

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.

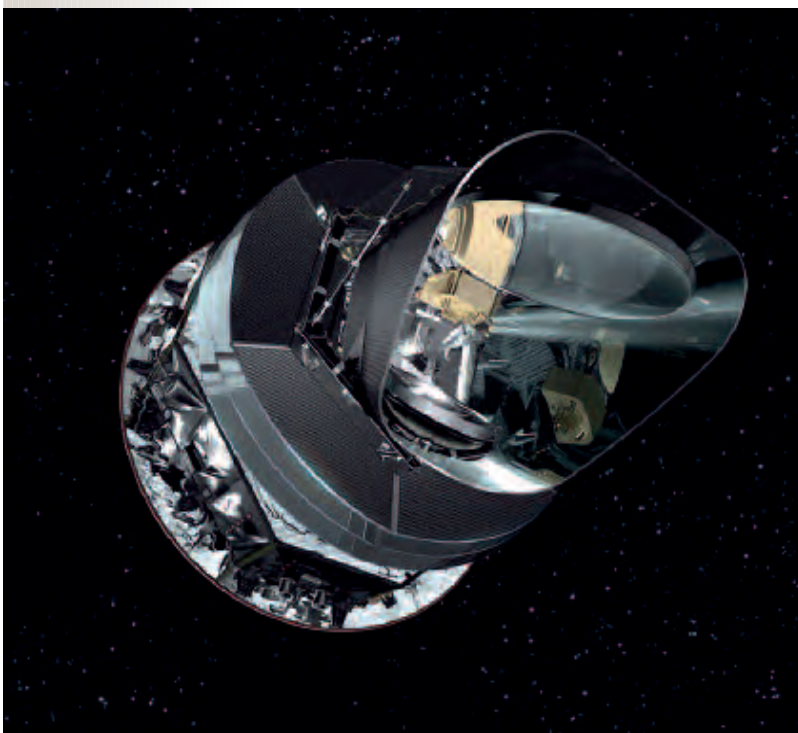
À partir de cette observable, une estimation de la géométrie de l'espace-temps et du contenu global en matière et en énergie de notre Univers est possible dans le cadre du Modèle Standard cosmologique. Ce modèle cohérent avec d'autres observables indépendantes provenant des supernovae de type Ia et des 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.

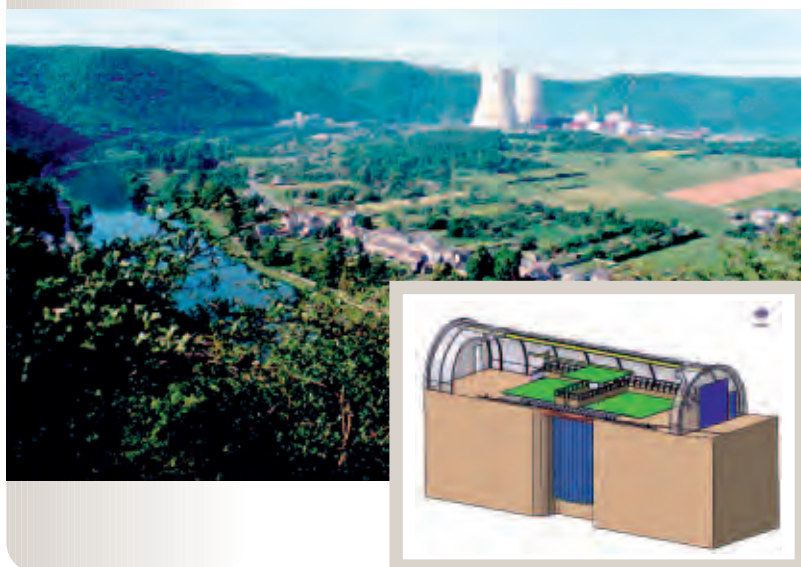
Une retombée de cette recherche concerne la lutte contre la prolifération nucléaire. L'AIEA souhaite voir étudier la possibilité de contrôler le fonctionnement des réacteurs nucléaires via les neutrinos émis. La mesure de la puissance du réacteur par ce moyen sera aussi étudiée.

