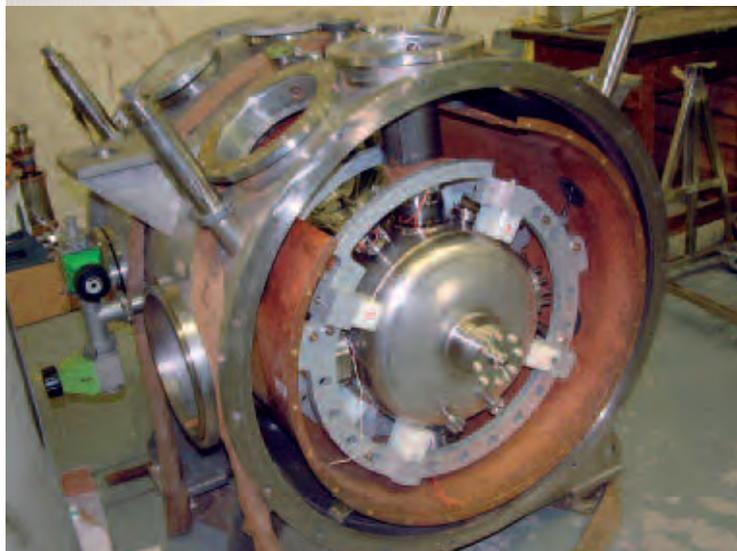
La fragmentation du projectile et la technique dite Isol (Isotope Separation On-Line) sont les deux principales méthodes pour produire des faisceaux radioactifs.

La complémentarité de ces deux méthodes a amené la communauté européenne de physique nucléaire à envisager son avenir autour de deux installations de nouvelle génération, une de fragmentation et une de type Isol.

Le projet Fair, du type fragmentation, a été formellement accepté. Le projet Eurisol, de type Isol, n'en est qu'à ses débuts : de nombreux défis techniques ont été identifiés et rendraient un début de construction prématuré. Les physiciens européens ont donc établi en 2003 une feuille de route comprenant trois volets simultanés :

- l'exploitation scientifique vigoureuse des installations Isol actuelles, en particulier Spiral au Ganil et Isolde au Cern.
- la construction d'installations de « génération intermédiaire » dont la plus ambitieuse est Spiral2,
- l'étude technique détaillée et le prototypage des éléments les plus novateurs et originaux d'Eurisol dans le cadre d'un contrat européen appelé Eurisol Design Study (DS).

Cavité accélératrice « spoke » pour Eurisol dans son cryo-module (réalisation IPN-Orsay dans le cadre de Eurisol DS).



En 2004 un appel a été lancé auprès de tous les laboratoires européens afin qu'ils mettent leurs compétences au service de l'aventure Eurisol. Vingt instituts européens de quatorze pays, dont trois pour la France (IN2P3 – CSNSM, IPNO, LPCC, CENBG et LPSC-, CEA et Ganil) participent au DS. L'Union européenne a accordé un financement de près de 10 M€ sur 4 ans.

Le concept Eurisol est fondé sur un accélérateur linéaire supraconducteur produisant un faisceau de protons d'un GeV d'énergie et de 5 MW de puissance qui bombarde un convertisseur à circulation de mercure afin de produire par spallation une quantité gigantesque de neutrons. Ces neutrons doivent induire, dans des cibles contenant au total plusieurs kg de carbure d'uranium, près de 10^{16} fissions par seconde, soit cent fois plus que Spiral2. Des cibles solides acceptant plus de 100 KW de protons sont aussi prévues. Les noyaux exotiques produits doivent ensuite être ionisés, triés et accélérés jusqu'à plus de 100 MeV par nucléon par un autre accélérateur linéaire supraconducteur, à faibles pertes. On conçoit donc les défis technologiques pour réaliser une telle installation !

Pour commencer à y répondre le DS est structuré en douze tâches, dont quatre sont menées par des laboratoires français. Ces tâches sont regroupées en quatre familles : Accélérateurs, Cibles, Science et Sécurité, ainsi que « bêta-beams » : l'étude conceptuelle d'une installation de faisceaux de neutrinos attenante à Eurisol. Le choix du site d'un tel projet dont le prix total avoisine le milliard d'euros est largement politique. Néanmoins, le DS rassemblera les éléments du choix en étudiant les conséquences techniques et financières de différentes stratégies. Le Ganil est d'ores et déjà candidat pour accueillir cette installation.

La construction d'Eurisol pourrait commencer vers 2013 pour une mise en service autour de 2020. L'avenir à long terme de la physique nucléaire se prépare donc concrètement dès aujourd'hui à travers l'Europe, et en particulier dans les laboratoires de l'IN2P3.



LABORATOIRES FRANÇAIS DE LA COLLABORATION

CENBG, CSNSM, IPNO, LPC-Caen, LPSC, DSM/Dapnia/SPHn, Ganil.



Relations partenaires

92 LA VALORISATION DE LA RECHERCHE À L'IN2P3

PARTENARIATS

95 Les régions

96 Les universités

97 L'Europe communautaire,
6^e programme cadre de recherche et développement

99 L'action internationale

100 INFORMATION SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE (IST)

101 LA COMMUNICATION À L'IN2P3 EN 2004-2006

LA VALORISATION DE LA RECHERCHE À L'IN2P3

Marcel Soberman

La recherche fondamentale en physique subatomique nécessite la mise en œuvre d'une instrumentation à l'extrême limite des technologies. L'IN2P3 a développé et acquis une série de compétences pointues dans cette instrumentation. Ces compétences et savoir-faire font très naturellement l'objet de contrats de transfert de technologie, de collaborations de recherche et de prestations de services avec le monde économique. Dans ce domaine, il ne s'agit pas de concurrencer les industries présentes, mais, au contraire, de les enrichir des technologies et savoir-faire développés par la recherche afin d'améliorer leur compétitivité dans un contexte toujours plus concurrentiel et international.

ORGANISATION DE LA VALORISATION

Pour être efficace, la valorisation de la recherche doit être structurée et organisée; elle doit utiliser des méthodes modernes du « marketing » opérationnel.

Afin de s'inscrire dans cette logique, l'IN2P3 a mis en place une structure de valorisation, animée et pilotée sur le plan national par la direction de l'Institut. Un correspondant de valorisation a été nommé dans chaque laboratoire. Ce réseau a pour mission :

- de détecter les potentialités de valorisation au sein des laboratoires et des projets internationaux auxquels participe l'Institut,
- de veiller à la protection de la propriété intellectuelle,
- de développer les liens avec les entreprises et d'aboutir à des contrats de collaboration de recherche, de transfert de technologie et de savoir-faire, ou de prestations de service,
- de s'insérer dans les/la dynamique régionale et les pôles de compétitivité.

L'Institut veille à la formation de ces correspondants afin d'atteindre le professionnalisme nécessaire. Les correspondants de valorisation travaillent étroitement avec les délégations régionales du CNRS pour tous les aspects relatifs aux contrats, dépôts de brevets et pour la création d'entreprises. Cette politique porte ses fruits : de nombreux dossiers de valorisation ont été ouverts et les revenus sont significatifs.

LES COMPÉTENCES DE L'IN2P3

Les compétences de l'IN2P3 ont fait l'objet d'un travail de recensement et de communication. Chaque unité dispose d'une page web consacrée à la valorisation et mettant en évidence ces compétences.

Les domaines de compétences de l'Institut et leur déclinaison en domaines d'application concernent notamment :

- les faisceaux d'accélérateurs et sources,
- la microélectronique et nanoélectronique,
- la R&D en détecteurs de très haute sensibilité,
- l'informatique,
- la mécanique et l'instrumentation,
- l'aval du cycle électronucléaire et la radiochimie,
- la caractérisation et le traitement des matériaux,
- la dosimétrie des radio-éléments et les mesures sur l'environnement,
- le biomédical.

Quelques-uns de ces points sont développés ci-dessous.

TECHNOLOGIE DES ACCÉLÉRATEURS

Les compétences de l'IN2P3 dans ce domaine sont très anciennes. Ses points forts sont les cavités accélératrices supraconductrices, les coupleurs de puissance pour les cavités, les sources d'ions multichargés et les canons à électrons de grande brillance.

La participation active de l'Institut à la réalisation de plusieurs éléments du futur LHC et au projet Iter pour les faisceaux de neutrons intenses, ainsi que la compétitivité internationale reconnue du Ganil (projet Spiral 2) en sont les meilleures illustrations.

Suivant leur disponibilité, l'IN2P3 met à disposition d'industriels intéressés des lignes de faisceaux de ses accélérateurs, notamment pour la caractérisation de nouveaux matériaux et les traitements de surface :

- au CENBG (Bordeaux) : micro & nano faisceaux de neutrons de 0 à 20 MeV (en 2008) et ions légers,
- à Subatech (Nantes) : rayonnement β pulsé, protons, isotopes pour la médecine,
- au CSNSM (Orsay) : caractérisation non destructive, irradiation, implantation et traitement de couches minces entre 50 eV et 15 MeV,
- au Ganil (Caen) : production d'ions du carbone à l'uranium, sur une large échelle d'énergie (du KeV au GeV).

L'IN2P3 licencie également des sources d'ions et aide les entreprises du secteur dans leur exploitation.



*SuperNanogan, la plus grande source d'ions à haut état de charge ECR (résonance électronique cyclotronique).
© Pantechnik.*

ÉLECTRONIQUE

Le savoir-faire de l'IN2P3 dans le domaine des cartes d'acquisition de données et de la conception de circuits intégrés analogiques-numériques est reconnu. Le dépôt d'un brevet dans le secteur de l'échantillonnage haute fréquence par une équipe du Lal est à la base de plusieurs développements industriels, notamment pour des oscilloscopes.

Le bras actif de la valorisation de l'Institut dans cette matière depuis 1992 est le C4I (Centre de compétences en conception de circuits intégrés), qui a pour vocation de diffuser dans le tissu industriel les savoir-faire des laboratoires et de favoriser l'utilisation de la microélectronique dans les PME-PMI. Plusieurs conceptions de circuits dans les domaines de l'automobile et de l'instrumentation ont ainsi été mises en œuvre.

APPLICATION DES DÉTECTEURS

La physique fondamentale exige le développement de détecteurs de plus en plus sensibles, dans des gammes de fréquence et d'énergie très vastes. L'IN2P3 a déposé plusieurs brevets autour de détecteurs à fibres scintillantes, à base de pixels composites multi fenêtrés, et à effet Compton.

Les applications vont du domaine du tri des déchets au biomédical, avec notamment des développements importants dans la tomographie à émission de positrons.

INFORMATIQUE

En informatique, les chercheurs et ingénieurs de l'IN2P3 ont développé des compétences fortes dans :

- les logiciels d'interaction particules matière, Geant4 et MNCP, pour lesquels il apportent formation et assistance aux entreprises, et participent activement à leur évolution vers la modélisation de ces interactions en biologie,
- l'informatique distribuée et notamment le travail sur les grilles informatiques, en offrant des services auprès de PME en plasturgie par exemple, aussi bien que dans la recherche de nouvelles molécules pour le traitement de maladies.

Grâce aux capacités de la grille de calcul européenne Egee, en seulement un mois, 300 000 médicaments potentiels pour le traitement du virus de la grippe aviaire H5N1 ont pu être ainsi testés en collaboration avec des laboratoires asiatiques. Le but était de trouver de nouveaux inhibiteurs potentiels de la neuraminidase de sous-type N1, enzyme localisée à la surface du virus de la grippe aviaire. En permettant d'identifier à un tel rythme les molécules les plus prometteuses destinées aux essais biologiques, cette infrastructure de grille offre de nouvelles perspectives aux chercheurs pour combattre cette maladie émergente, comme c'est déjà le cas pour la malaria et bientôt pour d'autres maladies tropicales.

ONCOLOGIE

Les équipes de l'IN2P3 sont très actives dans le domaine biomédical, et particulièrement en cancérologie.

Elles apportent leurs compétences en détecteurs de très haute sensibilité nécessaires à la physique fondamentale et leur maîtrise des faisceaux de particules. En matière de diagnostic, on peut ainsi citer



Utilisation de gamma cameras dans la recherche de ganglions atteints.
© IMNC-IN2P3 / CNRS.

des sondes et caméras gamma –actuellement en phase d'essai clinique– permettant de déterminer les ganglions atteints pendant les opérations du cancer du sein.

Pour les traitements, on peut notamment citer l'assistance apportée à la création du CPO (centre de protonthérapie d'Orsay), les études préliminaires du projet Etoile de création d'un centre d'hadronthérapie à Lyon, l'assistance à la réalisation du centre d'hadronthérapie italien (CNAO) et la fourniture d'hodoscopes pour le guidage de ses faisceaux.

Hodoscopes de guidage de faisceaux d'hadronthérapie. © LLR.



ENVIRONNEMENT

Les laboratoires de l'IN2P3 disposent d'équipements et de compétences pointues dans la mesure des rayonnements ionisants de faible activité, dans laquelle ils apportent une qualité de service appréciée. Le CENBG assiste la répression des fraudes dans la caractérisation du vin et de produits agricoles. En liaison avec un laboratoire de mathématiques appliquées, il a développé une compétence reconnue en analyse de la pollution de l'air, notamment dans les locaux fermés.

D'autres laboratoires, comme l'IPN de Lyon et l'IPHC se distinguent dans l'analyse de la qualité des eaux. L'équipe Smart de Subatech, déjà fortement impliquée dans la recherche de radio-éléments, a été retenue suite à un appel d'offres de l'EDF pour le démantèlement de ses centrales nucléaires.

