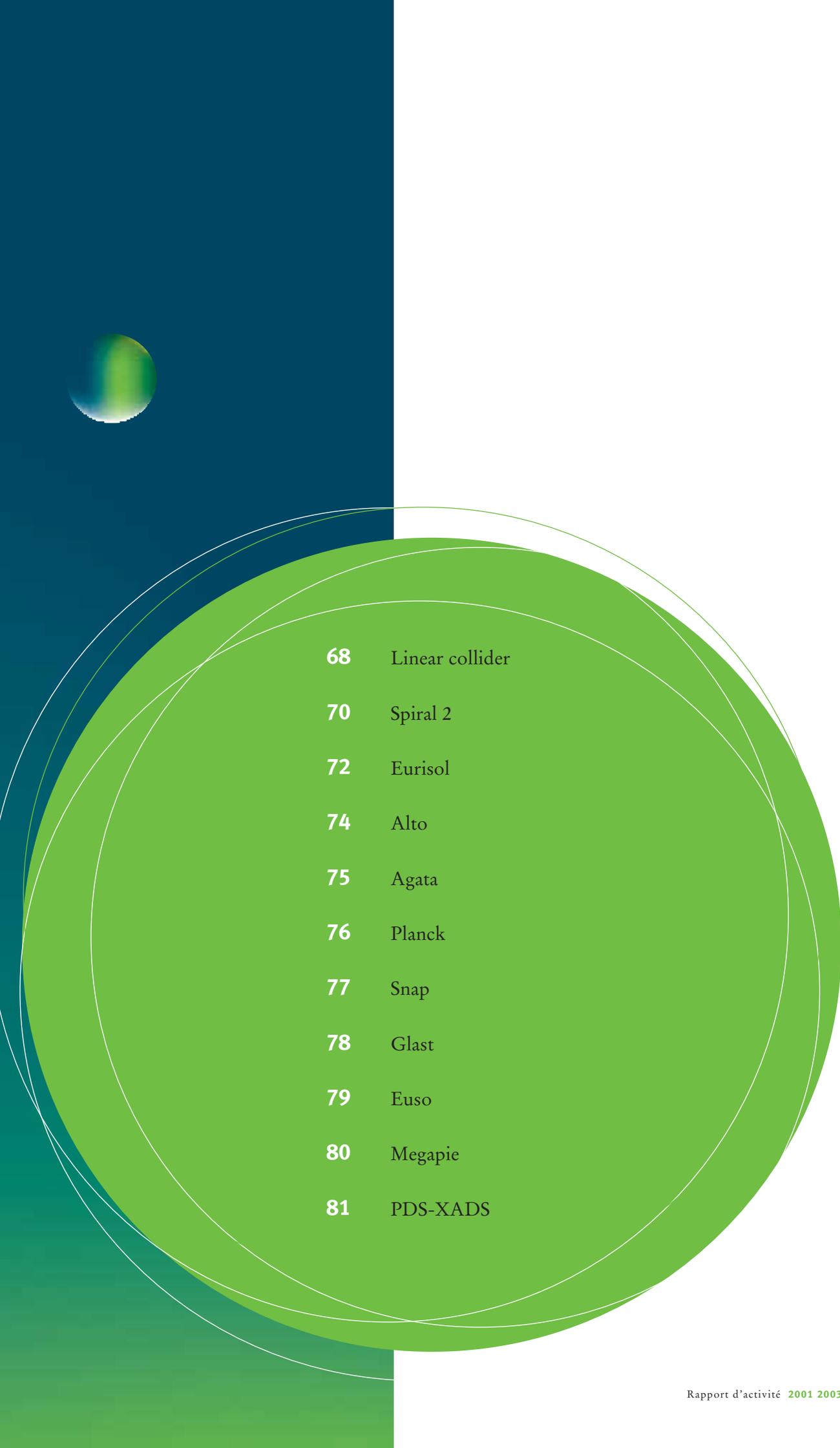


Projets



68 Linear collider

70 Spiral 2

72 Eurisol

74 Alto

75 Agata

76 Planck

77 Snap

78 Glast

79 Euso

80 Megapie

81 PDS-XADS



LC Instrumentation pour le collisionneur linéaire électron-positon

Après l'achèvement du LHC (Large Hadron Collider), le collisionneur proton-proton du Cern à Genève, la prochaine machine frontière en physique des particules doit être un collisionneur linéaire électron-positon (LC). Une série de R&D en instrumentation a été mise en œuvre pour élaborer un détecteur adapté au programme de physique attendu et aux spécificités d'une telle machine.

Les interactions e^+e^- ont la particularité d'être d'une grande simplicité d'interprétation. Ce point est illustré par la figure, qui montre la simulation Geant4 d'une interaction e^+e^- à 350 GeV, produisant deux bosons: un Z qui se désintègre en une paire de muons (les deux traces quasi droites dans le calorimètre) et un boson de Higgs dont la désintégration, ici en deux jets, constitue le reste de l'événement. On voit que l'étude des caractéristiques de ce boson de Higgs est aisée sur une telle machine. De plus, il faut noter que la contribution des processus physiques parasites, tels que les interactions photon-photon, est faible et permet de travailler sans sélection électronique rapide (*trigger*). Cela signifie que tout processus physique, même inattendu ou de signature difficile, est observable ici.

Sur cette machine, les productions de paires de bosons W, Z et H sont des processus importants qui peuvent être étudiés au mieux. Pour cela, les désintégrations des bosons en jets de hadrons doivent être utilisables, comme cela a été le cas à LEP2. Il faut donc pouvoir apparier les jets deux à deux en «boson», ce qui est faisable uniquement si la direction et l'énergie des jets sont précisément mesurées dans l'ensemble trajectographe-calorimètre. En outre, l'identification de la saveur des jets sera essentielle pour bon nombre de mesures physiques, en particulier pour l'étude des désintégrations du boson de Higgs, ce qui contraint les performances du détecteur de vertex.

Pour ce qui est des jets, il est clair qu'une reconstruction complète de l'événement, c'est-à-dire la reconstruction du 4-vecteur de chaque particule de l'état final, sera la meilleure. De plus, les faibles

contraintes sur le détecteur de ce type de machine permettent d'en concevoir un qui optimisera cette reconstruction complète sans abandonner la compacité et l'herméticité indispensables. Cette dernière propriété joue un rôle primordial pour la recherche de particules nouvelles caractérisées par de l'énergie manquante.

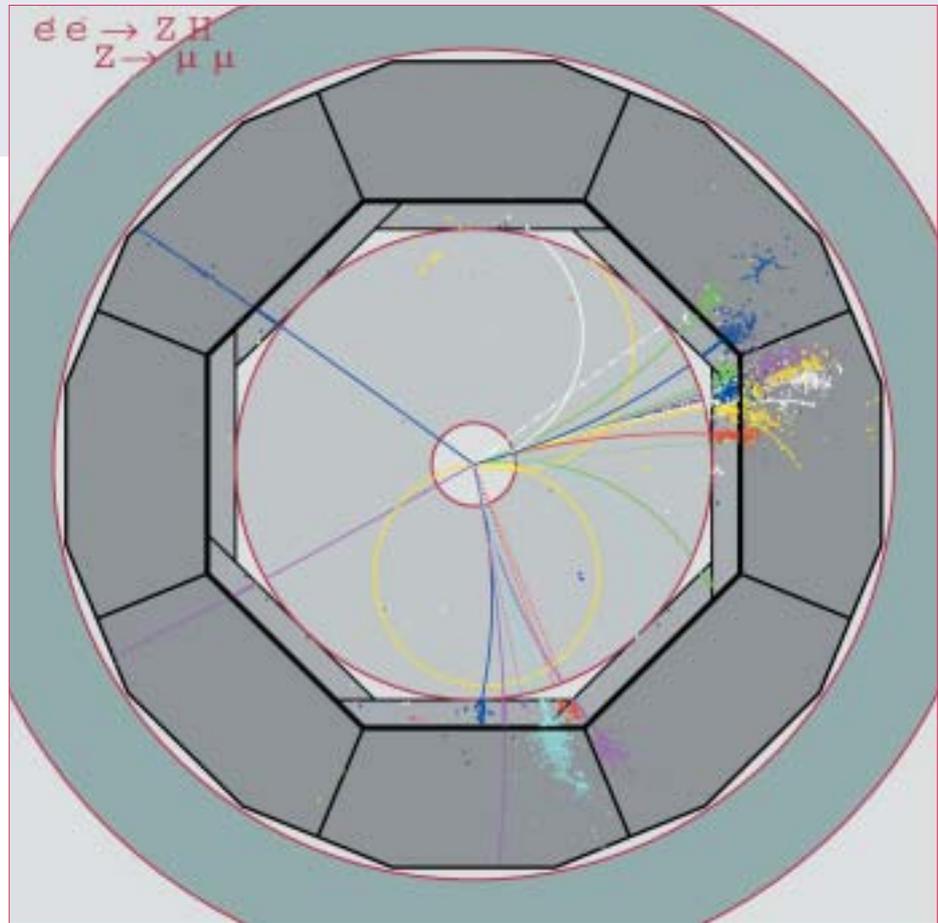
Pour des raisons historiques, datant de l'expérience Aleph, cette reconstruction complète a été appelée «*energy flow*». Dans cette technique, les traces chargées sont reconstruites dans le trajectographe, les photons dans le calorimètre électromagnétique (ECAL) et les hadrons neutres dans le calorimètre électromagnétique ou hadronique (HCAL). Pour éviter le double comptage de l'énergie, il est essentiel de séparer correctement dans le calorimètre les contributions provenant des particules neutres de celles provenant des débris des interactions de traces chargées. La faisabilité et la réalisation technique d'un tel détecteur font l'objet du programme de R&D.