 <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-

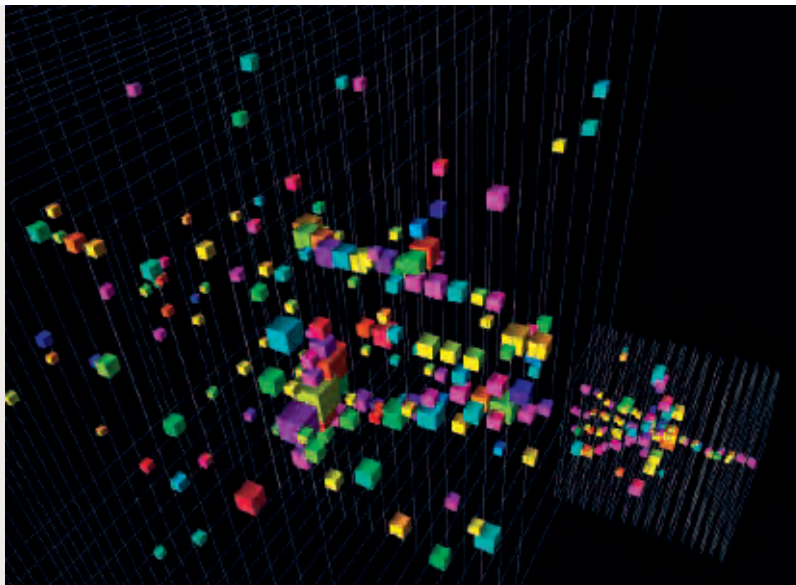
ationale Calice), - un mesureur de vertex innovant utilisant la technologie CMOS - la mesure des traces chargées par détecteurs silicium à micro-pistes et pixels (Collaboration internationale SiLC). Les équipes françaises ont été fondatrices et sont leader dans ces trois activités. Il y a de plus des 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.

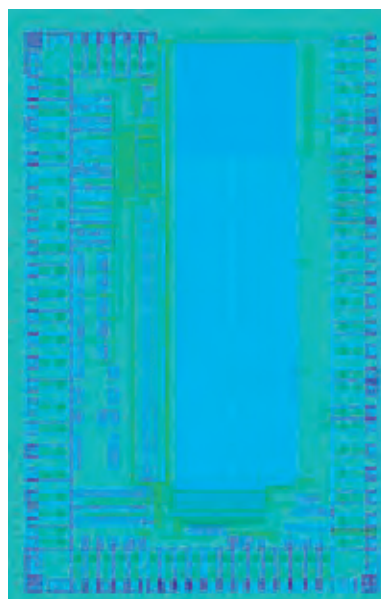
Les développements de ces calorimètres passent par la construction de prototypes qui sont ensuite testés en faisceau. Les laboratoires de l'IN2P3 ont ainsi fortement participé aux développements d'un prototype de calorimètre électromagnétique dont la première mouture a été testée de manière très satisfaisante 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.

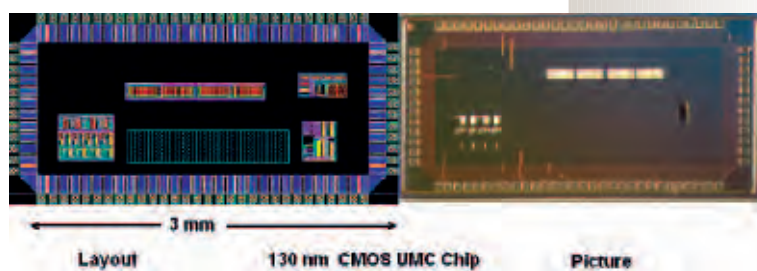
Chaque pixel a un microcircuit de suppression du bruit moyen. Le signal corrigé est sélectionné par des discriminateurs en bout des colonnes. Les tests sur faisceau ont validé cette architecture pour la suite du développement.