LE CLUB DES PARTENAIRES INDUSTRIELS

L'IN2P3 participe à de nombreux projets européens et internationaux qui exigent une instrumentation de très haut niveau. À cet effet, l'Institut cherche à monter un cercle vertueux avec les principaux fournisseurs du domaine. Une R&D commune constitue le meilleur socle pour concevoir l'outillage permettant de réaliser les expériences futures.

Pour cela, l'IN2P3 a mis en place un « club des partenaires industriels » avec lesquels il entretient des relations privilégiées et a monté avec les plus actifs d'entre eux des structures permettant le suivi étroit de projets communs. On citera notamment le GIS avec Photonis sur les photo-multiplieurs et les détecteurs, celui avec Thalès Electronic Devices sur les coupleurs hyperfréquences, et celui à l'étude avec Sagem sur l'optique et les détecteurs ultra sensibles.

LE PRIX DE LA VALORISATION

Afin de reconnaître la qualité des travaux entrepris, l'IN2P3 décerne chaque année un prix de la valorisation dans les domaines suivants :

- transfert de technologie/dépôt de brevet,
- prestation de service,
- création d'entreprise.

Les critères de sélection retenus pour ces prix sont l'originalité technique, l'aspect novateur, l'intérêt pour la société civile et le chiffre d'affaires obtenu ou potentiel. Ces deux dernières années, ce prix a été remis à l'équipe Labrador de l'IPN Lyon pilotée par Olivier Grosso pour des prestations de service en qualité des eaux, à une équipe du Lapp ayant porté un logiciel de gestion de configuration en environnement complexe vers le domaine industriel, au créateur de la société RC-Lux spécialisée dans la stérilisation des eaux par des lampes à ultraviolet, et à l'équipe du LLR ayant réalisé les vingt-quatre hodoscopes à fibres scintillantes minces lues par caméra CCD pour le profilage des faisceaux d'hadrons du CNAO.

UNE COMPÉTENCE A L'ECHELLE EUROPEENNE

Fort de son expérience, l'IN2P3 participe à la « task force » des états membres du Cern qui étudie les synergies possibles entre ces partenaires afin d'améliorer encore le transfert de technologies, la valorisation de la recherche en physique des particules et physique nucléaire vers le monde économique et la société.

PARTENARIATS – Les régions

Éric Suraud

La création de l'IN2P3 en 1971 a permis de regrouper, dans un institut unique, les forces en physique nucléaire et des particules, au niveau du CNRS et de l'enseignement supérieur.

L'existence d'une telle structure nationale s'avère essentielle dans ce champ disciplinaire particulier où les programmes expérimentaux impliquent des nombres importants de laboratoires répartis sur toute la planète. La structuration nationale représentée par l'IN2P3 permet à la France de participer à ces collaborations de manière concertée et donc particulièrement efficace et reconnue internationalement. Les potentiels scientifique et technologique de l'IN2P3 se trouvent donc regroupés dans un nombre limité de grands laboratoires, répartis sur tout le territoire. Ces laboratoires sont étroitement liés entre eux par le biais de nombreuses collaborations tant au niveau national qu'international. Mais leur implantation locale leur a également permis de tisser des relations étroites avec les tissus scientifiques locaux, notamment au sein de leurs universités. Cette implantation « locale » se manifeste donc par une participation importante à des initiatives scientifiques locales, en étroite relation avec les régions et, de manière plus générales, les collectivités locales.

L'intervention de l'IN2P3 en régions se décline à plusieurs niveaux. Nos laboratoires sont ainsi impliqués dans de nombreux projets assez lourds, comme la réalisation d'accélérateurs à vocation médicale, et ce dans plusieurs régions de France. On peut mentionner notamment la participation de l'IN2P3 dans les grands projets français d'hadronthérapie, portés par la communauté médicale et fortement soutenus par les régions. Mais de nombreux autres projets importants sont également en préparation, notamment en vue d'applications des méthodes nucléaires à divers problèmes sociétaux, comme la recherche biomédicale ou les problèmes d'irradiation. Ces projets entraînent des collaborations fructueuses entre nos laboratoires et des laboratoires de différents champs disciplinaires, et ce sur une base locale. Nombre de ces projets ont d'ailleurs été labellisés dans le CPER 2007-2013 signé entre l'état et les régions dans le courant de l'année 2006. Ces projets CPER ont ainsi permis la mise en place de plusieurs pôles régionaux « thématiques » par exemple autour des problèmes d'irradiation ou des applications du nucléaire, notamment à l'énergie. Par ailleurs les chercheurs de l'IN2P3 sont très impliqués dans les problèmes de diffusion de la culture scientifique. L'IN2P3 possède, au sein de ses laboratoires un réseau de correspondants qui travaillent sur ces questions, notamment en direction des jeunes, et plus particulièrement des lycéens. Cette dynamique allie de facto des équipes de chercheurs et d'enseignants issus de différents horizons travaillant ensemble pour mettre en place des actions spécifiques. L'IN2P3 allie donc à sa composante nationale forte une composante locale très dynamique en relation étroite avec des partenaires scientifiques d'origines variées.



PARTENARIATS – Les Universités

Éric Suraud

Depuis sa création en 1971, l'IN2P3 entretient tout naturellement des liens très forts avec les Universités et de manière plus générale l'enseignement. Un des objectifs de la création de l'Institut était d'ailleurs précisément de consolider l'ensemble des moyens du CNRS et de l'enseignement supérieur pour la physique subatomique et ses applications. Ce lien historique a été encore renforcé par la création des UMR à partir du milieu des années quatre-vingt-dix. À l'exception de quelques unités à vocation très spécifique, tous les laboratoires de l'IN2P3, sont aujourd'hui des UMR, dont le fonctionnement suit les procédures élaborées par le CNRS, le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et les Universités et grandes Écoles. Les personnels enseignants chercheurs des unités de l'IN2P3 participent bien entendu à tous les cycles de formation au sein de leurs Universités et Écoles de rattachement. Outre les personnels enseignants chercheurs, il faut noter que de nombreux chercheurs et personnels techniques sont également impliqués dans des activités de formation.

Mais les relations entre Universités et IN2P3 ne se réduisent pas, loin s'en faut, aux seules actions de formation. L'IN2P3 intervient en effet en lien étroit avec les Universités, au niveau d'opérations de recherche à caractère régional. Certaines de ces opérations ont été concrétisées au niveau national par la signature de contrats au sein du CPER 2007-2013. D'autres correspondent à des projets de moindre envergure mais à fort impact régional. Ainsi plusieurs opérations ont permis la construction d'accélérateurs, notamment à vocation biomédicale et, de manière plus générale, tournées vers des applications non nucléaires. Ces opérations associent, en partenariat étroit, tant au niveau de la construction que du fonctionnement, l'IN2P3 et certaines Universités de province ou de la région parisienne. Elles s'inscrivent d'ailleurs le plus souvent dans une dynamique plus large de partenariat avec les régions, et plus généralement les collectivités locales.



*Installation de l'APC sur le site de Paris 7.
© Daniel Vignaud.*

PARTENARIATS – L'Europe communautaire

6^e programme cadre de recherche et développement

Éliane Perret, Cédric Bosaro

L'institut s'est fortement impliqué dans le 6^e programme et a pleinement réussi son insertion dans l'Espace européen de la Recherche. Sur la période 2004-2006, sa participation concerne la plupart des champs d'activité de l'Institut, qui a su investir et tirer profit des différents instruments proposés par la Commission européenne, en contribuant à la réalisation des objectifs communautaires :

- structurer l'Espace européen de la Recherche, notamment par le biais de projets utilisant les infrastructures de recherche à travers l'Europe,
 - coordonner la Recherche européenne, tant au niveau du travail des chercheurs que des agences de financement,
 - favoriser les échanges de personnels et la mobilité des chercheurs grâce aux bourses et réseaux Marie Curie.
- La contribution attendue de la Commission européenne aux activités de l'IN2P3 s'élève au total à quelque vingt millions d'euros pour les projets signés entre 2004 et 2006 (dont certains ne se termineront qu'à la fin de la décennie).

LA PARTICIPATION DE L'IN2P3 AUX PROJETS RELATIFS AUX INFRASTRUCTURES DE RECHERCHE EUROPÉENNES

Les initiatives d'infrastructures intégrées (I3) et les Design Studies

L'instrument appelé « I3 » met l'accent sur la mutualisation d'infrastructures, notamment en termes d'accès transnational (sauf exception), tout en offrant la possibilité à une ou plusieurs communautés de collaborer aussi autour d'activités communes de recherche concernant ces infrastructures, parallèlement au fait de participer à une mise en réseaux des chercheurs sur les thématiques choisies.

Les *Design Studies* permettent d'intervenir dans les phases amont des projets d'infrastructures, bien que la Commission européenne ne finance pas par ce biais la construction elle-même.

En physique des hautes énergies, la Commission finance le projet *I3 Eudet* (R&D des détecteurs) qui prévoit entre autres des activités de recherche conjointes sur les *Test beam infrastructures*, *Infrastructures for tracking detectors*, *infrastructures for calorimeters* dans lesquelles l'Institut est impliqué, pour préparer l'ILC.

À noter également la *Design Study* « towards a global TeV linear Collider », *DS EuroTeV*, à laquelle deux laboratoires IN2P3 participent.

Les grilles de calcul ont été soutenues fortement par l'Union européenne, au titre notamment des projets *I3 Egee* (1 puis 2). Coordonnés par le Cern, ces projets sont pilotés administrativement par l'IN2P3 pour l'ensemble des unités CNRS participantes avec une contribution européenne totale d'environ six millions d'euros sur quatre ans.

La communauté des accélérateurs participe au projet *I3 Care*, qui finance pour plus de deux millions d'euros les unités du CNRS au travers d'activités telles que : *Electron Linear Accelerator Network* ; *Beam for European Neutrino Experiments* ; *Superconducting Radio Frequency* ; *Photo Injector* ; ou bien encore *High Intensity Pulsed Proton Injector*, etc.

En physique nucléaire, les unités IN2P3 participent aux activités du projet *I3 Eurons*, coordonné scientifiquement par un chercheur de l'IN2P3 et administrativement par GSI, et travaillent entre autres à la mise en réseau Gammapool, aux recherches conjointes sur *Agata*, *Actar*, *Charge breeding*, *EXL*, *Intag*, *Isibhi*, *Laser et Trapspec*. Le laboratoire national commun CEA-CNRS Ganil fait partie du réseau des dix installations européennes de physique nucléaire qui financent partiellement l'accueil de chercheurs à travers le programme Access de l'I3 Eurons.

Enfin, le Ganil coordonne la *Design study Eurisol* (EUROpean Isotope Separation On-Line Radioactive Ion Beam Facility) dont un chercheur de l'IN2P3 est le responsable et à laquelle 10 laboratoires de l'IN2P3 participent activement .

En physique hadronique, le projet *I3 HP* coordonné par l'INFN, finance les activités de l'IN2P3 touchant les sous-projets tels que *Dimuon Physics in heavy-ion collisions at LHC* ; *Strongly Interacting*

Matter in Ultrarelativistic Heavy-Ion Collision; Fast Compact EM Calorimeters; Development of High Speed Gas Detectors with Integrated Associated Electronics; Generalised Parton Distributions; et Polarized Nucleon Targets for Europe.

En astroparticules, le projet *I3 Ilias*, initié avec l'IN2P3 et coordonné par le CEA, finance pour un million d'euros le CNRS dans les recherches relatives aux programmes suivants: les *Low Background Techniques For Deep Underground Science; Integrated Double β Decay; Study on Thermal Noise Reduction in GW Detectors*; ainsi que des réseaux (*Deep Underground Science Laboratories; Direct Dark Matter Detection; Search on Double β Decay; et Theoretical Astroparticle Physics*). Ilias offre par ailleurs un accès transnational au Laboratoire Souterrain de Modane.

Le projet *I3 AugerAccess* a pour objectif d'intégrer l'observatoire Auger et la recherche européenne. La Design Study *KM3net* finance par ailleurs les travaux préliminaires sur ce grand projet pour lequel une nouvelle proposition a été déposée dans le cadre du prochain Programme Cadre (7^e PCRD).

LES PROJETS DE RECHERCHE, RÉSEAUX D'EXCELLENCE, ET LES ACTIONS DE COORDINATION ET DE SOUTIEN SPÉCIFIQUE

En astroparticules, l'Eranet Aspera se donne pour objet de coordonner les agences de financement et les ministères dans le domaine des astroparticules en Europe. Ce projet que coordonne l'IN2P3 au niveau européen, joue un rôle clef pour proposer un plan d'action commun de mise en place de nouvelles infrastructures pour les astroparticules avec un alignement possible d'une partie des ressources financières des diverses agences.

Dans le domaine interdisciplinaire (santé), le LPC Clermont participe aux actions de soutien spécifique *BioInfoGrid* et *Share*, cette dernière étant même une coordination IN2P3 dans les domaines des grilles et de la santé. Le LPC Caen participe également à l'*IP Maestro* (« radiation oncology »).

Même s'ils ne sont pas pilotés par l'IN2P3, certains laboratoires IN2P3 participent à des réseaux d'excellence, tels *Embrace*, ou encore *Actinet*.

LE PROGRAMME EURATOM

Dans le cadre de l'énergie nucléaire (Euratom), le Projet *IP Eurotrans* (EUROpean Research Programme for the TRANsmutation of High Level Nuclear Waste in an Accelerator Driven System) permet un large financement (plus de deux millions d'euros) des activités de recherche sur le domaine en Europe. En outre, le programme Euratom finance depuis novembre 2006 le projet *I3 Efnudat* (European Facilities for Nuclear Data Measurements), qui offre de larges accès transnationaux à neuf infrastructures à travers l'Europe. Cette action est coordonnée par l'IN2P3 en direct avec la Commission européenne, où il joue donc un rôle central.