Pour le détecteur de vertex, des capteurs de nouvelle génération en technologie CMOS, susceptibles d'offrir les performances ambitionnées, sont développés. Il s'agit d'aboutir à un capteur très granulaire à lecture rapide, de faible dissipation thermique et sensiblement plus résistant aux rayonnements intenses que les CCD. Il devra aussi offrir une quantité de matière à traverser très réduite, pour minimiser les effets (pertes en résolution, particules secondaires) provenant de l'interaction des particules avec la matière du détecteur. Les performances d'un tel capteur seront l'élément clé de la séparation de saveur b/c dans les jets, si importante pour l'étude du boson de Higgs.

Pour le trajectographe, deux approches sont possibles, l'une s'appuyant sur un grand nombre de points de précision moyenne, c'est la chambre à projection temporelle (TPC), l'autre reposant sur un nombre de points restreints mais très précis. Dans ces deux options, on trouve des groupes de l'IN2P3: d'une part, au sein

Afin d'éviter le problème de perte d'énergie due au rayonnement synchrotron dans les accélérateurs circulaires, une machine linéaire e^+e^- dans la gamme d'énergies allant de 90 GeV à 1 TeV a été proposée. Grâce à une telle machine, des mesures de grandes précisions seront réalisées. De plus, les mesures indirectes devraient apporter des contraintes différentes de celles obtenues de manière directe au LHC. Les prises de données LC concomitantes de celles du LHC, conduisant à un échange d'informations LHC-LC, seront d'un apport inestimable pour la compréhension de la physique des particules au-delà du Modèle standard.

Vue XY d'une annihilation e^+e^- en ZH à 350 GeV d'énergie au centre de masse. Le boson Z se désintègre en $\mu^+\mu^-$ (traces droites dans le calorimètre), le reste provient de la désintégration du boson de Higgs.
© CNRS/IN2P3



d'une R&D commune avec le Dapnia, sur l'utilisation de Micromégas comme système d'amplification des électrons produits par le passage de particules chargées dans le gaz de la TPC et qui dérivent le long de l'axe de la chambre jusqu'au plan de lecture; d'autre part, dans le cadre de la collaboration internationale Silc, sur un trajectographe à éléments en silicium de grandes longueurs pouvant remplacer ou compléter une TPC. Cette R&D s'inscrit dans la poursuite des avancées relatives à cette technologie menées à bien pour le développement des trajectographes à silicium pour le LHC et l'astroparticule spatiale.

Enfin, pour ce qui est de la calorimétrie, trois laboratoires de l'IN2P3 et un de SPM participent à la collaboration internationale Calice. Cette collaboration se propose d'effectuer l'ensemble des R&D conduisant à la définition d'un calorimètre qui optimise les performances de l'energy flow. Comparant la réponse du calorimètre à une photographie, on peut

aisément se convaincre que le nombre de pixels de la «photo» déterminera la qualité de la séparation des différentes contributions. Cela a conduit à une proposition de calorimètre ultrasegmenté, avec des tailles de pixels de l'ordre du cm^2 , conduisant à un détecteur de quelques dizaines de millions de pixels. Un prototype de ECAL est en cours de construction et sera testé prochainement en faisceau.

La participation des laboratoires de l'IN2P3 dans ces collaborations est importante, avec des contributions allant des études de mécanique à l'électronique de lecture. Il faut de plus citer Mokka, la simulation du détecteur développée par l'Institut dans le cadre de Geant4, qui est maintenant l'outil officiel de simulation de la communauté FLC, ou encore une simulation rapide, SGV, également développée par l'Institut.

À la suite de l'ensemble de ces R&D, une proposition réaliste de détecteur pourra être formulée.

-  Collaboration Silc: <http://scipp.ucsc.edu/SILC/> et site du LPNHE <http://lpnhe-lc.in2p3.fr>
- Collaboration Calice: <http://polywww.in2p3.fr/flc/calice.html>
- Simulation Mokka: <http://polywww.in2p3.fr/geant4/tesla/www/mokka/mokka.html>
- A TPC for a future linear collider, Note DESY LC-DET-2002-18.

LABORATOIRES FRANÇAIS DE LA COLLABORATION

CNRS/IN2P3: IReS, LAL, LPNHE, LPC Clermont, LLR. | CNRS/SPM: PICM. | CEA/DSM: Dapnia. | Université Louis-Pasteur: LEPSI.



Antonio Villari

SPIRAL2 La production et l'accélération de produits de fission

La physique des ions exotiques connaît depuis quelques années un développement très important de par le monde. L'installation Spiral, au Ganil à Caen, qui a démarré en septembre 2001, vise l'étude de noyaux exotiques ayant des masses inférieures à $A = 80$. Le nouveau projet Spiral2 élargit cette région jusqu'aux masses $A = 160$ en utilisant de nouvelles technologies.

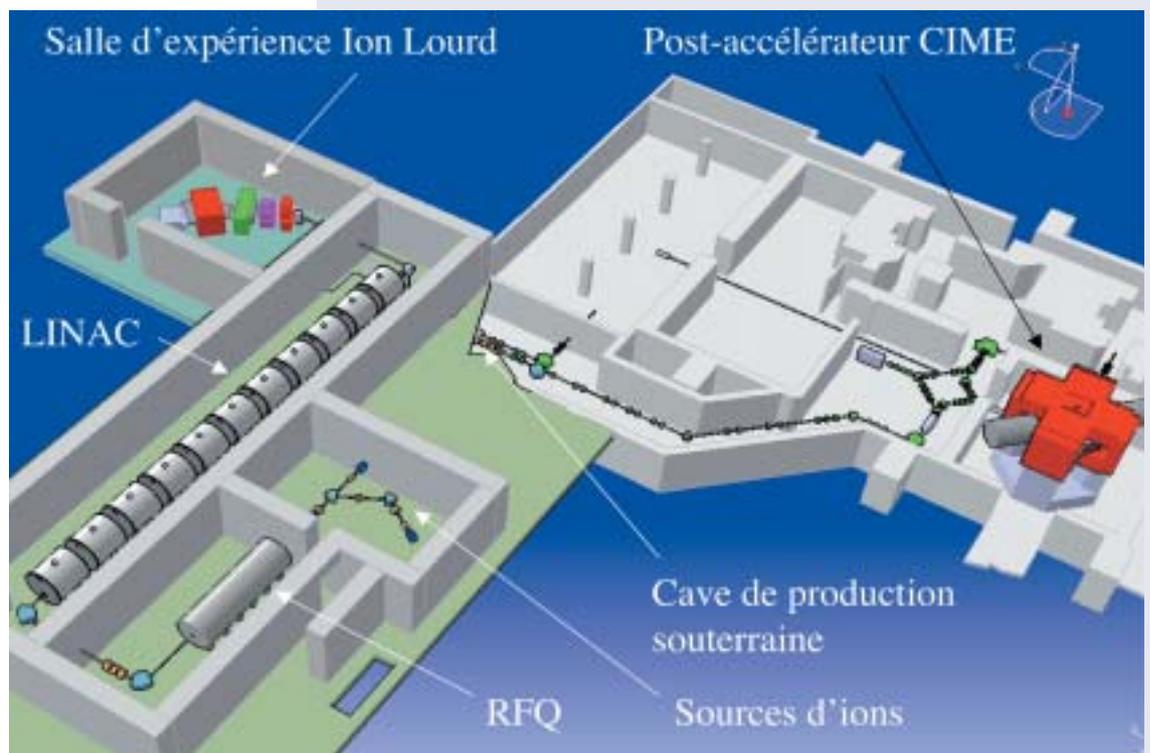
L'interaction des neutrons et des protons produit une incroyable variété de noyaux: tous les éléments qui constituent notre Univers, du plus léger, l'hydrogène, au plus lourd des éléments naturels, l'uranium. Notre connaissance du monde subatomique a d'abord été fondée sur l'étude des noyaux présents sur Terre, qui ont été forgés par les étoiles, il y a plusieurs milliards d'années. Les noyaux stables sont en équilibre: leur cohésion est telle qu'aucune

transmutation radioactive n'est possible. Pour une masse donnée, la proportion des neutrons et des protons correspond aux structures les plus liées par l'action conjuguée des différentes interactions: l'attraction forte, le couplage d'appariement, le spin orbite et la répulsion coulombienne. La nature, dans les processus de nucléosynthèse, et l'homme, avec les accélérateurs de particules, savent produire des noyaux hors de cet équilibre. C'est le domaine des noyaux exotiques, des noyaux instables qui n'existent pas à l'état naturel sur Terre.