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 I
CEA/DSM : Dapnia/SPP.

Alto a fourni son premier faisceau

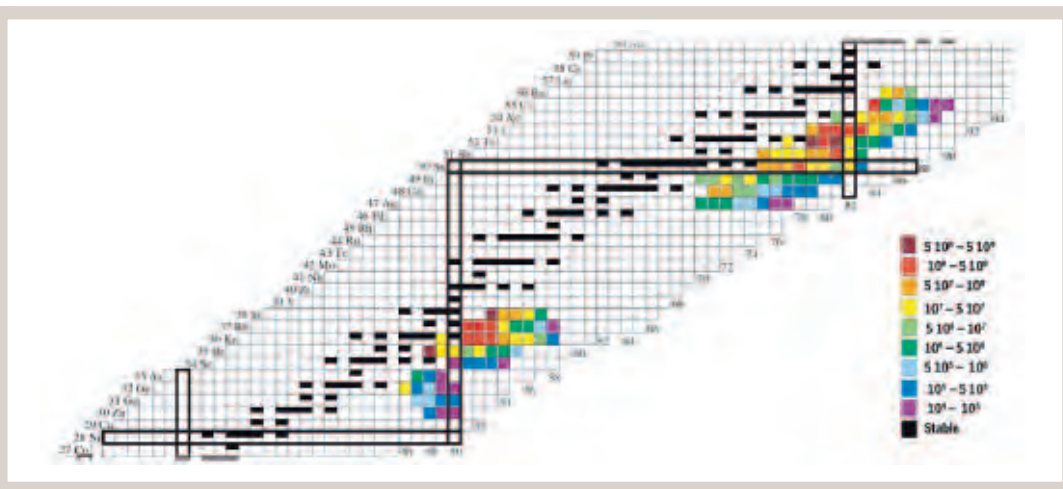
Fadi Ibrahim

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

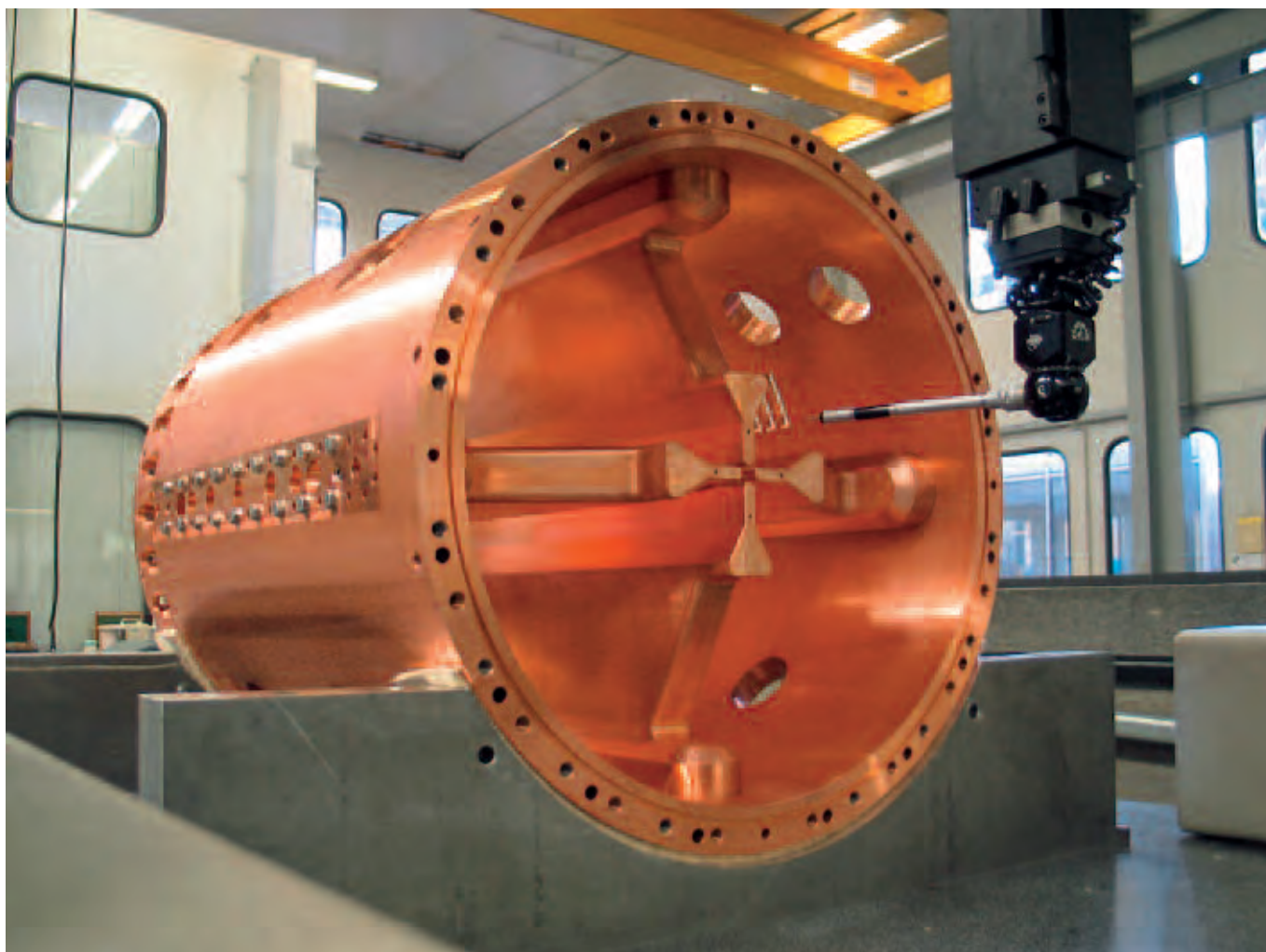
CENBG à Bordeaux, le CSNSM et l'IPNO à Orsay, l'IPHC à Strasbourg, l'IPNL à Lyon, le LPC à Caen et le LPSC à Grenoble)