Par ailleurs, des actions de coordination permettent de mettre en relation les équipes autour de projets dans de nombreux domaines: *SNF TP* (Plateforme de technologie pour la fission nucléaire durable), *Alisia* (sur les sels fondus) ou encore *Pateros* (Partitioning and Transmutation European Roadmap for Sustainable nuclear energy).

LES ACTIONS DE RESSOURCES HUMAINES (MARIE CURIE, ET ÉCHANGES FINANCÉS PAR L'UE)

Ressources importantes pour les laboratoires, les bourses *Marie Curie* (plus d'une dizaine pour le FP6) ont permis de financer la venue ou le retour en France d'agents sur des projets de deux ans en moyenne, et dont a pu bénéficier la plupart des laboratoires de l'Institut. Le CENBG est en outre inséré dans le réseau européen de formation à la recherche (RTN) *Cellion*.

Mis à part le 6^e PCRD, l'IN2P3 a participé au projet *Helen* (programme Alpha de la Commission européenne). Ce projet permet la venue de boursiers d'Amérique latine, et l'envoi d'agents de nos laboratoires en Amérique latine.

Enfin, 2006 a été l'année de la préparation du 7^e programme cadre, avec le dépôt de propositions très importantes (citons, entre beaucoup d'autres, la phase préparatoire de *Spiral 2*, de *KM3*, ou un Eranet pour les infrastructures de physique nucléaire, etc.).

PARTENARIATS – L'action internationale

Éliane Perret

Au cours de la période 2004-2006, l'IN2P3 a réactualisé ses accords de coopération avec la Pologne et l'Espagne et accompagné les enjeux scientifiques du Département en renforçant son action internationale sur les priorités de l'Institut.

L'accord de coopération scientifique signé le 3 février 2006 avec le ministère espagnol de l'Éducation et de la Science (MEC) d'une part, et le nouvel accord signé à Varsovie le 15 octobre 2006 par le Directeur général du CNRS, le Directeur de l'IN2P3 et l'*Instytut Fizyki Jadrowej PAN* représentant le consortium des institutions polonaises de recherche créé sous l'impulsion de Krzysztof Kurzydłowski, vice-ministre de la Recherche en Pologne d'autre part, redéfinissent les nouvelles modalités de financement de la science entre ces pays et la priorité donnée aux actions de coopération structurantes.

Lors de la réunion du Comité mixte du 24 octobre 2005 avec le JINR Dubna, l'IN2P3-CNRS, le Dapnia-CEA et le JINR ont créé le « Joint underground laboratory in Europe: Joule », dédié à la recherche sur les propriétés des neutrinos, de la matière noire et des éléments super lourds, qui rassemble les équipes du Laboratoire souterrain de Modane (CNRS/CEA) et celles du *Dshelopov laboratory of nuclear problems* du JINR Dubna (en Russie), dont les experts viennent notamment à Modane pour travailler sur les instruments et détecteurs. Du côté français, la collaboration se concrétise par la participation du JINR aux recherches du Ganil sur les noyaux exotiques et au consortium européen qui se crée autour de Spiral2, projet d'élargissement de l'équipement Spiral, le système de production d'ions radioactifs accélérés en ligne du Ganil. Cet événement fait suite à 30 ans de coopération dans le domaine de la physique nucléaire et de la physique des hautes énergies.

La signature du nouvel accord signé à Varsovie a également permis d'officialiser la participation de l'Université technologique de Varsovie au Groupement de recherche européen « Ions lourds aux énergies ultra relativistes » (Eurea) qui avait été validé par le JINR Dubna le jour de la création du laboratoire « Joule ». Ce groupement réunit des équipes françaises, polonaises, russes et ukrainiennes collaborant depuis plusieurs années dans le domaine de la physique des ions lourds aux énergies ultra-relativistes. L'objectif du réseau est de focaliser l'effort de ces équipes sur l'analyse des données de l'expérience Star auprès du collisionneur RHIC aux États-Unis, préparer l'expérience Alice au LHC du Cern ainsi que sur le programme de recherche et développement autour des détecteurs de haute technologie.

En physique des particules, l'action internationale de l'Institut se focalise sur les activités vers le Cern via le projet LHC et le 16 octobre 2006, une convention inter-organismes CNRS/IN2P3 – CEA/DSM – MAE, qui s'inscrit dans le cadre de la politique de coopération scientifique visant à favoriser l'attractivité de la France, la mobilité des chercheurs, le développement des échanges et le montage de partenariats, soutient une action autour de l'exploitation au Cern du « Large Hadron Collider – le LHC ». Le programme mis en place a pour but de faire de la France une plaque tournante de l'exploitation du LHC en Europe en attirant les meilleurs physiciens et équipes –notamment des États-Unis et du Japon– qui participeront au LHC, et en favorisant la naissance de nouvelles coopérations universitaires et de recherche.

L'IN2P3 poursuit également le renforcement et la consolidation de ses actions sur le continent asiatique, notamment avec la Chine, la Corée, le Japon, Taiwan et le Vietnam.

Le Japon est de loin la priorité principale et la création le 29 mai 2006 d'un Laboratoire international associé CNRS/IN2P3 – CEA/DSM – KEK a permis de développer des relations fortes avec un centre japonais majeur de recherche en physique des accélérateurs et calcul scientifique, de même que le projet de création d'un autre Laboratoire international associé avec le Riken permettra d'impulser de nouvelles collaborations en physique nucléaire, notamment autour de la construction de Spiral2.

D'autres Laboratoires internationaux associés sont en cours de négociation, en particulier avec la Chine et prochainement avec la Corée. La collaboration franco-chinoise en physique des particules,





astroparticules et cosmologie concerne aujourd'hui plusieurs dizaines de scientifiques dans chaque pays. La plupart des Laboratoires de physique des particules de l'IN2P3 participent à la démarche avec la Chine et le Laboratoire de recherches sur les lois fondamentales de l'Univers du CEA, le Dapnia, a également rejoint cette initiative. La création du LIA commence sous les meilleurs auspices car, outre qu'elle est une action concertée de tous les acteurs français de physique des hautes énergies, elle permet de regrouper symétriquement les principaux acteurs du domaine en Chine, de l'Académie des sciences comme des Universités.

La Corée est également perçue comme un partenaire essentiel dans le domaine de la physique des particules et un LIA est en cours de discussion à haut niveau, avec le soutien très actif de l'ambassade de France.

En astroparticule le Laboratoire européen associé relatif à l'expérience Hess, a fait l'objet d'un avenant de renouvellement et d'adhésion qui prend en compte le changement des organismes de tutelle lié à la création du Laboratoire APC et définit le cadre du projet de groupement de recherche international en cours de finalisation avec la Namibie et l'Afrique du Sud. Un autre groupement de recherche international intitulé LEO « Lan for Extreme energy Observations » a été créé en 2005 pour focaliser l'effort des équipes engagées depuis de nombreuses années dans la construction en Argentine de l'Observatoire Pierre Auger sur l'analyse des données de l'expérience Auger.



© CNRS.

LA DIMENSION INTERNATIONALE DE L'IN2P3 EN 2006

52 chercheurs étrangers (pos-docs ou confirmés) : 190 mois d'accueil = 460 000 €

6 conventions bilatérales d'échanges, 23 PICS, 6 GDRE/GDRI, 6 LEA/LIA = 660 000 €

INFORMATION SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE (IST)

Dominique Jarroux-Déclais

Au cours des années 2005-2006, l'IN2P3 a poursuivi et renforcé les actions de mutualisation de l'activité en IST. Pour ce faire, une cellule de documentation centralisée (la cellule eDOC) a été créée, avec pour mission la coordination des activités du réseau Démocrite (réseau des documentalistes des laboratoires) et le développement des projets dans les domaines du Libre Accès et de la bibliométrie pour la fourniture d'indicateurs spécialisés.

UNE POLITIQUE DE PUBLICATIONS AXÉE SUR LE LIBRE ACCÈS

ARCHIVES OUVERTES

Des actions de sensibilisation et d'information dans les laboratoires ont permis un enrichissement important de la base HAL-IN2P3, répertoire institutionnel de l'archive ouverte multidisciplinaire HAL (développée au CCSD), interconnectée à la base ArXiv. Les dépôts sont effectués par les documentalistes des laboratoires, dont c'est un rôle fondamental, ou directement par les auteurs. La cellule eDOC, outre son rôle de valideur technique des dépôts et d'assistance aux déposants, travaille en étroite collaboration avec le CCSD sur les développements et les évolutions de la base.

PUBLICATIONS EN LIBRE ACCÈS

Fin 2006, l'IN2P3 s'est engagé auprès du Cern et des grands organismes de recherche européens dans un projet de publication en libre accès (Open Access Publishing), le projet Scoap3 (Sponsoring Consortium for Open Access Publishing in Particle Physics). Ce projet a pour but de proposer un nouveau modèle de publication, basé sur le libre accès aux articles publiés dans les revues à comité de lecture. Les articles, financés par les organismes de tutelles des auteurs au prorata de leur nombre dans les articles concernés, seront accessibles librement et gratuitement.

LA COMMUNICATION À L'IN2P3 EN 2004-2006

Alain de Bellefon

La période recouvrant les deux années 2005 et 2006 aura été une période mouvementée au CNRS et, en particulier, dans le secteur de la communication, qu'elle soit scientifique ou institutionnelle. Cela mérite donc un certain nombre de mises au point.



© Pascal Dargent.

En 2005 la nouvelle direction de la communication du CNRS s'est dotée d'un pôle de communication scientifique comprenant principalement un représentant « chercheur » par département et institut. Celui-ci ou celle-ci devient dès lors le responsable de la communication de son département ou de son institut auprès du directeur scientifique concerné. Pour l'IN2P3 cela s'est traduit par l'arrivée d'Alain de Bellefon chercheur à l'APC et le départ de Dominique Armand qui a rejoint la communication de l'Insu. Cette nouvelle structure mise en place a donc au moins pour mérite de rendre la communication de l'Institut plus proche de celles des autres départements du CNRS, dans la mesure où le pôle se réunit régulièrement. À côté de ce changement, nous avons aussi vu apparaître un Institut des sciences de la communication du CNRS (ISCC, <http://www.iscc.fr/>) lié à la communication de l'IN2P3 par le biais de son comité de pilotage. Le dernier changement sans doute le plus important pour le fonctionnement de la communication à l'IN2P3 est celui qui a consisté en l'embauche de responsables de communication pour les deux thématiques « Physique des particules » d'une part et « Astroparticule et neutrino » d'autre part, sur lesquels s'appuie désormais une partie de la communication de l'IN2P3.

Ces deux dernières années, sur fond de réforme du CNRS et des Universités, la communication scientifique et institutionnelle aura donc bénéficié d'un nouvel élan qu'il va rester à transformer de manière visible. On peut sans doute déjà dire que pour le démarrage du LHC au Cern le rôle de la responsable de communication « Physique des particules » s'est révélé important puisqu'elle a assuré la coordination d'une exposition sur le LHC conçue avec tous nos laboratoires concernés. Malgré ces apports et changements, la communication à l'IN2P3 a gardé ses mêmes priorités qui sont d'assurer le suivi des communiqués de presse pour le CNRS, de maintenir le contact avec les lycées à travers les conférences « Nepal » ou assimilées et de poursuivre les liens instaurés avec chaque laboratoire à travers les correspondants de communication. Elle s'assure également de mener ses actions en bonne intelligence avec les services de communication extérieurs, que ce soit avec le CEA et le Dapnia en France ou plus généralement avec les instituts mondiaux de notre discipline dans les projets qui le nécessitent, notamment à travers les collaborations InterAction ou Aspera.

BIBLIOMÉTRIE

La nécessité de fournir aux organismes de tutelle des indicateurs de production scientifique, le développement des classements internationaux de la recherche mondiale, ont mené l'IN2P3 à démarrer une réflexion sur la production de ces indicateurs, tant dans un cadre international que sur un plan plus personnalisé à l'échelle de l'université (plan quadriennal). Une double démarche s'est mise en place avec :

- Les premières études réalisées sur *Web of Science*®
- Une collaboration avec l'INIST, pour la mise en place d'un outil personnalisé « Serv'IST IN2P3 », permettant la fourniture d'indicateurs non disponibles sur *Web of Science*®

MIGRATION DE LA BASE CENTRALISÉE DES FONDS DOCUMENTAIRES DES LABORATOIRES

Cette base, dont l'existence remonte à plusieurs décennies est hébergée au CCIN2P3. Riche de 52 000 documents, elle a été migrée sur un Système Intégré de Gestion de Bibliothèque: « Koha », choisi dans le monde des logiciels « libres ». Cette migration doit permettre aux responsables des bibliothèques une gestion plus souple et plus complète des fonds ainsi que la mise à disposition des lecteurs de nouvelles fonctionnalités personnalisées.