Selon les estimations actuelles, de 5 000 à 7 000 noyaux liés devraient pouvoir exister, mais seulement 2 000 d'entre eux ont été observés à ce jour. De plus, hormis pour les quelque 250 espèces stables, très peu d'informations ont pu être obtenues sur ces noyaux instables. Par exemple, le premier état excité de seulement 540 espèces nucléaires a pu être observé.

Pour sonder un noyau et caractériser ses propriétés, il faut lui faire subir diverses réactions nucléaires. Dans le cas des

Vue artistique
du projet Spiral2.
© CNRS/IN2P3-CEA



noyaux stables, il suffit d'en constituer une cible et de la bombarder de particules appropriées. Instables et rares, les noyaux exotiques ne peuvent être rassemblés en cible; en étudier les réactions semble donc impossible. La révolution est venue de la possibilité de constituer des faisceaux de noyaux exotiques. Au lieu d'envoyer la sonde sur le noyau à sonder, il suffit d'envoyer le noyau exotique sur la sonde. Les faisceaux de noyaux exotiques ouvrent ainsi un vaste champ d'étude.

Les réactions nucléaires sont les outils qui permettent de produire les noyaux exotiques en laboratoire. Plusieurs mécanismes sont utilisés. Avec les faisceaux d'ions lourds du Ganil, des réactions de fragmentation se produisent lorsque le faisceau primaire, à une énergie supérieure à quelques dizaines de MeV/nucléon (ce qui correspond à des vitesses de l'ordre de 30 à 50 % de la vitesse de la lumière), heurte une cible. Dans ces réactions, le projectile et la cible perdent une partie de leurs nucléons, produisant ainsi toutes sortes de noyaux plus légers, dont certains peuvent être très exotiques. Dans Spiral, la méthode de production utilisée est appelée Isol (*Isotopic Separation On-Line*). Elle consiste à arrêter les noyaux exotiques produits lors de la collision avec une cible épaisse pour ensuite les accélérer à l'énergie souhaitée avec le cyclotron Cime, soit entre 1,7 et 25 MeV/nucléon pour Spiral.

À l'heure actuelle, les études expérimentales sont encore souvent limitées aux noyaux exotiques les plus légers, car seuls ces faisceaux sont disponibles avec des intensités suffisantes. Il faudrait donc, d'une part, élargir la gamme des noyaux qui pourront être étudiés pour mieux contraindre les modèles, et, d'autre part, augmenter les intensités disponibles pour pouvoir effectuer des expériences plus sélectives et détaillées et ainsi approfondir notre compréhension du noyau. Le projet Spiral2 répond à ces deux souhaits en proposant l'utilisation

de la fission induite par des neutrons rapides dans une cible de carbure d'uranium comme moyen de production de noyaux exotiques. La fission sera induite par les neutrons produits par un faisceau de deutons de forte intensité (5 mA) sur un convertisseur de carbone. Les fragments de fission de l'uranium, extraits par la méthode Isol, permettront d'explorer une région de noyaux riches en neutrons et de masse comprise entre 80 et 160, encore très peu connue. Des noyaux riches en protons pourront aussi être produits par des réactions de fusion-évaporation sur des cibles plus légères, avec des ions lourds fournis par le même accélérateur primaire ($E = 14$ MeV/nucléon), ouvrant des possibilités d'étude de noyaux à courte durée de vie *via* la méthode en-vol. En particulier, cet accélérateur de très haute intensité pourra être utilisé pour les études de synthèse de noyaux superlourds, c'est-à-dire pour la synthèse d'éléments plus lourds que l'uranium. La production, avec des intensités jamais atteintes, de noyaux légers radioactifs pas très éloignés de la ligne de stabilité ouvrira également la possibilité de rechercher des configurations exotiques telles que $^{6,8}\text{n}$.

Un des points les plus forts du projet Spiral2 sera l'étude du processus-r, liée à la nucléosynthèse des noyaux dans l'Univers. Le chemin de la nucléosynthèse passe par une région de la charte des nucléides exotiques, riches en neutrons. Ces noyaux, de courte durée de vie, seront très abondamment produits par Spiral2, permettant l'étude de leurs caractéristiques fondamentales, comme leur durée de vie, leur énergie de liaison ou leur décroissance radioactive, et, grâce au cyclotron Cime, la mesure de sections efficaces pour des réactions d'intérêt astrophysique. Un autre point d'importance sera la synthèse d'isotopes inconnus de noyaux très lourds, ayant un nombre atomique supérieur à 102. La synthèse de ces noyaux est fondamentale afin de valider l'identification de nouveaux éléments superlourds en reconstruisant leurs chemins de décroissance.

Pour l'augmentation des intensités et la variété des faisceaux au Ganil, Spiral2 est une première étape qui s'inscrit dans la continuité des développements actuels. Dans le contexte international, Spiral2 est le premier accélérateur de haute puissance supraconducteur au monde (200 kW de puissance accélérée) et, concernant les intensités des noyaux exotiques produits, le plus intense dans la région de masses proposée. Par ailleurs, il fournira une source de neutrons puissante, la plus intense dans son domaine d'énergie, qui permettra des applications diverses, en particulier des études de matériaux pour le réacteur de fusion contrôlée Iter.

Sous la tutelle de l'IN2P3(CNRS) et de la DSM(CEA) et comptant sur un fort soutien de la région Basse-Normandie, l'APD Spiral2, auquel LNL-INFN (Italie) et PNPI-Gatchina (Russie) collaborent déjà, a démarré en novembre 2003 pour une durée de deux ans. Le premier faisceau radioactif de Spiral2 est prévu pour la fin 2008.



<http://www.ganil.fr/research/development/spiral2/index.html>

Images de la physique 2004, CNRS, à paraître.

I. Tanihata, Special issue on research opportunities with accelerated beams of radioactive ions, *Nucl. Phys. A693* (2001) n°s 1, 2.

P. Chomaz, Faut-il réinventer la physique nucléaire ?, *La Recherche* 335, octobre 2000.

LABORATOIRES FRANÇAIS DE LA COLLABORATION

CNRS/IN2P3: IPNO, LPC Caen, LPSC, IReS, CENBG. | CEA/DAM: DPTA. | CEA/DSM: Dapnia.



EURISOL Une nouvelle génération de faisceaux radioactifs

Les physiciens nucléaires européens proposent l'étude et la construction d'une installation de faisceaux radioactifs de type Isol de nouvelle génération: Eurisol. Cette installation fournira des faisceaux radioactifs d'intensités jusqu'à trois ordres de grandeur supérieures aux machines actuelles et renforcera le rôle de leader de l'Europe en physique nucléaire au cours de la décennie 2010-2020.