- 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.

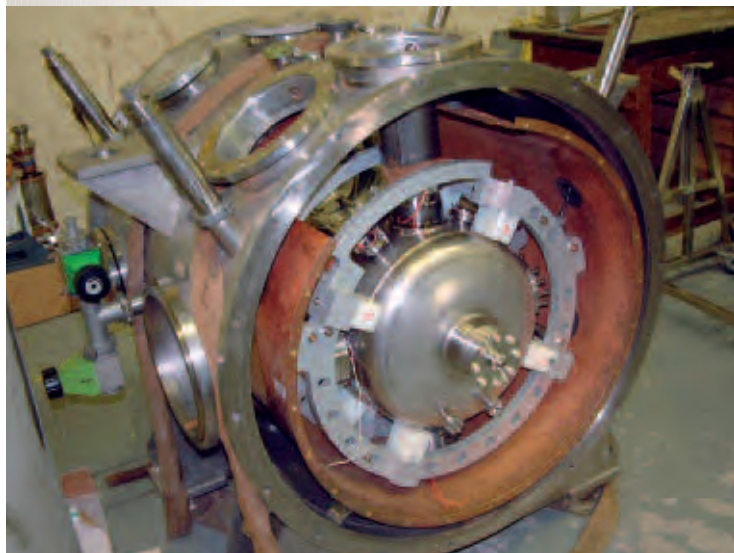
La fragmentation du projectile et la technique dite Isol (Isotope Separation On-Line) sont les deux principales méthodes pour produire des faisceaux radioactifs.

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.