Programmes et structures



104 LES PROGRAMMES

108 LES CHIFFRES

109 LA DIRECTION

110 LES LABORATOIRES

LES PROGRAMMES

Programmes

Détecteurs

Accélérateurs
ou sites

Description

PHYSIQUE DES PARTICULES : Le Modèle standard et au-delà

Le boson de higgs
et les particules supersymétriquesATLAS
CMS
D0
ILD/SID
H1LHC
LHC
FNAL
ILC
DESYRecherche du Higgs et de nouvelles physiques
Recherche du Higgs et de nouvelles physiques
Recherche du Higgs et de nouvelles physiques
Recherche du Higgs et de nouvelles physiques
Modèle standard et nouvelles physiques

Les violations de symétries

BABAR
LHCbSLAC
LHCViolation de CP et physique du B
Violation de CP et physique du B

Programmes

Projets

Accélérateurs
Sites, Détecteurs

Description

PHYSIQUE NUCLÉAIRE ET HADRONIQUE

AGATA

LEGNARO (Italie),
GSI (Allemagne),
GANIL (France)Ensemble 4pi de Ge segmentes (Européen). 10 pays, 20 laboratoires.
Phase démonstrateur fini 2009, construction 1pi 2008-2012STRUCTURE
ET DYNAMIQUE
NUCLÉAIRESPIRAL2
nouveaux instruments

S3

Super Spectromètre Séparateur de grande acceptance
et de haute sélectivité (coll. internationale)Formes et symétries
dans les noyaux

DESIR

Installation Isol à basse énergie auprès de Spiral2

Collisions nucléaires

GASPARD, FAZIA

Détecteur 4Pi particules chargées (coll. européenne)

Structure des noyaux
loin de la stabilité

GANIL-SPIRAL1

PARIS

Calorimètre 4PI pour gamma de hautes énergies (coll. internationale)

N-TOF

Ligne de production de neutron par temps de vol auprès de Spiral2

Astrophysique
nucléaire

SPIRAL1

Installation d'accueil de la physique des noyaux exotiques produits
par la méthode Isol et post-accelérées à Ganil

VAMOS

Spectromètre magnétique pour faisceaux Spiral1 avec Ganil

EXO GAM2

Multi-détecteurs Gamma à localisation de haute résolution

MAYA-ACTAR

Détecteurs gazeux pour mesures réactions avec faisceaux radioactifs
Spiral1 (RIB)

LIRAT

Ligne d'ions radioactifs de basse énergie avec Ganil

MUST2

Multi-détecteurs à particules légères chargées pour les réactions
induites par faisceaux secondaires « exotiques »

INDRA-AZ4PI

Multi-détecteurs à particules chargées pour les réactions induites
par faisceaux d'ions lourds à l'énergie de Fermi

SPEG, LISE

Spectromètre et séparateur de fragment pour RIB avec Ganil

ALTO-TAMDEM
PHYSIQUE

IPN ORSAY

Physique de noyaux riches en neutrons produits par photofission
d'une cible d'uranium. Installation Isol de basse énergieEXOTIQUES EUROPE
USA JAPON

ISOLDE

Installation exp avec Cern pour RIB (Radioactive Ion Beams)

RIKEN-RIBF

Installation de RIB par fragmentation au Japon

MSU/NSCL

Installation RIB Par fragmentation aux USA

GSI-FRS

Spectromètre de fragments (RIB) avec GSI

HAUTS-SPIN
ET NOYAUX LOURDS
GABRIELADUBNA,
Jyväskylä, LegnaroÉtudes noyaux très lourds à Dubna projet Gabriela.
Études des transférmiu à Jyväskylä, études des formes extrêmes,
de la production de noyaux exotiques par deep-inelastic à Legnaro

DEMON

Multidétecteurs neutrons

Programmes

Projets

Description

Programmes et structures

| | | |
|-----------------------|----------------------|---|
| PLASMA QUARK-GLUON | ALICE | LHC - Collisions Pb-Pb 5 TeV, 4p Detector |
| | PHENIX | RHIC - Collisions Au-Au 200GeV, 4p Detector |
| | QUARKS GLUONS PLASMA | Recherche du plasma de quarks et de gluons en collisions d'ions lourds aux énergies ultra-relativistes |
| | STAR | RHIC - Collisions Au-Au 200GeV, 4p Detector |
| STRUCTURE DES HADRONS | JLAB | Calorimètre AT JLAB (HALL B) USA, Détecteur AT JLAB, USA, NUCLEON |
| | GSI - Fair | Physique des dileptons et effets de milieu Physique anti-protons à FAIR (GSI) |
| | PHYSIQUE HADRONIQUE | Cible polarisée HD et Détecteur avec ESRF (Grenoble) Cible à hydrogène polarisé Calorimètre détection pour MAMI à MAINZ (Allemagne) |

Programmes

Projets

Sites

Description

NEUTRINOS ET ASTROPARTICULE

| | | | |
|--|----------------------|------------|---|
| Les neutrinos | DOUBLE CHOOZ | CHOOZ | Neutrinos auprès des réacteurs Masse du neutrino Oscillation neutrino Cern Oscillation neutrino au Japon JPARC |
| | NEMO | LSM | |
| | OPERA | GRAN-SASSO | |
| | T2K | Japon | |
| Matière noire et cosmologie | EDELWEISS | LSM | Détection matière noire non baryonique Fond diffus cosmologique Énergie noire, projet de construction d'un démonstrateur de spectrographe |
| | PLANCK | Espace | |
| | SNAP-JDEM | Espace | |
| | SUPERNOVAE/SNIF/SNLS | Hawaii | SNIF Supernovae proches SNLS Supernovae au CFHT, perspectives supernovae |
| Rayonnements cosmiques | AMS | Espace | Antimatière Astronomie neutrino, télescope sous marin Rayons cosmiques de tres haute énergie Détection radio des rayons cosmiques Détection rayons cosmiques avec ballon Gamma de haute énergie Télescope gamma haute énergie |
| | ANTARES | Toulon | |
| | AUGER | Argentine | |
| | CODALEMA | Nançay | |
| | CREAM II | Espace | |
| | GLAST | Espace | |
| HESS 1 et 2 | Namibie | | |
| Ondes gravitationnelles | LISA | Espace | Détection ondes gravitationnelles, espace Détection ondes gravitationnelles, sol |
| | VIRGO | Pise | |
| Astrophysique nucléaire et mesures de précisions | MICROMÉTÉORITES | Pôle Sud | Astrophysique nucléaire, origine des éléments Moment dipolaire du neutron Études de gravitation avec des neutrons froids |
| | n-EDM | | |
| | GRANIT | | |
| Programmes européens ou autres de l'astroparticule | ILIAS | | Astroparticule Eranet astroparticule |
| | ASPERA | | |



Programmes

Projets

Description

INSTRUMENTATION ET TECHNOLOGIE

Microélectronique
DéTECTEURS

BOLOMAT
CMOS

Building Blocks 0,35micron
Bolomètres
Matrices de détecteurs CMOS

Programmes

Accélérateurs
ou sites

Description

ACCÉLÉRATEURS

Accélérateurs en exploitation ou montage

JANNUS
VAN DE GRAF
TANDEM
ALTO
GANIL, Spiral₁
ARRONAX

CSNSM
IPNL
IPNO
IPNO (accélérateur linéaire auprès du Tandem d'Orsay)

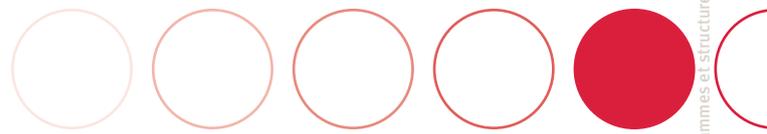
Subatech, (accélérateur pour la recherche en radiochimie et en oncologie à Nantes-Atlantique)

R & D accélérateurs

CLIC
CARE
EURISOL
EUROTEV
IPHI
ILC (TTF)
EUROTRANS
LHC
SUPRATECH

R & D pour futur collisionneur e⁺ e⁻ multi TeV
R & D pour futur accélérateur
Design study RIB du futur
Design study pour futur collisionneur e⁺ e⁻ (ILC, CLIC)
Injecteur de protons de haute intensité
R & D pour le prochain collisionneur linéaire e⁺ e⁻

Collisionneur proton du CERN (14 TeV)
Plate-forme cryogénique



Programmes

Projets

Accélérateurs ou sites

Laboratoires IN2P3

Collaboration

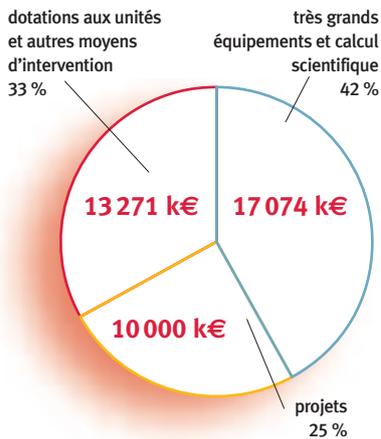
RECHERCHES INTERDISCIPLINAIRES

| | | | | |
|---|---|--|--|--|
| L'AVAL DU CYCLE ÉLECTRONUCLÉAIRE Recherche sur l'aval du cycle | PEREN Spallation Données nucléaires dont N-TOF Megapie | Grenoble GSI Cern, Tandem, Geel PSI | LPSC, CENBG IPNO IPHC, IPNO, CENBG, LPC Caen, Subatech Subatech, IPHC, LPC Caen CSNSM | GDR Gedépeon CEA/Dapnia CEA/Dapnia, GDR Gedépeon IRMM Geel (Belgique) |
| Migration des déchets nucléaires dans les matériaux solides et liquides | | ARRONAX | IPNO, IPHC, Subatech | GDR Practis, CNRS (IN2P3+SC), CEA, ANDRA, EDF |
| INTERACTIONS FAISCEAUX-MATIÈRE Caractérisation, modification des matériaux, matériaux sous irradiation | | AIFIRA ALTO-Tandem ANAFIRE ARAMIS, IRMA | CENBG IPNO | GDR MATINEX, GDR PAMIR, GIS JANNUS |
| Interaction agrégats- matière condensée ou en phase gazeuse | | ALTO-Tandem ANAFIRE, DIAM | IPNO IPNL | ENVIRHONALP |
| Interactions ions lourds | | GANIL GSI | | CIMAP, ENSI-IN2P3-DSM, CEA-DAM |
| INTERFACE AVEC LA BIOLOGIE ET LA MÉDECINE Imagerie Clinique | | | IMNC, IPHC | Inserm, CEA/SHFJ AP-HP CHRU Strasbourg |
| Imagerie du petit animal | Amissa, ClearPET | | IPHC, CPPM | Inserm IBD Marseille |
| Détecteurs pour l'imagerie médicale | | | IMNC, IPHC, IPNL, LPSC, LPC Clermont, CPPM, Subatech | CEA/SHFJ, CEA/LETI |
| Détecteurs pour la dosimétrie | | GANIL | LPC-Caen,IPHC | IRSN |
| Radiotraceurs | | | Subatech | |
| Irradiation cellulaire | | AIFIRA GANIL | CENBG LPC-Clermont, IPNL | CEA, Inserm, IRSN |
| Biomatériaux | | AIFIRA | LPC-Clermont | Inserm |
| Simulation pour la biologie | GATE | CCIN2P3 AuverGrid | LPC-Clermont, IPNL, CENBG CPPM, LPC-Clermont, IPHC IMNC, CCIN2P3 LPC-Clermont | GDR MI2B, ESA, IRSN, Inserm Europe, Japon Europe, Corée |

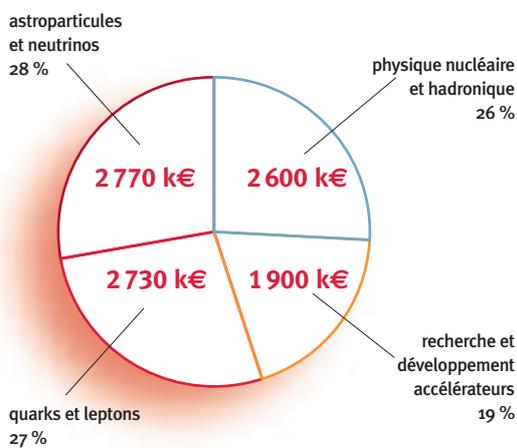
LES CHIFFRES

BUDGET 2006

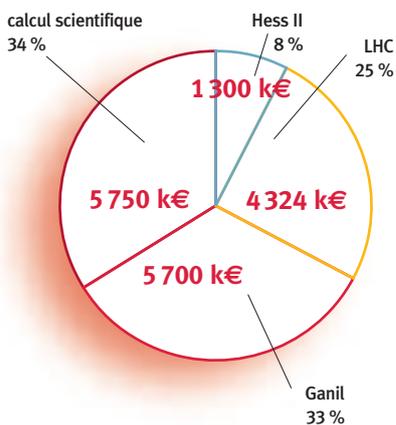
Autorisations d'engagement



Projets

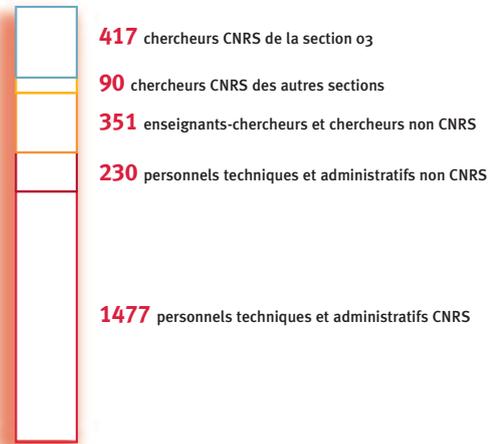


Très grands équipements et calcul scientifique

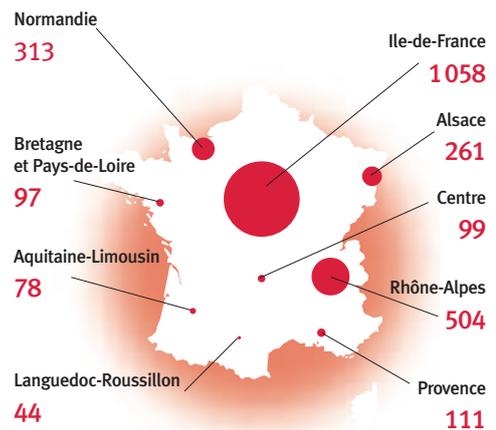


LE PERSONNEL EN 2006

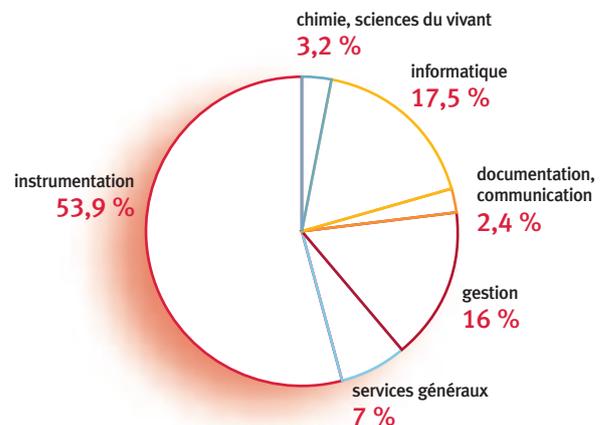
Effectifs totaux des personnels permanents des laboratoires de l'IN2P3 : **2 565**