La nature est composée d'environ trois cents noyaux stables. Ces derniers ont été largement étudiés et la modélisation détaillée de leur structure est un des grands succès de la physique du XX^e siècle. Cependant, les modèles nucléaires prévoient l'existence de plus de six mille combinaisons instables de neutrons et de protons: les noyaux radioactifs. Ces édifices, dont le rapport nombre de protons/nombre de neutrons peut s'éloigner beaucoup de celui des noyaux stables, existent pendant de courts instants lors d'événements stellaires explosifs. Ils passionnent depuis longtemps les physiciens nucléaires par leurs propriétés exotiques et, au cours des deux dernières décennies, l'avènement de faisceaux constitués de ces noyaux radioactifs a permis des avancées spectaculaires dans leur compréhension. Il y a deux méthodes pour produire des faisceaux radioactifs: la fragmentation

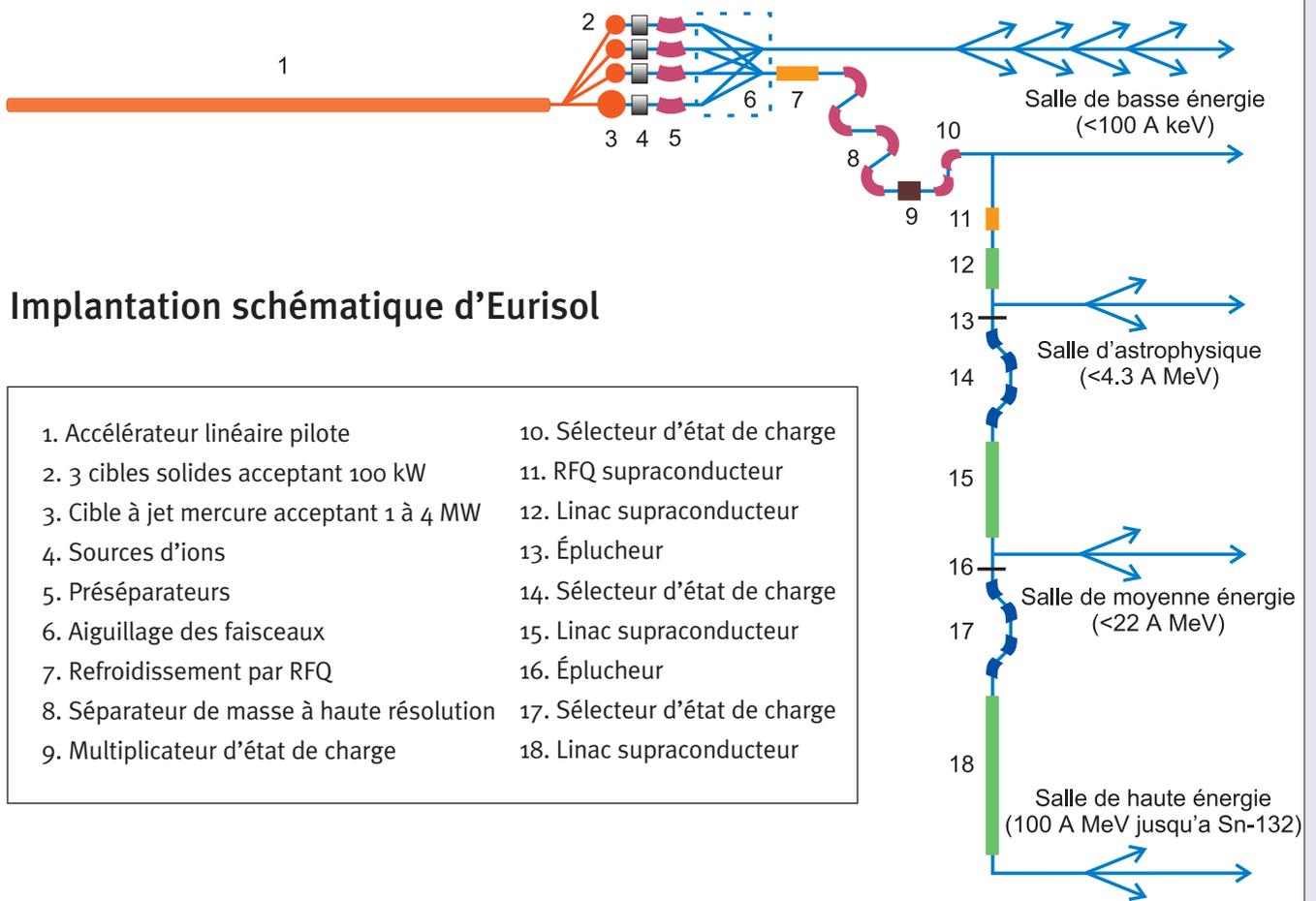
du projectile et Isol. La première fournit une grande variété de faisceaux de haute énergie mais avec des qualités de résolution modestes, alors que la seconde offre des faisceaux de qualités comparables aux faisceaux stables mais généralement limités en types d'ions et en énergie. Les limitations des installations actuelles freinent les avancées scientifiques, ce qui a amené la communauté des physiciens nucléaires, représentée par l'organisation européenne NuPECC, à proposer, au niveau européen, deux installations complémentaires de nouvelle génération, l'une de type fragmentation qui résulterait d'une transformation de l'actuel GSI-Darmstadt et l'autre de type Isol appelée Eurisol. Cette dernière permettra, d'une part, d'aborder de nouvelles frontières scientifiques telles que la compréhension de la structure de la matière nucléaire aux confins de la stabilité, la production de noyaux hyperdésformés ou superlourds ou encore les processus de nucléosynthèse explosive, et, d'autre part, de réaliser des tests de haute précision du Modèle standard. De plus, Eurisol sera la source d'une vaste panoplie de radio-isotopes à usage médical.

Une étude de faisabilité de l'installation Eurisol indépendante du site a été réalisée dans le cadre d'un contrat du 5^e PCRD. Ce travail a été mené par onze laboratoires émanant de huit pays européens et coordonnés par le laboratoire Ganil. La figure illustre une vue schématique du projet Eurisol. L'installation peut être décomposée en quatre parties principales: un accélérateur pilote qui délivre le faisceau primaire, un ensemble cible-source où sont produits les ions radioactifs, un postaccélérateur dans

lequel ces derniers sont portés à leur énergie finale et un ensemble d'aires expérimentales.

L'option de base pour l'accélérateur pilote est un accélérateur linéaire à protons à faisceau continu d'énergie 1 GeV et de puissance 5 MW. La possibilité de l'étendre à l'accélération de deutons et d'ions lourds pourrait augmenter l'intensité de certains faisceaux de noyaux radioactifs. La cible principale, qui permettra d'accepter la totalité de la puissance de l'accélérateur pilote, sera composée d'un convertisseur à jet de mercure produisant des neutrons qui induiront la fission de l'uranium ou du thorium entourant le convertisseur. Un autre type de cible permettra d'accepter directement plusieurs centaines de KW de protons incidents pour la production de noyaux légers et de noyaux déficients en neutrons. Le post-accélérateur de type linéaire supraconducteur permettra l'accélération simultanée de plusieurs états de charge et aura une transmission proche de 50 %. Quatre halls expérimentaux sont prévus pour exploiter pleinement la gamme en énergie continue délivrée, qui ira de 100 keV/nucléon (ions proches de l'arrêt) à 100 MeV/nucléon. Cette énergie maximale élevée permettra la fragmentation secondaire des faisceaux radioactifs, afin de s'approcher au plus près des confins de la liaison nucléaire.

Des intensités inégalées de faisceaux radioactifs accélérés seront produites, par exemple 5.10^{13} ⁶He par seconde ou encore 9.10^{11} ¹³²Sn. Pour les noyaux riches en neutrons, les intensités délivrées seront supérieures sur une large gamme de masses à celles prévues pour les futures installations de fragmentation comme GSI, par exemple pour les noyaux de ⁷⁴⁻⁹⁸Kr. Le coût total de l'installation Eurisol, si elle était construite sur un site vierge, a été estimé à 600 M€. La possibilité d'utiliser les faisceaux remarquablement intenses de ⁶He et ¹⁸Ne d'Eurisol comme base pour la production de faisceaux de neutrinos purs en saveur (faisceau bêta) est aussi envisagée. Le projet pourrait



Vue schématique
du concept Eurisol, tirée
de l'ouvrage The
Eurisol Report réalisé
sous le contrat européen
HPRI-CT-1999-50001.

ainsi servir une autre communauté scientifique importante.

Plusieurs sujets nécessaires de R&D ont été identifiés. Ils concernent en particulier les cavités accélératrices supraconductrices, la cible à jet de mercure, les cibles solides et la radioprotection associée, ainsi que les sources d'ions multi-chargés. De nombreuses synergies ont été identifiées avec la R&D concernant les usines à neutrinos, les réacteurs hybrides (*Accelerator Driven System* - ADS) et les sources de neutrons de spallation.

Une feuille de route allant jusqu'à la construction d'Eurisol a été établie au niveau européen. Elle comporte trois jalons essentiels :

- l'exploitation scientifique vigoureuse et l'amélioration continue des installations Isol actuelles: Spiral, REX-Isolde...;

- la construction de trois installations nouvelles de génération dite «intermédiaire», Spiral 2 (France), Maff (Allemagne) et Spes (Italie) qui mettront chacune en exploitation des technologies nouvelles applicables au concept Eurisol;

- une étude de faisabilité technique détaillée (*Design Study*) accompagnée de la construction de prototypes d'éléments spécifiques novateurs de l'ensemble Eurisol, dont le financement a été récemment demandé à la Communauté européenne.

La réalisation de cet ambitieux programme, que soutient pleinement l'IN2P3 et

auquel participent avec enthousiasme ses laboratoires, permettra à l'Europe de renforcer son rôle de leader en physique nucléaire au cours de la prochaine décennie et au-delà.



<http://www.ganil.fr/eurisol>

LABORATOIRES FRANÇAIS DES COLLABORATIONS

RTD EURISOL:

CNRS/IN2P3: Ganil, IPNO. |

CEA/DSM: Dapnia.

DESIGN STUDY EURISOL:

CNRS/IN2P3: Ganil, IPNO, LPC Caen,

CENBG. |

CEA/DSM: Dapnia.



Fadi Ibrahim

ALTO Un accélérateur d'électrons pour des faisceaux radioactifs riches en neutrons

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 d'Orsay. Cette installation, qui sera opérationnelle dès 2005, 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.

L'étude des noyaux loin de la stabilité, constitutive de l'histoire de la physique nucléaire dès son origine, connaît un essor considérable. Parmi les nucléides les plus éphémères, ceux situés aux frontières de notre connaissance sont qualifiés d'«exotiques». Étudier ces noyaux, c'est se donner la chance d'accéder à des informations nouvelles sur la structure nucléaire et ainsi de mesurer la validité de notre conception de la matière nucléaire lorsque celle-ci est poussée dans des états «extrêmes».

La production de noyaux exotiques s'est avérée un défi permanent dans la poursuite de leur étude et les difficultés rencontrées ont laissé une grande part des noyaux riches en neutrons dans l'inconnu. Afin d'accéder à ces vastes réserves de découvertes intactes, il est nécessaire de produire ces noyaux en quantité et sous la forme de faisceaux accélérés. Les problèmes que soulève la mise en œuvre de tels faisceaux suscitent à l'heure actuelle un énorme effort de réflexion et de mise au point technique.

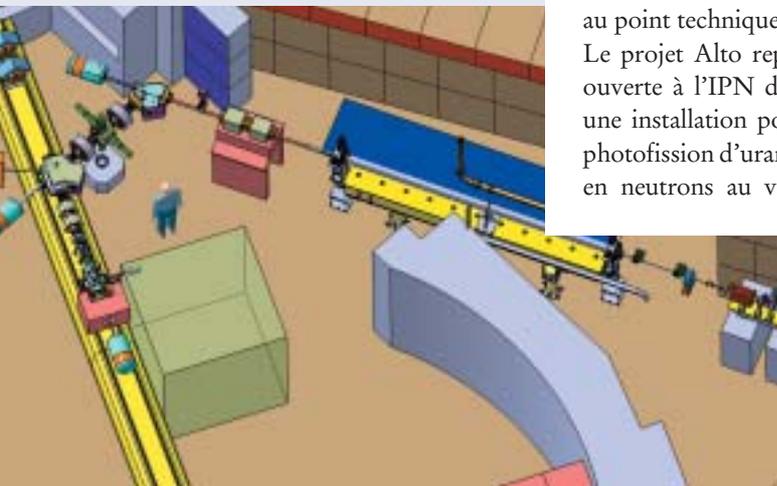
Le projet Alto repose sur l'opportunité ouverte à l'IPN d'Orsay de développer une installation pour la production, par photofission d'uranium, d'isotopes riches en neutrons au voisinage des nombres

magiques $N = 50$ et 82 . Il profite de la possibilité de compléter les installations du Tandem et du dispositif Parnne par un accélérateur d'électrons de 50 MeV d'énergie et de 10 μ A de courant moyen. L'intensité (nombre de fissions par seconde) est du même ordre de grandeur que sur les autres machines existantes: Isolde, Osiris, HRIBF. La combinaison d'une production par pure fission à basse énergie, sans contaminations par des isobares déficitaires en neutrons, et la possibilité d'utiliser des sources d'ions chimiquement sélectives assurent à Alto une niche importante pour la production de faisceaux uniques en pureté d'une trentaine de «nouveaux» isotopes très riches en neutrons.

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 telles que la forme ou la masse.

Alto a pour vocation d'être un banc d'essai pour les futures installations de faisceaux exotiques Spiral2 et Eurisol. En effet, l'un des points les plus sensibles de ces deux projets concerne l'optimisation des ensembles cibles-sources dont dépend directement la production des noyaux exotiques. Les travaux menés sur ce sujet auprès d'Alto permettront de produire les faisceaux Spiral2 dans des conditions optimales.

Par ailleurs, Alto vient conforter la politique d'ouverture pluridisciplinaire du Tandem d'Orsay, que ce soit en termes d'applications à la chimie, à la biologie et à la physique atomique et de la matière condensée, ou en termes d'applications industrielles, telle la validation de composants pour le spatial.



Alto en situation.
© CNRS/IN2P3



F. Ibrahim, *Physics of Atomic Nuclei* 66 (2003) 1399.
S. Essabaa, *Nucl. Instr. Meth. B204* (2003) 780.

**LABORATOIRES FRANÇAIS
DE LA COLLABORATION**

CNRS/IN2P3: IPNO, LAL.



AGATA

Un spectromètre de nouvelle génération

Gilbert Duchêne



Agata est un spectromètre gamma révolutionnaire fondé sur la reconstruction du parcours des photons dans le germanium. Le projet, qui regroupe dix nations et quarante laboratoires, est en phase de R&D jusqu'à la fin 2007. Six laboratoires français y sont fortement impliqués dans la plupart des domaines de développement.

Vue d'un cristal coaxial biseauté de section hexagonale, de 9 cm de long et 8 cm de diamètre, segmenté en 36 (6 secteurs et 6 tranches). Dans sa configuration 180 détecteurs, Agata comporte environ 7000 segments. © University zu Köln, Allemagne

Agata (*Advanced Gamma Tracking Array*) est un spectromètre gamma (γ) 4π révolutionnaire car fondé pour la première fois sur la reconstruction du parcours du rayon γ dans les détecteurs germanium (Ge). Uniquement constitué de Ge, contrairement aux appareillages actuels (Euroball en Europe et 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: 1° les déformations extrêmes et symétries du noyau; 2° la structure des noyaux très exotiques à la limite de la cohésion; et 3° la structure des noyaux superlourds.

Un rayonnement γ diffuse plusieurs fois dans le détecteur avant absorption totale dans le cristal de Ge: une détermination précise des points d'interaction, alliée aux lois de diffusion rayonnement-matière, permettra de reconstituer sa trajectoire. Pour cela, les cristaux de Ge sont subdivisés électriquement en petits volumes de détection élémentaires (~ 10 cm³) appelés «segments». La précision sur la position du point d'interaction, de l'ordre du centimètre, est encore améliorée (quelques millimètres) par l'étude de la forme des signaux électriques issus des segments, analyse ren-

due possible par la «digitalisation» et le traitement en ligne des impulsions. À partir des coordonnées des points d'interaction ainsi déterminées et des énergies 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.

Agata suppose qu'un effort important de R&D soit réalisé tant en technologie Ge qu'en électronique numérique et en logiciels d'analyse de formes d'impulsion et de tracking. Ce travail est réalisé au sein d'une large collaboration européenne regroupant dix pays (Allemagne, Bulgarie, Danemark, Finlande, France, Italie, Pologne, Roumanie, Suède et Royaume-Uni) et quarante laboratoires dont six français. Ces derniers sont impliqués dans de nombreux domaines, et tout spécialement dans le développement des préamplificateurs des segments, de calculs de simulation Geant, de l'électronique frontale, de cartes et de logiciels d'analyse de formes d'impulsion, de l'analyse des données et, vraisemblablement, du «slow control» du «hardware» d'Agata. Diverses configurations du spectromètre, fondées sur des cristaux Ge coaxiaux ou planaires, ont été explorées. La géométrie finale comportera plus d'une centaine de comp-

teurs du type de celui présenté dans la figure.

La phase de R&D s'étendra jusqu'à la fin 2007, date à laquelle un démonstrateur correspondant à ~ 10 % d'Agata sera testé en conditions expérimentales afin de valider les choix technologiques réalisés. Tout au long de la construction de l'appareillage complet qui devrait débuter dès 2008, des sous-ensembles du spectromètre seront exploités.

Diverses applications des techniques développées pour Agata sont envisagées, notamment la réalisation de caméras γ constituées de cristaux semi-conducteurs multisectionnés pour l'imagerie médicale.



<http://www-wzk.gsi.de/agata/>
J. Gerl et W. Korten (eds.), *Agata, Technical proposal for an Advanced Gamma Tracking Array for the European gamma spectroscopy community*, GSI Darmstadt, 2001.
I. Piqueras Pacheco et al., *Nucl. Instr. Meth. A* 516 (2004) 122 et références internes.

LABORATOIRES FRANÇAIS DE LA COLLABORATION

CNRS/IN2P3: GaniL, CSNSM, IPNO, IReS, IPNL. I CEA/DSM: Dapnia.