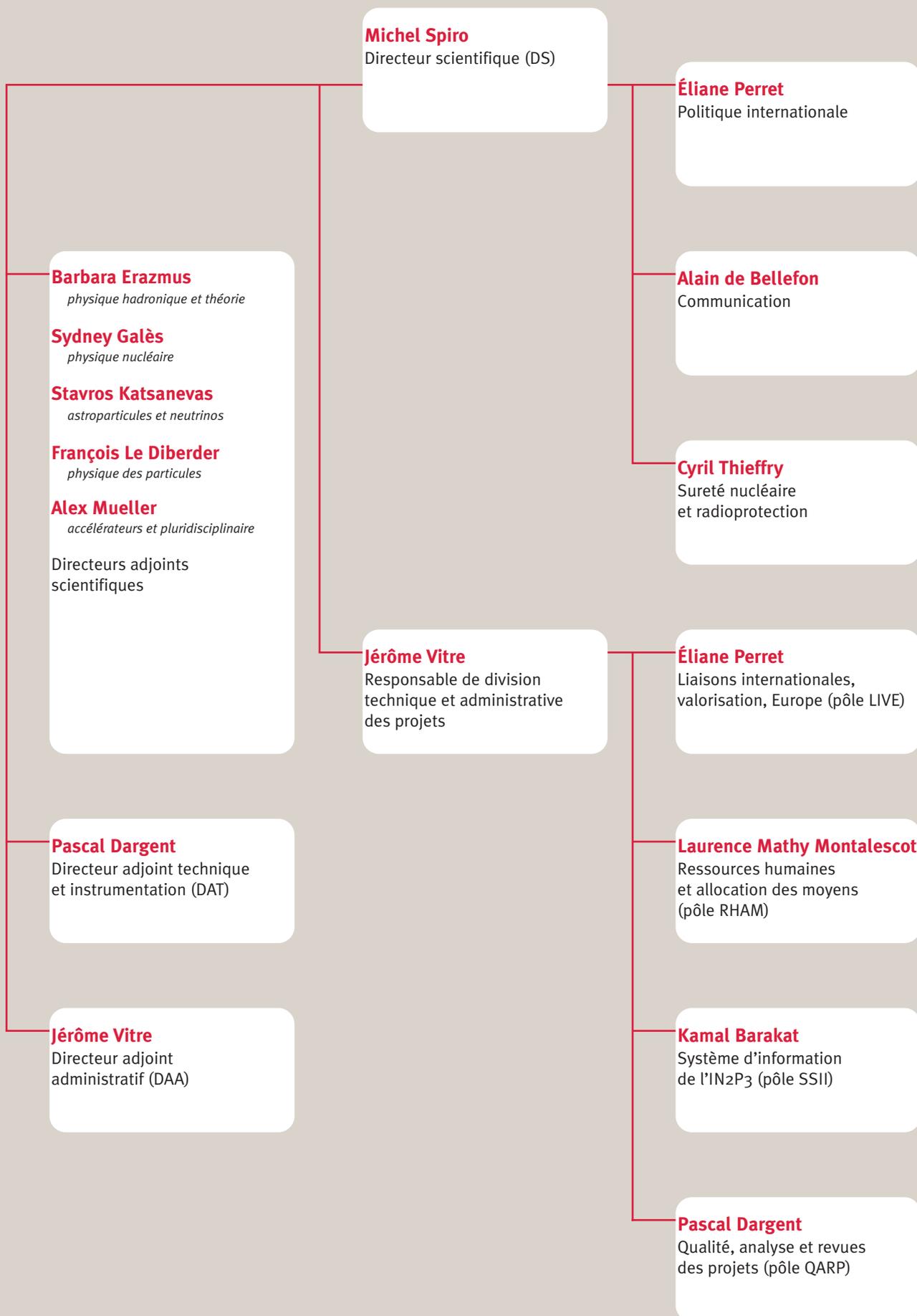
Répartition par régions (effectif de 2 565 personnes)



Répartition des personnels ITA, TPN, et CDD dans les laboratoires de l'IN2P3 par branches d'activité professionnelle (effectif de 1 477 personnes)



LA DIRECTION



LES LABORATOIRES

UMR7164 Astroparticule et Cosmologie - APC

Université Paris-VII
bâtiment Condorcet
10, rue Alice-Domon-et-Léonie-
Duquet
75205 Paris Cedex 13
Tél. : 01 57 27 60 99
Fax : 01 57 27 60 71
Directeur : **Pierre Binetruy**

EFFECTIFS 28 chercheur CNRS, 11 chercheur non CNRS, 25 enseignants chercheurs, 49 ITA CNRS, 3 ITA non CNRS, 34 doctorants et post-docs
THÈMES DE RECHERCHE Cosmologie observationnelle : étude du rayonnement cosmologique primordial avec le satellite Planck, étude de la polarisation de ce fond avec l'expérience Brain et mise au point de matrices de bolomètres pour les futures missions spatiales; grands relevés permettant d'étudier l'énergie sombre (SNLS, LSST). Recherche d'ondes gravitationnelles avec l'interféromètre spatial Lisa. Phénomènes violents dans l'Univers, objets compacts et particules cosmiques de haute énergie : au sol Observatoire Pierre Auger (rayons cosmiques), Hess et CTA (gammas), Antares (neutrinos), X-Shooter (sursauts gamma); dans l'espace, missions Simbol-X et SVOM-ECLAIRS. Physique des neutrinos: Borexino, Double Chooz. Physique théorique dans l'ensemble de ces thèmes. Méthodes innovantes de traitement des données et simulations.

UMR 5797 Centre d'Études Nucléaires de Bordeaux Gradignan - CENBG

Université Bordeaux-I
Le Haut-Vigneau
33175 Gradignan
Tél. : 05 57 12 08 04
Fax : 05 57 12 08 01
Directeur : **Bernard Haas**

EFFECTIFS 18 chercheurs CNRS, 19 enseignants-chercheurs, 29 ITA CNRS, 9 ITA non CNRS, 16 doctorants et post-docs
THÈMES DE RECHERCHE Noyaux « exotiques » (loin de la vallée de stabilité) et radioactivités rares. Physique du neutrino via la double désintégration bêta et application à la détection de très faibles radioactivités. Astronomie gamma de haute énergie. Transmutation des déchets nucléaires et étude de systèmes innovants pour la production d'énergie par fission. Interface physique-biologie et environnement. Physique corpusculaire auprès de lasers de puissance. Étude théorique de la structure des noyaux et des hadrons.

UMR 6550 Centre de Physique des Particules de Marseille - CPPM

Faculté des Sciences de Luminy
Case 902 – 163, av. de Luminy
13288 Marseille Cedex 9
Tél. : 04 91 82 72 00
Fax : 04 91 82 60 58
Directeur : **Eric Kajfasz**

EFFECTIFS 24 chercheurs CNRS, 9 enseignants-chercheurs, 73 ITA CNRS, 3 ITA non CNRS, 24 doctorants et post-docs
THÈMES DE RECHERCHE Physique auprès du collisionneur électron-proton Hera: expérience H1 (Desy). Physique auprès du collisionneur Tevatron: expérience Do (Fermilab). Préparation de la physique auprès du LHC (Cern): expériences Atlas et LHCb. Détection de neutrinos cosmiques de haute énergie: expérience Antares (La Seyne-sur-Mer). Cosmologie Observationnelle: SNLS (Hawaï) et SNAP/JDEM (espace). Interdisciplinaire: Imagerie biomédicale, Grilles de calcul, Observatoire sous-marin pluridisciplinaire permanent.

UMR 8609 Centre de Spectrométrie Nucléaire et de Spectrométrie de Masse - CSNSM

Université Paris-XI
Bât. 104-108
91405 Orsay Cedex
Tél. : 01 69 15 52 13
Fax : 01 69 15 50 08
Directeur : **Gabriel Chardin**

EFFECTIFS 31 chercheurs CNRS, 1 chercheur non CNRS, 8 enseignants-chercheurs, 42 ITA CNRS, 8 doctorants et post-docs
THÈMES DE RECHERCHE Structure nucléaire. Spectroscopie des noyaux lourds. Développement de détecteurs gamma de haute résolution. Réactions nucléaires d'intérêt astrophysique. Nucléosynthèse primordiale. Nucléosynthèse stellaire. Astronomie gamma. Mesure, évaluation et étude théorique des masses des noyaux atomiques. Mesures statiques et dynamiques de moments nucléaires. Séparation d'isotopes. Fission induite par les ions lourds. Préparation par implantation de matériaux nouveaux. Nanomagnétisme et nano-optique. Identification et dosage d'éléments radioactifs dans l'environnement. Germination et croissance d'agrégats sous irradiation. Physico-chimie des oxydes d'uranium. Etude des matériaux de l'aval du cycle électronucléaire. Datation. Applications géologiques et climatiques. Analyse de micrométéorites recueillies en Antarctique. Analyse cométaire. Origine planétaire. Recherche de méthodes de confinement des déchets radioactifs. Senseurs en couche mince. Recherche de la Matière Noire sous forme de WIMPs. Bolomètres cryogéniques. Matrices de bolomètres pour l'astrophysique.

UMR 6415 Grand Accélérateur National d'Ions Lourds - GIE GANIL (CNRS/CEA)

Boulevard Henri-Becquerel
BP 55027
14076 Caen Cedex 5
Tél. : 02 31 45 46 47
Fax : 02 31 45 45 86
Directeur : **Sydney Galès**

EFFECTIFS 16 chercheurs CNRS, 8 chercheurs non CNRS, 1 enseignant-chercheur, 128 ITA CNRS, 103 ITA non CNRS, 8 doctorants
THÈMES DE RECHERCHE Laboratoire d'accueil de la communauté nationale et internationale des physiciens utilisant des faisceaux d'ions lourds. Production des faisceaux stables et radioactifs produit par l'installation Spiral1 et mise à la disposition des physiciens. Soutien technique des expériences et hébergement des utilisateurs. Thèmes de physique: physique du noyau production et étude de la structure des noyaux exotiques loin de la stabilité, astrophysique nucléaire, production et étude des noyaux chauds, dynamique des collisions nucléaires.

UMR 7500 Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien – IPHC

Université Strasbourg-I
23, rue de Loess – BP 28
67037 Strasbourg Cedex 2
Tél. : 03 88 10 66 56
Fax : 03 88 10 62 92
Directeur : **Daniel Huss**

EFFECTIFS 53 chercheurs CNRS, 46 enseignants-chercheurs, 144 ITA CNRS, 10 ITA non CNRS, 20 doctorants et postdocs
THÈMES DE RECHERCHE (DRS) Structure de la matière dans des états extrêmes de spin et de déformation, mécanismes de réaction et de fission. Interactions ions lourds-matière. R et D pour ligne de faisceau Spiral 2, R et D détecteurs Paris et S3. Construction Agata. Aval du cycle électronucléaire, Guinevere, Gedepeon. Physique nucléaire théorique. Chimie nucléaire. Radioprotection et mesures environnementales : Ramses. Physique des neutrinos et astroparticules : Opera, Nemo et Antares. Participation à Star au RHIC (BNL). Physique des collisions proton-proton et ions lourds au LHC : CMS et Alice (Cern). Do. Développement des capteurs CMOS et applications au projet de collisionneur ILC. Applications biomédicales, imagerie du petit animal. **(DEPE)** Ethologie des primates. Physiologie du comportement. Physiologie énergétique. Ecologie fonctionnelle. **(DSA)** Science des aliments. Reconnaissance ionique et procédés de séparation. Sciences séparatives. Spectroscopie de masse bioorganique.