François Couchot

PLANCK Un satellite pour l'étude du rayonnement de fond cosmologique

Planck est un satellite européen de troisième génération destiné principalement à l'étude du rayonnement de fond cosmologique. Ses mesures permettront de contraindre les modèles cosmologiques au pour-cent. Elles testeront, entre autres, notre représentation des phénomènes en jeu dans l'Univers primordial à des énergies de l'ordre de 10^{16} GeV.

Planck est un projet phare de la cosmologie. Ses cartes du ciel complet auront un retentissement important sur notre connaissance de la physique de l'Univers primordial et sur la détermination des paramètres cosmologiques (entre autres, les propriétés de l'énergie sombre), mais aussi sur la physique concernant les neutrinos, l'évolution des grandes structures, le milieu intergalactique, les amas, le milieu interstellaire et le champ magnétique dans notre galaxie, et les petits objets du système solaire. Planck apportera un gain d'un ordre de grandeur en sensibilité sur son prédécesseur WMAP, pour des pixels dix fois plus petits en surface. La large gamme spectrale couverte, de 30 à 1 000 GHz dans neuf bandes distinctes, lui permettra de maîtriser les diverses contaminations, y compris pour la mesure de la polarisation.

La France contribue pour 40 % à la construction de l'instrument HFI (*High Frequency Instrument*) de Planck, estimée à 140 M€. Le projet est dirigé par l'Insu qui coordonne la réalisation de l'instrument et le traitement des données. L'IN2P3 représente environ la moitié des forces françaises de HFI. Ses équipes sont bien insérées dans cette collaboration avec l'Insu, le SPM/CNRS, le CEA et le Cnes, laquelle se tisse depuis maintenant sept ans à travers Archeops et Planck.

Les responsabilités majeures de l'IN2P3 dans la construction de HFI concernent l'électronique et l'informatique embarquée (processeur de contrôle de l'instrument, compression des données, processeur de contrôle de la machine 20 K, pilotage de la machine 0,1 K), ainsi que

l'étalonnage au sol (étude et réalisation de dispositifs optiques, participation à l'automatisation du cryostat, pilotage et simulation de l'ensemble). Les prototypes ont été réalisés et ont subi les tests d'environnement spatial. Les premières livraisons et les premières phases de l'étalonnage auront lieu en 2004.

Par ailleurs, l'Institut est également responsable du traitement des données de niveau 1 et très impliqué dans la préparation du traitement des données de niveau 2 qui aboutira aux cartes corrigées des effets instrumentaux. Jusqu'ici, les développements ont surtout concerné le cadre de développement logiciel et son architecture générale. Dans les prochaines années, le savoir-faire acquis dans l'analyse d'Archeops sera appliqué à HFI.

Les équivalents temps plein des ITA au développement de HFI avant le lancement sont estimés à 124. Les budgets associés, fournis par le Cnes (et l'ESA en ce qui concerne la majeure partie des composants électroniques de vol), sont d'environ 6,2 M€.

Maquette du satellite Planck chez Alcatel.
© ESA



- <http://www.planck.fr/>
- <http://www.rssd.esa.int/?project=PLANCK>

J. M. Lamarre *et al.*, The Planck high frequency instrument, a third generation CMB experiment, and a full sky submillimeter survey, *New Astronomy Reviews*, Vol. 47, Issue 11-12 (2003) 1017-1024.

LABORATOIRES FRANÇAIS DE LA COLLABORATION

CNRS/IN2P3: APC-PCC, LAL, LPSC. |

CNRS/SPM: CRTBT. |

CNRS/Insu: CESR, IAP, IAS, LAOG, LERMA. |

CEA/DSM: Dapnia (SAP et SPP).



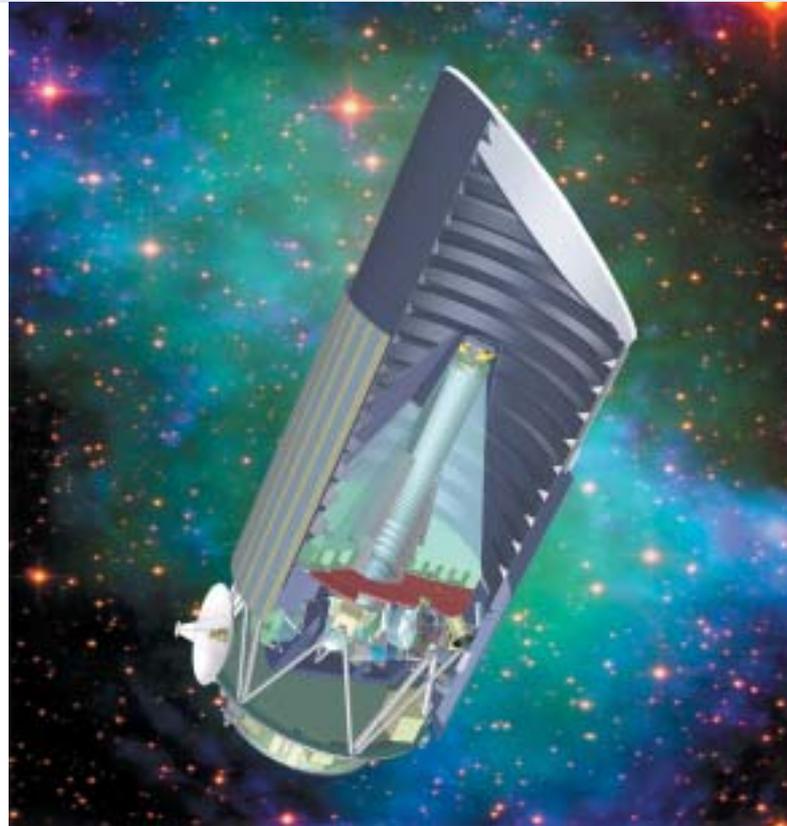
SNAP

La traque des supernovæ Ia à grands décalages vers le rouge

Reynald Pain

Le projet Snap vise la constitution d'un échantillon comprenant plusieurs milliers de supernovæ de type Ia à grands décalages vers le rouge. Cette expérience présente la particularité d'être directement sensible au terme d'énergie sombre et de pouvoir en déterminer la nature. Ses mesures auront un impact majeur sur la compréhension de la physique des hautes énergies et sur la connaissance de l'Univers primordial.

*Vue d'artiste du projet de satellite Snap
© Snap consortium*



La mesure du diagramme de Hubble des supernovæ Ia (SN Ia) permet aujourd'hui d'accéder à l'histoire de l'expansion de l'Univers jusqu'à des décalages vers le rouge de l'ordre de 1, en utilisant la reproductibilité empiriquement constatée de ces objets. Cette approche de la cosmologie observationnelle a permis la mise en évidence d'une «énergie sombre», constituant aujourd'hui de l'ordre des trois quarts de l'énergie de l'Univers et responsable d'une accélération de son expansion. Depuis ces premières indications, la mesure de la courbure par les anisotropies du fond diffus cosmologique et les estimations du contenu de matière utilisant les amas de galaxies ou les effets de lentilles faibles sont venues confirmer ce résultat inattendu.

Les expériences en cours (2003-2009), SNLS et SNF, visent à construire un diagramme de Hubble d'un millier de SN Ia jusqu'à des décalages spectraux de

l'ordre de 1. Les équipes IN2P3 sont très largement impliquées dans ces projets dans lesquels la France occupe une position importante. Ces expériences permettront d'obtenir des précisions de l'ordre de 10 % sur la mesure du paramètre de l'équation d'état de l'énergie sombre.

Le projet Snap ambitionne, quant à lui, de mesurer les SN Ia jusqu'à des décalages spectraux voisins de $z = 2$. Pour atteindre ces décalages vers le rouge avec une qualité d'observation suffisante et pour limiter les effets systématiques, il est indispensable d'observer depuis l'espace. Des mesures très précises seront effectuées jusqu'à $z = 1,7$, qui permettront de déceler une éventuelle dépendance temporelle de l'équation d'état. Le projet Snap est conduit par des équipes américaines, principalement au Lawrence Berkeley National Laboratory, en collaboration avec des équipes de la Nasa.

Le projet est dans une phase préparatoire. Les équipes IN2P3 travaillent à mettre en place une participation française IN2P3, Insu et CEA, en partenariat avec le Cnes. Elles développent actuellement une activité R&D sur l'électronique de lecture

(spécialisation d'une chaîne électronique de lecture de CCD et de détecteurs pixel IR) et l'étude d'un spectrographe en collaboration avec des équipes Insu.

L'année 2003 a vu l'étude de l'énergie noire accéder au statut de projet prioritaire de la Nasa, à la suite d'un accord DOE-Nasa pour soutenir une mission spatiale «énergie sombre» conjointe, *Joint Dark Energy Mission (JDEM)*, ouverte à compétition. Le consortium Snap entre donc maintenant dans une nouvelle phase dite de «définition conceptuelle» qui s'achèvera dans deux ans à l'issue desquels un des projets en lice pour JDEM sera sélectionné par la Nasa. La mise sur orbite pourrait avoir lieu en 2014.

- <http://snls.in2p3.fr>
- <http://snfactory.in2p3.fr>
- <http://snap.in2p3.fr>

LABORATOIRES FRANÇAIS DE LA COLLABORATION

CNRS/IN2P3: LPNHE, IPNL, CPPM. |
CNRS/Insu: LAM. |
CEA/DSM: Dapnia (SAP).



GLAST

Le futur de l'astronomie gamma spatiale

Gilles Bogaert

Glast commencera en 2007 l'exploration du ciel gamma de haute énergie, c'est-à-dire du ciel vu au travers de ce rayonnement extrême, beaucoup plus énergétique que le rayonnement visible. Il essayera de dévoiler l'origine des rayons cosmiques, et les mécanismes et sites qui les produisent. Il pourra sonder la structure et l'évolution de l'Univers, voire débusquer des phénomènes encore insoupçonnés.

Glast, pour *Gamma-ray Large Area Space Telescope*, est une mission spatiale internationale et multiagences qui sera lancée par la Nasa en 2007, et à laquelle le CEA et l'IN2P3 participent du côté français. Elle est destinée à étudier le cosmos dans la gamme d'énergies 20 keV-300 GeV. Plusieurs missions exploratoires ont amené le lancement d'Egret en 1991, qui a permis la première cartographie du ciel entre 30 MeV et 10 GeV. Egret a montré une diversité inattendue du ciel gamma, avec environ trois cents sources découvertes, dont des pulsars, des trous noirs super-massifs à grands décalages vers le rouge... mais aussi un grand nombre de sources qui, encore aujourd'hui, restent non identifiées.

Les objectifs de Glast sont :

- la carte détaillée du cosmos à haute énergie, entre 20 MeV et 300 GeV;
 - l'alerte rapide lors de phénomènes transitoires, $E > 20$ keV tels les sursauts gamma et les éruptions de noyaux actifs de galaxies;
 - l'étude poussée de certains objets d'intérêt majeur après un an de cartographie.
- Grâce à des performances exception-

nelles, le télescope de Glast permettra de découvrir des milliers de sources galactiques et extragalactiques, émettant dans la gamme 20 MeV-300 GeV, jusqu'à des distances $z > 5$. La gamme d'énergies au-delà de 30 GeV sera explorée pour la première fois, avec une résolution en énergie de l'ordre de 10 %. Les sources déjà vues par Egret seront localisées pour la première fois avec une précision meilleure que la minute d'arc. Enfin, le télescope offrira un recouvrement avec les télescopes Cherenkov au sol (Hess) permettant des études simultanées sur six décades en énergie et leur « intercalibration ».

Glast est conçu pour permettre des avancées spectaculaires dans l'étude des mécanismes d'accélération des particules dans les noyaux actifs de galaxies, pulsars, restes de supernovæ, dans la résolution du ciel gamma (sources non identifiées et émission interstellaire), dans l'étude des sursauts gamma et phénomènes transitoires, et aussi dans la recherche de la matière noire non baryonique et autres manifestations d'une physique nouvelle.

Le télescope de Glast est un instrument sophistiqué qui requiert un grand savoir-faire scientifique et technique. L'IN2P3 s'est impliqué dans la construction, la « calibration » au sol et la simulation du calorimètre, mais aussi dans la préparation des outils scientifiques indispensables à l'exploitation optimale des informations venant de ce ciel riche et nouveau, différent du ciel paisible habituel, celui des astres et phénomènes très énergétiques.

Glast, vue d'artiste.
© A. Simonnet, NASA
E/PO - Sonoma State
University



- <http://polywww.in2p3.fr/glast/>
- <http://www.cenbg.in2p3.fr/>

LABORATOIRES FRANÇAIS DE LA COLLABORATION

CNRS/IN2P3: LLR, CENBG, GAM. |
CEA/DSM: Dapnia.



Dy-Holm Koang

EUSO

Un observatoire spatial de rayons cosmiques d'énergie extrême

Euso est une mission pionnière pour l'étude depuis l'espace des rayons cosmiques d'énergie extrême, observables lors de leur interaction avec l'atmosphère terrestre. Un télescope conçu et réalisé par une collaboration de plusieurs pays d'Europe, du Japon et des États-Unis sera installé sur la Station spatiale internationale à la fin de cette décennie.

Un des défis majeurs à relever pour la physique des astroparticules est d'élucider l'observation d'un petit échantillon de rayons cosmiques d'énergie proche de 10^{20} eV, soit plus d'un million de fois supérieure à celle que pourront produire les plus grands accélérateurs de particules en construction. L'énergie élevée de ces rayonnements soulève des questions scientifiques fondamentales sur leur origine et leur propagation.

Leur existence pourrait impliquer des mécanismes d'accélération très efficaces, encore incompris, de la part des sources astrophysiques les plus actives ou des désintégrations de particules extrêmement massives, reliques des premiers instants de l'Univers. À ces énergies, le fond de photons cosmologiques de 3 K devrait représenter un véritable obstacle pour la propagation de la plupart des

particules connues. Leur présence au-delà des distances limites attendues, à confirmer prochainement par Auger, pourrait être l'indication d'une défaillance des lois connues de la physique ou d'un rôle singulier joué par les neutrinos.

Ces rayons cosmiques constituent une chance unique d'accéder à une telle échelle d'énergies et aux indices d'une éventuelle nouvelle physique.

Euso, acronyme du nom anglais de l'Observatoire spatial de l'Univers extrême, utilise un système d'imagerie fondé sur un couple de lentilles de Fresnel de 5 m² de surface et doté de 200 000 pixels, chargé de mesurer la lumière UV (fluorescence et Cherenkov) émise lors du passage d'un rayon cosmique dans l'atmosphère terrestre. Les signaux sont détectés et traités par des

photodétecteurs multianodes assortis de circuits intégrés spécifiques de technologie submicronique.

Le télescope d'Euso, placé à 430 km du sol et pointant au nadir, observera avec un angle de vue de 60° une surface au sol de 190 000 km², soit une masse sensible de 2 000 milliards de tonnes. Euso pourra collecter annuellement, à 10^{20} eV, cinq à dix fois plus d'événements que les expériences planifiées au sol, soit, au bout de trois ans, des milliers d'événements d'énergie au-dessus de 5.10^{19} eV. Il permettra : 1° une détermination précise du spectre global des rayons cosmiques à ces énergies; 2° la distribution de leur direction d'arrivée; 3° l'identification et le dénombrement des sources compactes si elles existent; 4° la mesure de leurs spectres individuels. Les données d'Euso pourraient servir à sonder les champs magnétiques intergalactiques et la distribution de la matière noire, et également fournir une cartographie systématique des phénomènes atmosphériques lumineux dans l'UV.

Faisant suite à Auger, Euso pourra entreprendre l'étude de la composante extrême du rayonnement cosmique et accéder ainsi aux processus les plus énergétiques de notre Univers.

Pour le futur et en comptant sur des améliorations dans l'optique et la photodétection déjà à l'étude dans la collaboration, un gain statistique d'un autre ordre de grandeur pourrait être obtenu avec un ensemble de deux ou trois télescopes de nouvelle génération mis en orbite à une altitude de 800 km. La voie potentiellement très prometteuse de l'astronomie neutrino pourrait alors être explorée.



Le télescope spatial d'Euso dédié à la détection des rayons cosmiques d'énergie extrême scrutant l'atmosphère terrestre à partir de la Station spatiale internationale.
© CNRS/IN2P3

 • <http://lpsc.in2p3.fr/EUSO/euso0.html>
• <http://www.euso-mission.org/>

LABORATOIRES FRANÇAIS DE LA COLLABORATION

CNRS/IN2P3: APC-PCC, LAPP, LPSC. |
CNRS/SPM: LPTHE. | CNRS/Insu: IAP, OdP.



Thomas Kirchner

MEGAPIE Une cible de spallation pour les systèmes hybrides

La cible de spallation Megapie, d'une puissance de 1 MW, sera la première démonstration expérimentale d'une cible liquide pour la réalisation d'une source de neutrons intense. Elle validera la faisabilité du couplage d'un accélérateur avec une cible de spallation liquide, afin de contribuer au développement du concept des systèmes hybrides pour la transmutation des déchets nucléaires.