UMR 5822 Institut de Physique Nucléaire de Lyon - IPNL

Université Lyon-I
Bât. Paul-Dirac
4, rue Enrico-Fermi
69622 Villeurbanne Cedex
Tél. : 04 72 44 84 57
Fax : 04 72 44 80 04
Directeur : **Bernard Ille**

EFFECTIFS 30 chercheurs CNRS, 1 non CNRS, 39 enseignants-chercheurs, 60 ITA CNRS, 10 ITA non CNRS, 29 doctorants et post-docs
THÈMES DE RECHERCHE Physique auprès des collisionneurs hadroniques (Modèle standard et ses extensions) avec l'expérience Do au Tevatron (Fermilab, USA), et l'expérience CMS auprès du LHC du Cern. R&D en calorimétrie pour le projet ILC. Physique de la matière hadronique chaude au LHC avec les expériences Alice et CMS-ions lourds. Matière nucléaire, noyaux superdéformés auprès de Spiral1 et autres laboratoires européens de faisceaux d'ions (exogam, vamos). Faisceaux exotiques : contribution au projet Spiral2 du Ganil et au projet de détecteurs Agata (construction) et Fazia (R&D) pour Spiral2. Physique des neutrinos (recherche d'oscillations) au Gran Sasso en Italie avec l'expérience Opera et contribution (R&D) au projet T2K au Japon. Recherche sur la matière sombre à Modane LSM à l'aide de bolomètres cryogéniques (expérience Edelweiss II), R&D sur des bolomètres scintillants cryogéniques. Recherche en énergie sombre avec le programme Supernovae de mesures de paramètres cosmologiques avec l'expérience Snifs. R&D pour le projet Snap. Physique théorique (nucléaire, particules, mathématique). Aval du cycle électronucléaire : stockage des déchets, migrations de radioéléments (programme Pacen) Interactions ions-matière inerte et matière biologique : hadronthérapie adossée au centre Etoile, canalisation, effets biologiques des rayonnements ionisants à l'échelle moléculaire. R&D en imagerie médicale. R&D en photodétection sur des senseurs EB-CMOS. Métrologie : laboratoire expert en mesure de la radioactivité de l'eau (Cofrac).

UMR 8608 Institut de Physique Nucléaire d'Orsay - IPNO

Université Paris-XI
91406 Orsay Cedex
Tél. : 01 69 15 51 57
Fax : 01 69 15 64 70
Directeur : **Dominique Guillemaud-Mueller**

EFFECTIFS 64 chercheurs CNRS, 21 enseignants-chercheurs, 222 ITA CNRS, 13 ITA non CNRS, 36 doctorants et postdocs
THÈMES DE RECHERCHE Structure et dynamique nucléaire loin de la stabilité, thermodynamique des systèmes finis et multifragmentation, plasma quark-gluon : Alice au LHC (Cern), physique hadronique : expériences Hades (GSI), projet Panda (GSI) expériences GPD (TJNAF, E.-U.), Astroparticules : Observatoire Auger. Radiochimie et aval du cycle électronucléaire : N-TOF (Cern), Interaction ion-agrégats avec surface et solides. Physique théorique.

UMR 8607 Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire - LAL

Université Paris-XI – Bât. 200
BP 34
91898 Orsay Cedex
Tél. : 01 64 46 83 00
Fax : 01 69 07 94 04
Directeur : **Guy Wormser**

EFFECTIFS 60 chercheurs CNRS, 12 enseignants-chercheurs, 207 ITA CNRS, 5 ITA non CNRS, 23 doctorants et post-docs
THÈMES DE RECHERCHE Tests de précision du Modèle standard et recherche de nouvelles particules : préparation de l'expérience Atlas (Cern), expérience Do (Fermilab). Structure du proton : H1 (Desy). Préparation de l'expérimentation auprès d'un futur collisionneur linéaire (ILC). Violation de la symétrie CP : BaBar (Slac), LHCb (Cern), projet Super B Factory. Physique du neutrino par recherche de désintégration double bêta (Nemo et projet SuperNemo). Étude du rayonnement cosmique aux énergies extrêmes : Observatoire Auger. Étude de l'énergie noire : projet LSST et R&D BAO radio. Détection d'ondes gravitationnelles : Virgo. Étude du rayonnement à 3 K : Planck. Physique et technique des accélérateurs à électrons : projets Clic (Cern) et ILC. Participation à la construction de l'accélérateur linéaire XFEL (DESY). Étude d'une source compacte de rayons X pour la radiothérapie par rétrodiffusion Compton. Construction d'un accélérateur linéaire de 10 MeV au LAL pour étude détaillée photo-injecteur et applications (projet PHIL).



UMR 5814 Laboratoire d'Annecy-le-Vieux de Physique des Particules - LAPP

BP 110, chemin de Bellevue
74941 Annecy-Le-Vieux Cedex
Tél. : 04 50 09 16 00
Fax : 04 50 27 94 95
Directeur : **Yannis Kariotakis**

EFFECTIFS 37 chercheurs CNRS, 9 enseignants-chercheurs, 75 ITA CNRS, 15 doctorants et post-docs **THÈMES DE RECHERCHE** Expériences Atlas et CMS auprès du LHC (Cern). Violation de symétrie : BaBar (Slac), LHCb au LHC (Cern). Projet Virgo de détection d'ondes gravitationnelles. Recherche d'antimatière dans l'Univers : AMS. Physique du neutrino : Opera. Étude des rayons cosmiques de très haute énergie : expérience Hess. RetD collisionneur linéaire.

UMR 8165 Laboratoire Imagerie et Modélisation en Neurobiologie et Cancérologie - IMNC

Universités Paris XI-VII
Campus universitaire, bât. 104
15, rue Georges Clemenceau
91406 Orsay Cedex
Directeur : **Yves Charon**

EFFECTIFS 6 chercheurs CNRS, 8 enseignants-chercheurs, 4 ITA CNRS, 12 doctorants et postdocs **THÈMES DE RECHERCHE** Imagerie en cancérologie ; imagerie du petit animal ; théorie des systèmes dynamiques ; modélisation du vivant ; métabolisme énergétique cérébral.

UMR 7638 Laboratoire Leprince-Ringuet - LLR

École polytechnique
Plateau de Palaiseau
Route de Saclay
91128 Palaiseau Cedex
Tél. : 01 69 33 41 36
Fax : 01 69 33 30 02
Directeur : **Henri Videau**

EFFECTIFS 34 chercheurs CNRS, 39 ITA CNRS, 11 ITA non CNRS, 8 doctorants et post-docs **THÈMES DE RECHERCHE** Structure interne du nucléon : H1 auprès de Hera (Desy). Étude de la violation de CP : expérience BaBar (Slac). Collisions de protons de très haute énergie : CMS auprès du LHC (Cern). Plasma de quarks et de gluons dans des collisions d'ions lourds : Phenix au Rhic (BNL). R&D pour le détecteur et les faisceaux d'un collisionneur linéaire à électrons : ILC. Étude des oscillations neutrinos : T2K. Astronomie gamma : Hess (Namibie), projet Glashow sur satellite. Accélération de particules par un plasma excité par laser. Valorisation : profilers de faisceaux d'hadronthérapie (CNAO).

UPS 2713 Laboratoire des Matériaux Avancés - LMA

Université Claude Bernard Lyon-I
Bât. Virgo
22, Boulevard Niels-Bohr
69622 Villeurbanne Cedex
Tél. : 04 72 43 26 76
Fax : 04 72 43 26 79
Directeur : **Raffaele Flaminio**

EFFECTIFS 1 chercheur CNRS, 10 ITA CNRS, 1 ITA non CNRS, 2 doctorants **THÈMES DE RECHERCHE** Recherche d'ondes gravitationnelles par interférométrie laser avec l'expérience Virgo à Cascina (Italie). Recherche de nouveaux matériaux afin d'améliorer le facteur de qualité mécanique de couches minces et d'en réduire le bruit thermique (projet ILIAS et R&D EGO). Réalisation de miroirs type 'chapeau mexicain' à l'aide de la technique du traitement correctif. Réalisation de miroirs à faibles pertes mécanique et optique pour l'expérience LIGO (US). Réalisation de couches en carbone pour le piège à neutrons de l'expérience GRANIT à l'ILL, expérience visant la mise en évidence des transitions entre les niveaux quantiques de neutrons ultra froids dans un champ gravitationnel. Réalisation de micro-miroirs pour l'expérience ARQOOM au LKB, expérience visant la mise en évidence des propriétés quantique d'un oscillateur harmonique macroscopique. Réalisation de miroirs pour cavité à haute finesse utilisés au collisionneur HERA à DESY et pour l'expérience BMV (Biréfringence Magnétique du Vide) à Toulouse. Développement de couches minces pour l'extrême UV en collaboration avec SAGEM. Caractérisation et production des miroirs à faibles pertes pour gyrolaser en collaboration avec SAGEM. Prestations de service de caractérisation et métrologie.

UMR 6534 Laboratoire de Physique Corpusculaire de Caen - LPC Caen

ENSI Caen
6, bd du Maréchal-Juin
14050 Caen Cedex
Tél. : 02 31 45 25 00
Fax : 02 31 45 25 49
Directeur :
Jean-Claude Steckmeyer

EFFECTIFS 10 chercheurs CNRS, 16 enseignants-chercheurs, 26 ITA CNRS, 10 ITA non CNRS, 14 doctorants et post-docs **THÈMES DE RECHERCHE** Étude de la matière nucléaire chaude et comprimée : équation d'état, multifragmentation et transitions de phase (Indra). Production et caractérisation de noyaux exotiques. Réactions induites par faisceaux exotiques. Physique du neutrino : recherche de la double désintégration bêta sans émission de neutrinos. Étude des corrélations β - ν dans la désintégration $\beta\tau\alpha$. Mesure du moment électrique dipolaire du neutron. Données nucléaires et aval du cycle électronucléaire. Imagerie et contrôle de faisceaux pour la radiobiologie.

UMR 6533 Laboratoire de Physique Corpusculaire - LPC Clermont

Université Clermont-II
24, avenue des Landais
63177 Aubière Cedex
Tél. : 04 73 40 72 72
Fax : 04 73 26 45 98
Directeur : **Alain Baldit**

EFFECTIFS 20 chercheurs CNRS, 35 enseignants-chercheurs, 44 ITA CNRS, 5 ITA non CNRS, 23 doctorants et post-docs
THÈMES DE RECHERCHE Physique des particules : Expériences Atlas et LHCb au LHC du Cern, expérience Do à FNAL et R&D détecteur sur ILC. Matière hadronique : expérience VCS à Nayence et DVCS à Jlab. Collisions d'ions lourds à basse énergie Fopi au GSI et ultrarelativiste dans NA60 au Cern et Phénix au BNL. Expérience Alice au LHC du Cern. Groupe de physique théorique. Interdisciplinaire : Datation et mesure de faibles radioactivités, action des neutrons, biomatériaux, imagerie médicale et hadronthérapie, plateforme de calcul pour les sciences du vivant. Grille de calcul pour LCG et le biomédical.

UMR 7585 Laboratoire de Physique Nucléaire et de Hautes Énergies - LPNHE - P6/7

Université Paris VI-VII
4, place Jussieu
75252 Paris Cedex 05
Tél. : 01 44 27 63 13
Fax : 01 44 27 46 38
Directeur : **Pascal Debu**

EFFECTIFS 25 chercheurs CNRS, 8 chercheur non CNRS, 30 enseignants-chercheurs, 47 ITA CNRS, 1 ITA non CNRS, 22 doctorants et post-docs
THÈMES DE RECHERCHE Physique des collisions électron-positon : ILC futur collisionneur linéaire. Collisions proton-proton et antiproton : expériences Atlas au LHC (Cern) et expériences CDF et Do (Fermilab), SuperLHC. Violation de symétrie CP : BaBar (Slac) et LHCb au LHC (Cern). Étude des faisceaux de neutrinos : T2K. Photons de hautes énergies dans l'Univers : Hess 1 et 2, CTA. Cosmologie et Programme Supernovæ : SCP, Snif, SNLS, Snap, LSST. Étude des rayons cosmiques aux énergies extrêmes : Observatoire Auger. Théorie : QCD, approches phénoménologiques. Interface Physique-Biologie : modélisation de la différenciation cellulaire.

UMR 5821 Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie - LPSC

Université Grenoble-I
53, av. des Martyrs
38026 Grenoble Cedex
Tél. : 04 76 28 40 02
Fax : 04 76 28 40 04
Directeur : **Serge Kox**

EFFECTIFS 35 chercheurs CNRS, 25 enseignants-chercheurs, 86 ITA CNRS, 8 ITA non CNRS, 33 doctorants et postdocs
THÈMES DE RECHERCHE Participation aux expériences Atlas au LHC (Cern) ; Do (Fermilab) et au projet ILC. Physique fondamentale avec les neutrons ultra-froids : nEDM et Granit. Recherche d'antimatière dans l'Univers : AMS. Participation à l'expérience Archeops et au projet Planck. Étude des rayons cosmiques de haute et ultra haute énergie : expériences Cream, Codalema, Euso et Auger. Physique hadronique (TJNAF, E.-U.), Graal (ESRF) et Alice (Cern). Réacteurs critiques à sels fondus - Réacteurs sous-critiques pilotés par accélérateur et transmutation des déchets nucléaires. Structure nucléaire. Physique théorique (phénoménologie des collisionneurs, systèmes à quelques corps, calcul sur réseau). Physique des accélérateurs. Sources d'ions. Tomographie PET. Physique des plasma et matériau (groupe du ST2l).

UMR 6457 Laboratoire de Physique Subatomique et des Technologies Associées - Subatech

École des Mines
4, rue Alfred-Kastler
La Chantrerie, BP 20722
44307 Nantes Cedex 03
Tél. : 02 51 85 81 00
Fax : 02 51 85 84 88
Directeur : **Jacques Martino**

EFFECTIFS 13 chercheurs CNRS, 1 chercheur non CNRS, 30 enseignants-chercheurs, 45 ITA CNRS, 13 ITA non CNRS, 36 doctorants et post-docs
THÈMES DE RECHERCHE Recherche du plasma de quarks et de gluons dans les collisions d'ions lourds ultrarelativistes : expériences Alice au LHC (Cern), Phenix et Star au Rhic (BNL). Modélisation des interactions fondamentales aux énergies ultrarelativistes : étude du plasma quark-gluon ; théorie et modélisation de réactions aux énergies ultrarelativistes ; modélisation des phénomènes de transport dans la matière nucléaire. Radiodétection de gerbes cosmiques de très hautes énergies (Nançay). Aval du cycle électronucléaire (GDR Gédéon) : données nucléaires proton + noyau ; étude de la cible de spallation pour réacteur hybride : Lisor, Megapie (PSI, Suisse). Radiochimie : étude et modélisation des barrières de confinement pour le stockage des déchets nucléaires ; chimie des émetteurs alpha (stockage des déchets et applications médicales) ; mesure de radioactivité dans l'environnement (Smart) : métrologie et service. Développement de concepts nouveaux de détecteurs à gaz (Micromégas).

UMR 5139 Laboratoire de Physique Théorique et Astroparticules - LPTA

Université Montpellier-II
Case 85 – place Eugène-Bataillon
34095 Montpellier Cedex 05
Tél. : 04 67 14 93 05
Fax : 04 67 14 41 90
Directeur : **Alain Falvard**

EFFECTIFS 20 chercheurs CNRS, 1 chercheur non CNRS, 14 enseignants-chercheurs, 11 ITA CNRS, 5 ITA non CNRS, 18 doctorants et post-docs
THÈMES DE RECHERCHE Astronomie gamma : recherche indirecte de la matière noire, sources galactiques de photons de très hautes énergies, sursauts gamma. Expériences AMS, Glast, Hess CTA. Physique théorique : Interactions Fondamentales, astroparticules et cosmologie. Théorie des Champs et Physique mathématique. Systèmes complexes et physique non linéaire.

UMR 6417 Laboratoire Souterrain de Modane - LSM

2, rue Polset
73500 Modane
Tél. : 04 79 05 22 57
Fax : 04 79 05 24 74
Directeur : **Fabrice Piquemal**

EFFECTIFS 1 chercheur CNRS, 5 ITA CNRS, 1 ITA non CNRS **THÈMES DE RECHERCHE** Site à l'abri du rayonnement cosmique et en environnement de très faible radioactivité, aménagé et maintenu pour recevoir des expériences recherchant des signaux très faibles : physique du neutron (désintégration double bêta), matière noire, recherche de noyau superlourds dans la nature, mesures de faibles radioactivités pour l'environnement et les applications, mesures des taux d'erreurs dans les circuits de micro-electronique. Développement du savoir-faire sur les mesures faibles radioactivités en spectroscopie gamma, sur la mesure de l'activité de l'air en radon et thoron et sur la mesure du flux de neutrons en site souterrain.

USR 6402 Centre de Calcul de l'Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules - CC-IN2P3

Campus de la Doua,
27-29, bd. Niels-Bohr
69622 Villeurbanne Cedex
Tél. : 04 78 93 08 80
Fax : 04 72 69 41 70
Directeur : **Dominique Boutigny**

EFFECTIFS 1 chercheur CNRS, 3 CDD chercheurs, 66 ITA CNRS dont 37 permanents **THÈMES DE RECHERCHE** Le CC-IN2P3 fournit les moyens de calcul nécessaires aux équipes de l'IN2P3 et du CEA/DSM-Dapnia impliquées dans les domaines de la physique des particules, de la physique nucléaire et de la physique des astroparticules. Le CC-IN2P3 est l'un des onze centres mondiaux de calcul de premier niveau (Tier-1) chargés du traitement, du stockage et de la distribution des données des expériences installées sur le LHC. À ce titre le CC-IN2P3 est devenu l'un des piliers français de la grille de calcul pluridisciplinaire européenne Egee. Depuis quelques années, le CC-IN2P3 ouvre une partie de ses ressources à destination d'autres disciplines (Sciences de la Vie et Sciences Humaines) ainsi que vers le monde industriel. Enfin, le Centre de Calcul fournit de multiples autres services informatiques : bases de données, gestion de documentation technique, hébergement de sites et de services web, et plusieurs outils collaboratifs, dont un service de visioconférence.

UMS 6425 Musée Curie et archives de l'Institut du Radium

Institut Curie
11, rue Pierre-et-Marie-Curie
75248 Paris Cedex 05
Tél./Fax : 01 42 34 67 49
Directeur : **Renaud Huyhn**

EFFECTIFS 1 ITA CNRS, 4 ITA non CNRS **THÈMES DE RECHERCHE** Conservation et valorisation des collections historiques. Accueil du public au musée. Recherches historiques et muséologiques.

UPS 2966 Unité de Logistique Internationale, Services et Soutien aux Expériences - Ulisse CNRS

Courriel : brion@ulisse.in2p3.fr
Tél. : 04 50 09 17 17
Port. : 06 87 83 58 27
Directeur : **Philippe Brion**

EFFECTIFS 5 ITA **MISSION** Chargée, pour le compte de toute unité CNRS ou partenaire du CNRS, de l'étude et de la réalisation de tous types d'opérations logistiques, nationales, européennes et internationales, liées aux échanges de matériels scientifiques (transport, dédouanement, emballage, assurance), de la prescription de transports, du conseil aux Unités (fiscalité des échanges internationaux et européens, transport de marchandises dangereuses) ainsi que des veilles techniques et réglementaires afférentes.

C4I Plate forme de valorisation et transfert de l'in2p3 en micro-électronique - GIP

Bâtiment Mont-Blanc
Site d'Archamps
74160 Archamps
Tél. : 04 50 31 57 20
Directeur : **Denis Linglin**

EFFECTIFS Fin 2007, les effectifs étaient de 16 personnes (3 CNRS, 1 CEA, 12 contrats privés). Le budget 2007 s'est monté à $\approx 1,5$ M€, l'activité s'est répartie entre une douzaine de contrats C4i-entreprise et projets de R&D multi-partenaires. **ACTIVITÉS** L'élargissement de l'activité au maquetage et prototypage de capteurs répond à la demande aval, il s'y ajoute le pilotage et l'ingénierie financière de projets applicatifs laboratoires-entreprises.

- AGATA** - *Advance gamma-ray tracking array*: projet international de développement d'un spectromètre gamma
- AIFIRA** - Applications interdisciplinaires de faisceaux d'ions en région Aquitaine: plate-forme de faisceaux d'ions à vocation interdisciplinaire
- ALEPH** - *Apparatus for LEP physics*: une des quatre expériences auprès du LEP
- ALICE** - *A large ion collider experiment*: expérience dédiée à l'exploration des propriétés du plasma de quarks et de gluons au LHC
- ALTO** - Accélérateur linéaire auprès du Tandem d'Orsay: projet d'installation d'un accélérateur d'électrons (10^{-50} MeV, 10 μ A) auprès du Tandem d'Orsay
- AMS** - *Anti-matter in space*: expérience de recherche d'antimatière dans l'espace
- ANTARES** - *Astronomy with a neutrino telescope and abyss environmental research*: expérience dédiée à la détection et à l'étude des neutrinos cosmiques de haute énergie à l'aide d'un télescope sous-marin
- ApPEC** - *Astroparticle physics european coordination*: coordination européenne dans le domaine des astroparticules
- ARCHEOPS** - Ballon stratosphérique dédié à la cartographie du fond de rayonnement cosmologique
- ASCLEPIOS** - Aire européenne de soins du cancer par les protons et les ions: projet d'hadronthérapie à Caen
- ATLAS** - *A toroidal LHC apparatus*: expérience dédiée principalement à la recherche de nouvelles physiques au LHC
- AUGER** (Observatoire Pierre) - Expérience de détection des rayons cosmiques d'énergie extrême (supérieure à 10^{19} eV), Argentine
- BABAR** - Expérience d'étude des mésons beaux au Stanford linear accelerator (SLAC), États-Unis
- BNL** - *Brookhaven national laboratory*: laboratoire américain de Brookhaven, États-Unis
- CADI** - Coordination des activités accélérateurs de la DSM/CEA et de l'IN2P3/CNRS
- CALICE** - *Calorimeter for the linear collider with electrons*: R&D pour le développement de calorimètres électromagnétique et hadronique pour l'ILC
- CARE** - *Coordinated accelerator research in Europe*: projet de plate-forme technologique européenne dans le domaine de la recherche sur les accélérateurs
- CCSD** - Centre pour la communication scientifique directe, unité IN2P3/SPM
- CEA** - Commissariat à l'énergie atomique
- CERN** - Organisation européenne pour la recherche nucléaire: laboratoire européen de physique des particules à Genève
- CFHT** - Télescope Canada-France-Hawaii
- CHOOZ** - Expérience ayant observé les antineutrinos du réacteur nucléaire de Chooz (commune des Ardennes)
- CLIC** - *Compact e^+e^- linear collider*: projet de collisionneur linéaire à électrons multi-TeV au Cern
- CMOS** - R&D pour le développement d'un détecteur de vertex pour l'ILC
- CMS** - *Compact muon solenoid*: expérience dédiée principalement à la recherche de nouvelles physiques au LHC
- CNES** - Centre national d'études spatiales
- CNGS** - *Cern neutrinos to Gran Sasso*: projet de faisceau de neutrinos allant du Cern au laboratoire du Gran Sasso en Italie pour l'étude des oscillations des neutrinos
- DO** - Expérience auprès du collisionneur proton-antiproton à Fermilab, États-Unis
- DAPNIA** - Département d'astrophysique, de physique des particules, de physique nucléaire et de l'instrumentation associée: CEA/DSM
- DATAGRID** - Projet européen de démonstration de la faisabilité d'une grille de calcul distribuée à l'échelon international
- DESY** - *Deutsches elektron synchrotron*: laboratoire allemand de physique des particules installé à Hambourg
- DOE** - *Department of energy*: le département de l'énergie américain
- DSM** - Direction des sciences de la matière: CEA
- DVCS** - *Deep virtual compton scattering*: diffusion Compton profondément virtuelle, expérience d'étude de la structure interne du proton
- EDELWEISS** - Expérience pour la détection des WIMPs en site souterrain: expérience de recherche de matière noire à l'aide de bolomètres au Laboratoire souterrain de Modane
- EGEE** - *Enabling grids for e-science in Europe*: projet européen de création d'une infrastructure de grille disponible 24 heures sur 24 partout en Europe
- EGO** - *European gravitational observatory*: société de droit civil qui gère le site de Virgo
- ESA** - *European space agency*: Agence spatiale européenne



ESF - *European science foundation* :
Fondation européenne de la science

ETOILE - Espace de traitement
oncologique par ions légers européen :
projet d'hadronthérapie par ions
carbone à Lyon

EURISOL - *European isotope separation
on-line* : projet de futur accélérateur
européen de faisceaux radioactifs

EUROBALL - Multidécteur européen de
rayonnements gamma pour la physique
nucléaire, successeur d'Eurogam

EUROTEV - Projet d'étude européen en vue
d'un collisionneur linéaire e^+e^- dans
la gamme d'énergie du TeV

EUROTRANS - Projet européen de
conception et d'étude de faisabilité
d'un prototype d'ADS

EUSO - *Extreme universe space
observatory* : projet d'observation des
grandes gerbes cosmiques dans
l'atmosphère depuis la station spatiale
internationale

EXOGAM - Spectromètre gamma de
grande efficacité dédié à la
spectroscopie nucléaire des noyaux
exotiques (Ganil)

FAIR - *Facility for antiproton and ion
research* : projet d'infrastructure qui
fournira des faisceaux d'antiprotons
(de 0,1 à 15 GeV) et d'ions lourds
relativistes (de 1,5 à 30 GeV/nucléon)
auprès du GSI (Darmstadt)

FERMILAB - *Fermi national laboratory* :
laboratoire américain de physique des
particules installé près de Chicago

FLC - Voir ILC

GO - Expérience de mesure du contenu
en quark étrange du nucléon au TJNAF

GANIL - Grand accélérateur national d'ions
lourds : CEA/IN2P3 à Caen

GDR - Groupement de recherche

GEDEPEON - Gestion des déchets et
production d'énergie par des options
nouvelles : groupement de recherche
CNRS/CEA/EDF/Framatome

GENEPI - Générateur de neutrons pulsés
de forte intensité

GLAST - *Gamma-ray large area space
telescope* : futur télescope
d'observation des sources célestes
de rayonnement gamma (de 10 MeV
à 100 GeV)

GSI - *Gesellschaft für schwerionenen
Forschung* : laboratoire allemand
de physique nucléaire, à Darmstadt

H1 - Expérience auprès du collisionneur
Hera dédiée à l'étude de la structure
interne du proton et à la recherche
de particules et d'interactions non
encore observées

HADES - *High acceptance dielectrons
spectrometer* : spectromètre diélectrons
de grande acceptance pour la physique
hadronique

HERA - *High energy ring accelerator* :
collisionneur électron-proton installé
à Desy - Hambourg

HESS - *High energy stereoscopic system* :
détecteur de nouvelle génération pour
l'astronomie gamma au-delà de 100 GeV

HINDAS - *High and intermediate energy
nuclear data for accelerator driven
systems* : programme européen d'étude
de certaines réactions nucléaires

HYDILE - Cible hydrogène/deutérium pour
l'étude de certaines propriétés des
nucléons

IFREMER - Institut français de recherche
pour l'exploitation de la mer

ILC - *International linear collider* :
collisionneur linéaire électron-positon,
d'énergie située entre 90 GeV et 1 TeV
dans le centre de masse

INFN - *Instituto nazionale di fisica
nucleare* : institut italien de physique
nucléaire et de physique des particules