Megapie (*Megawatt Pilot Target Experiment*) a pour objectif de démontrer la faisabilité d'une cible de spallation liquide en Pb-Bi. Une telle cible est aujourd'hui la référence des projets de systèmes hybrides. La collaboration internationale (CEA, CNRS, FZK, Enea, SCK-CEN, PSI, Jaeri, Kaeri et DOE) a pour objectif de concevoir, de construire et de faire fonctionner la cible sous un faisceau de protons de l'ordre de 1 MW (≈ 575 MeV et 1,7 mA). Comme matériau de spallation, l'eutectique de Pb-Bi sera utilisé pour son rendement de spallation et pour sa température de fusion relativement basse (~ 125 °C).

La cible Megapie sera montée dans l'installation existante Sinq au PSI en Suisse et doit, par conséquent, respecter de fortes contraintes géométriques (diamètre de 20 cm à 40 cm sur 4 m de hauteur). L'ensemble des composants de Megapie - cible, pompe, échangeur, instrumentation et confinement - doit intégrer ce volume.

La figure illustre une coupe de la cible Megapie. Celle-ci comporte trois zones: la zone de production de neutrons, la zone de transport de chaleur et la zone d'évacuation de chaleur. Le faisceau de protons, arrivant par le bas, traverse d'abord une double enceinte de confinement en AlMg3 refroidie par de l'eau lourde. Il traverse ensuite la fenêtre de la cible en acier T91 (acier martensitique de 1,5 mm d'épaisseur) pour interagir avec le plomb-bismuth liquide. La réaction de spallation donne lieu à un flux intense de neutrons, mais aussi à la dissipation de l'énergie du faisceau (700 kW) dans le plomb-bismuth. À l'aide d'une pompe électromagnétique, le métal liquide remonte alors par la zone centrale de la cible pour traverser ensuite

l'échangeur de chaleur. Le plomb-bismuth ainsi refroidi redescend par la zone périphérique externe de la cible. Pour assurer un meilleur refroidissement de la fenêtre en T91 (endroit critique de la cible), une deuxième pompe électromagnétique reprend une partie du métal liquide à la sortie de l'échangeur pour le diriger directement à travers la fenêtre *via* un tube «*by-pass*».

La conception, sous la responsabilité de l'IN2P3, et la réalisation de la cible sont soutenues par des activités de R&D dans les domaines d'étude suivants: matériaux, physico-chimie de l'alliage liquide, thermo-hydraulique, comportements des matériaux sous irradiation... Trois projets européens du 5^e PCRD, Tecla, Spire et Megapie-Test, apportent également leur soutien au projet Megapie.

La conception de la cible a été terminée en 2003. Le projet est actuellement dans sa phase de réalisation. Après un appel d'offres international, l'industriel Atea du groupe Reel a été choisi pour la construction de la cible. Cette construction sera suivie d'une phase de tests hors faisceau en 2005, l'irradiation étant prévue pour 2006. Après l'irradiation et un temps de refroidissement, la cible sera démantelée et analysée en cellule chaude. Le retour d'expérience du projet Megapie est très attendu par la communauté internationale. Le projet Megapie est en effet une des étapes clés de la feuille de route européenne concernant le développement des systèmes hybrides destinés à l'incinération des déchets nucléaires.



G.S. Bauer, M. Salvatores et G. Heusener, Megapie, a 1 MW pilot experiment for a liquid metal spallation target, *JNM* 296 (2001) 17-33.

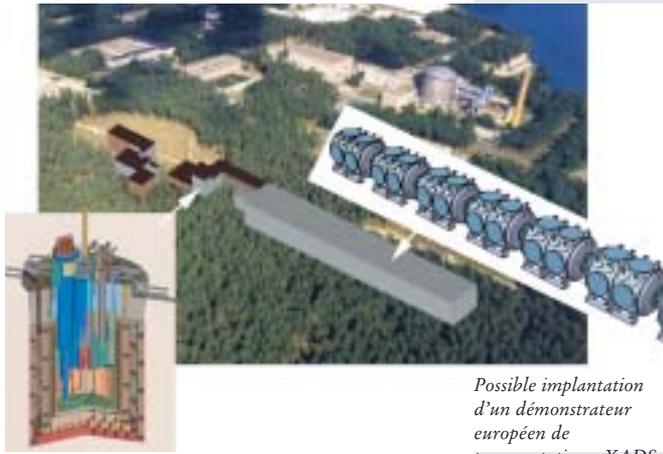
LABORATOIRES FRANÇAIS DE LA COLLABORATION

CNRS/IN2P3: Subatech, LPC Caen. |
CNRS/SC: CECM, LMPGM. |
CEA/DEN: Saclay, Cadarache.

Vue 3D d'une coupe verticale de la cible Megapie.
© CNRS/IN2P3



PDS-XADS Le projet européen d'incinération des déchets nucléaires



Possible implantation d'un démonstrateur européen de transmutation « XADS » à Mol (Belgique). © SCK-CEN Mol

Les déchets nucléaires de haute radiotoxicité et de longue durée de vie peuvent être transmutés, dans des flux de neutrons rapides, en produits de fission de courte durée. De nombreux travaux montrent qu'un système sous-critique avec une source externe de neutrons, piloté par accélérateur, est particulièrement attractif, flexible et sûr. L'IN2P3 participe au design d'un démonstrateur «XADS» dont il anime la partie accélérateur.

En application de la loi Bataille sur la gestion des déchets nucléaires, le CNRS a mis sur pied un programme interdisciplinaire de recherche sur l'aval du cycle électronucléaire (Pace). Dans le cadre de l'axe 1 de cette loi qui concerne les procédés de transmutation, il a participé au groupe de travail européen TWG dont la feuille de route préconisait la réalisation d'un réacteur piloté par accélérateur pour incinérer les déchets de très grande et très longue radiotoxicité. En avril 2001, le TWG concluait ses travaux¹ en souhaitant l'élaboration d'un avant-projet détaillé dans le cadre d'une grande collaboration européenne: le programme triannuel PDS-XADS² (*Preliminary Design Study for an Experimental Accelerator Driven System*), subventionné pour moitié (6 M€) par Euratom au 5^e PCRD, a démarré fin 2001. Mené par vingt-cinq partenaires (organismes de recherche, universités et

industriels) de onze pays européens³ et coordonné par Framatome ANP, ce projet est organisé en cinq lots de travaux dont le lot accélérateur est sous la responsabilité du CNRS. Le réseau Adopt (*Advanced Options for Partitioning and Transmutation*) coordonne les travaux du programme Séparation-Transmutation d'Euratom. En octobre 2003, l'atelier international d'Adopt a dressé le bilan d'activités du 5^e PCRD. Pour l'XADS, plusieurs résultats importants ont été présentés: la garantie par l'accélérateur linéaire supraconducteur d'une source fiable de protons de haute intensité pour toutes les configurations envisagées, le progrès des études de différents types de cibles de spallation et des boucles de refroidissement associées, la prise en compte des résultats remarquables de l'expérience Muse pour la mesure de la (sous-)criticité, le concept de sûreté de l'installation, l'identification

de futurs besoins en R&D... On soulignera la proposition du laboratoire belge SCK-CEN d'accueillir sur son site de Mol la version du XADS européen à puissance réduite (projet Myrrha, voir figure). Bénéficiant du travail réalisé sur PDS-XADS, les partenaires européens s'engagent pour le 6^e PCRD dans le design général d'un démonstrateur expérimental. Cette tâche du nouveau projet Eurotrans se situe dans la perspective d'une construction à partir du PCRD suivant. La R&D nécessaire sera le sujet majeur d'Eurotrans. Concrétisant l'engagement fort du CNRS en matière de recherche sur l'énergie, l'IN2P3 jouera un rôle important au sein d'Eurotrans dont il animera deux axes: un ambitieux programme de R&D pour qualifier les prototypes de sections accélératrices en termes de fiabilité et le design de la cible de spallation. En parallèle, le CNRS mène en étroite collaboration avec le CEA un important programme de R&D accélérateur: la construction d'Iphi pour la partie basse énergie et d'une plate-forme cryogénique pour le développement de la section supraconductrice haute énergie.

- 1 - Carlo Rubbia *et al.*, *A European Roadmap for Developing Accelerator Driven Systems (ADS) for Nuclear Waste Incineration*, published by ENEA, Rome 2001, ISBN 88-8286-008-6.
- 2 - Contrat n° FIKW-CT-2001-00179, «PDS-XADS» de la Commission européenne.
- 3 - Allemagne, Belgique, Espagne, France, Grande-Bretagne, Italie, Pays-Bas, Pologne, Portugal, Suède, Suisse.



<http://www.sckcen/sckcen.eu/activities/conf/conferences/20031006/cd/index.html>
Proc. Int. Workshop on P&T and ADS Development, 6-8 October 2003, SCK-CEN Mol.

LABORATOIRES FRANÇAIS DE LA COLLABORATION

CNRS/IN2P3: IPNO, LPSC, Subatech. |
CEA/DEN et CEA/DSM. | Framatome ANP. |