INSERM - Institut national de la santé
et de la recherche médicale

INSU - Institut national des sciences
de l'Univers : CNRS

IPHI - Injecteur de protons de haute
intensité

ISOL - *Isotopic separation on-line* :
méthode de séparation d'ions exotiques

ISOLDE - Installation de production d'ions
radioactifs par séparation isotopique en
ligne au Cern

JDEM - *Joint dark energy mission* : projet
de mission spatiale « énergie sombre »
conjointe DOE/Nasa

LC - Voir ILC

LCG - *LHC computing grid* : infrastructure
s'appuyant sur la technologie des grilles
de calcul pour stocker et analyser les
données produites par les expériences
au LHC

LHC - *Large hadron collider* : futur
collisionneur proton-proton du Cern

LHCb - Expérience dédiée à l'étude de
la violation de CP dans le système des
mésons beaux au LHC

MAMI - *Mainz Mikrotron* : accélérateur
d'électrons à l'Institut de physique
nucléaire, Université de Mayence,
Allemagne

MASURCA - Réacteur expérimental sous-
critique de faible puissance installé à
Cadarache (CEA)

MEGAPIE - *Megawatt pilot experiment* :
expérience visant à concevoir et
exploiter une cible de spallation en PbBi
liquide 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

MUST - Ensemble de détection de
particules chargées légères au Ganil

MYRRHA - *Multi-purpose hybrid research
reactor for high-tech applications* :
projet européen d'implantation
d'un démonstrateur de transmutation
« XADS » à Mol en Belgique

- NASA** - *National aeronautics and space administration* : administration gouvernementale responsable du programme spatial aux États-Unis
- NEMO** - Neutrino-molybdène : expérience de double désintégration bêta au Laboratoire souterrain de Modane
- 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
- OPENGATE** - Projet de développement d'instrumentation dédiée à l'optimisation des caméras médicales exploitées en particulier en oncologie pour le diagnostic
- OPERA** - *Oscillation project with emulsion tracking apparatus* : expérience d'oscillation de neutrinos
- PACE** - Programme pour l'aval du cycle électronucléaire : programme interdisciplinaire du CNRS
- PARIS** - Physicochimie des actinides et des radioéléments aux interfaces et en solution : groupement de recherche CNRS/CEA/EDF/Andra
- PARRNe** - Production d'atomes radioactifs riches en neutrons : station prototype pour la production d'atomes radioactifs riches en neutrons auprès du Tandem d'Orsay
- 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 rayonnement de fond cosmologique
- POCI** - *Peroperative compact imager* : projet de développement de systèmes miniaturisés pour le guidage du geste du chirurgien en bloc opératoire lors de l'exérèse de tissus cancéreux
- PSI** - Paul Scherrer Institut, Villigen
- RHIC** - *Relativistic heavy ion collider* : collisionneur d'ions lourds au Brookhaven national laboratory, États-Unis
- SCP** - *Supernovæ cosmology project* : expérience de détection des supernovæ lointaines
- SILC** - R&D pour le développement d'un trajectographe pour l'ILC
- 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 supernovæ la lointaines
- SNF** - *Supernova factory* : expérience de mesures spectrophotométriques de supernovæ la proches
- SNLS** - *Supernova legacy survey* : programme de recherche et de mesure de supernovæ la dans le but de caractériser l'énergie noire
- SPIRAL** - Système de production d'ions accélérés en ligne (Ganil, Caen)
- SPIRAL2** - Nouvelle installation de faisceaux secondaires « exotiques » riches en neutrons de très fortes intensités
- SPS** - *Super proton synchrotron* : un composant du complexe accélérateur du LHC
- STAR** - *Solenoidal tracker at RHIC* : expérience d'étude du plasma quark-gluon au Brookhaven national laboratory
- SUPERKAMIOKANDE** - Expériences japonaises de désintégration du proton, et d'étude des neutrinos solaires et atmosphériques à Kamiokande
- TANDEM** - Accélérateur Van de Graaf électrostatique d'ions situé à Orsay
- TESLA** - *Tera electron-volt superconducting linear accelerator* : projet allemand de collisionneur linéaire électron-positon
- 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 acceptance (Ganil)
- VIRGO** - Expérience de détection directe des ondes gravitationnelles à Cascina, Italie
- VIVITRON** - Accélérateur électrostatique à Strasbourg
- WIMP** - *Weakly interactive massive particle* : particules massives, interagissant très faiblement avec notre monde, qui pourraient constituer la matière cachée de l'Univers
- WMAP** - *Wilkinson microwave anisotropy probe* : satellite américain d'observation du fond diffus cosmologique, prédécesseur de Planck
- XADS** - *eXperimental accelerator driven system* : programme européen d'étude de la faisabilité d'un réacteur hybride pour la transmutation
- X-FEL** - Projet international de laser à électrons libres fonctionnant dans la gamme des rayons X

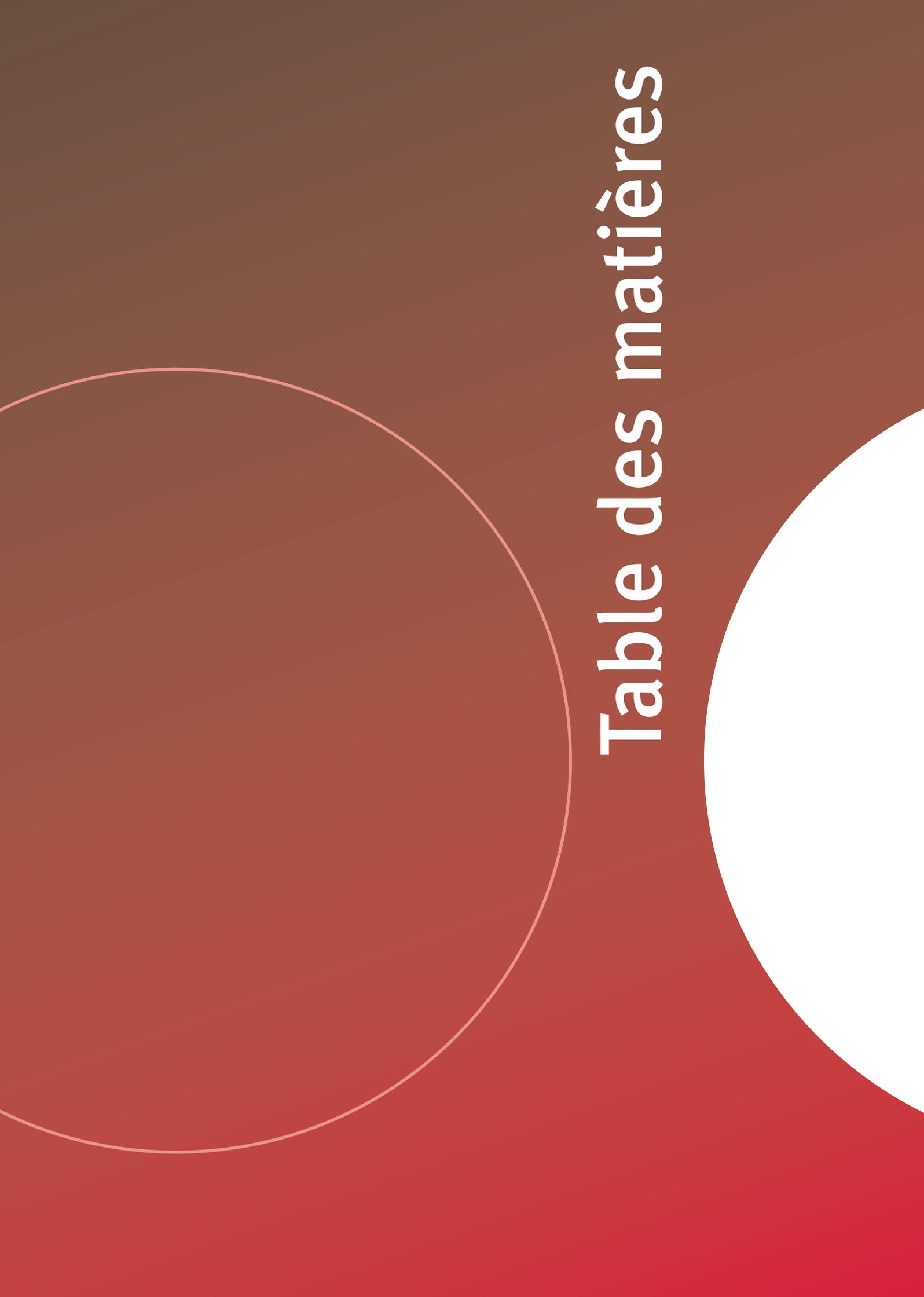


Table des matières

| | |
|---|--------------|
| SOMMAIRE GÉNÉRAL | P. 2 |
| QU'EST-CE QUE L'IN2P3 | P. 4 |
| STRATÉGIE DE L'INSTITUT | P. 6 |
| La physique des particules au sein de l'IN2P3 | P. 8 |
| La physique nucléaire et hadronique | |
| Structure et dynamique nucléaire aux extrêmes : une moisson de découvertes et un projet majeur | |
| Spiral2 qui préparent l'avenir | P. 12 |
| Physique hadronique | P. 15 |
| Astroparticule et neutrino au sein de l'IN2P3 | P. 17 |
| Programme Pace – aval du cycle | P. 21 |
| Politique dans le domaine des accélérateurs, instrumentation | P. 23 |
| L'informatique à l'IN2P3 | P. 25 |
| L'instrumentation à l'IN2P3 | P. 27 |
| Programmes pluridisciplinaires | |
| Interface avec les sciences de la vie | P. 28 |
| Le Spatial | P. 31 |
| Enseignement | P. 33 |
| FAITS MARQUANTS | P. 34 |
| Physique des particules – Expériences en cours | |
| Tevatron : foison de résultats et perspectives enthousiasmantes au Run II | P. 36 |
| Babar et la violation de CP: précision et redondance | P. 37 |
| H1: l'expérience auprès du collisionneur électron-proton Hera | P. 38 |
| Physique des particules – LHC | |
| Atlas, CMS et LHCb, trois expériences auprès du LHC | |
| Expérience Atlas | P. 39 |
| Expérience CMS | P. 41 |
| Expérience LHCb | P. 42 |
| La grille de calcul du LHC (W-LCG) et la contribution française (LCG-France) | P. 43 |
| La grille européenne | P. 44 |
| Physique nucléaire et hadronique – Structure du nucléon | |
| Contenu étrange du nucléon | P. 45 |
| Les distributions de partons généralisées (GPDs) | P. 46 |
| Recherche de baryons exotiques | P. 47 |
| Physique nucléaire et hadronique – Plasma de quarks et de gluons | |
| Expérience NA60 | P. 48 |
| Phenix, la suppression du J/ψ | P. 49 |
| Star, l'expérience de l'étrangeté à RHIC | P. 50 |
| L'expérience Alice | P. 51 |
| Fopi et Hades : étude des effets de milieu nucléaire | P. 53 |

FAITS MARQUANTS (SUITE)

| | |
|---|--------------|
| Physique nucléaire et hadronique – Structure, dynamique nucléaire aux extrêmes | |
| Les nombres magiques à l'épreuve du temps | P. 55 |
| Les vibrations géantes du noyau n'en finissent plus de se superposer | P. 56 |
| Spectroscopie des noyaux lourds : une route vers les super lourds | P. 57 |
| Décroissance bêta d'ions dans un piège de Paul transparent | P. 58 |
| Avancées dans la thermodynamique des petits systèmes | P. 59 |
| Avancées dans la description microscopique de la structure d'un noyau et de ses modes de désintégration | P. 60 |
| Astroparticule et neutrino | |
| Astronomie des rayons gamma : Glast | P. 61 |
| CNGS et Opera | P. 62 |
| La recherche d'ondes gravitationnelles : Virgo | P. 64 |
| Le LSM, un laboratoire souterrain pour la matière noire, la masse du neutrino et la recherche d'événements rares | P. 66 |
| L'astronomie neutrino : Antares | P. 68 |
| Hess, un nouveau regard sur la Galaxie | P. 69 |
| L'Observatoire Pierre Auger inaugure une nouvelle astronomie | P. 70 |
| Eros 2 : à la recherche d'objets massifs sombres dans la Voie lactée | P. 71 |
| Interdisciplinaire | |
| Application biomédicale | P. 72 |
| Activités et événements marquants du musée Curie | P. 74 |

RÉFLEXIONS SUR LE FUTUR **P. 76****Astroparticule et neutrino**

| | |
|---|--------------|
| La mission spatiale Planck « Regarder vers l'aube du temps » | P. 78 |
| L'espace : un avenir privilégié pour l'Astroparticule | P. 79 |
| Mesure directe du rayonnement cosmique par les expériences AMS et Cream | P. 80 |
| T2K – Double Chooz | P. 81 |
| Préparation des détecteurs du collisionneur électron-positron ILC | P. 82 |
| Alto a fourni son premier faisceau | P. 85 |
| Spiral 2 : un projet majeur pour la production de noyaux exotiques | P. 86 |
| Agata : un spectromètre γ de nouvelle génération | P. 88 |
| Eurisol : vers une nouvelle génération de faisceaux radioactifs pour l'Europe | P. 89 |

RELATIONS PARTENAIRES **P. 90****La valorisation de la recherche à l'IN2P3** **P. 92****Partenariats**

| | |
|--|---------------|
| Les régions | P. 95 |
| Les universités | P. 96 |
| L'Europe communautaire, 6e programme cadre de recherche et développement | P. 97 |
| L'action internationale | P. 99 |
| Information scientifique et technique (IST) | P. 100 |
| La communication à l'IN2P3 en 2004-2006 | P. 101 |

PROGRAMMES ET STRUCTURES **P. 102****SIGLES ET ACRONYMES** **P. 115**