The background of the slide is a cosmic image, likely a deep-field photograph showing a dense field of galaxies and stars. The colors are predominantly light blue and white, with some darker spots and faint structures. The text is overlaid on this image.

# **Des Quarks au Cosmos**

**Prospective à 10 ans  
en physique nucléaire et des hautes énergies  
de l'IN2P3-CNRS et du DAPNIA-DSM-CEA  
novembre 2005**



# PROSPECTIVE SCIENTIFIQUE A 10 ANS

## EN PHYSIQUE NUCLEAIRE ET DES HAUTES ENERGIES

### - DES QUARKS AU COSMOS -

Les prospectives scientifiques en physique nucléaire et des hautes énergies de la DSM et de l'IN2P3 déclinées dans ce document résultent d'un travail approfondi de l'ensemble de la communauté scientifique. Coordonnés par un comité d'organisation national composé de membres des instances scientifiques de la DSM et de l'IN2P3, des groupes thématiques ont travaillé à la rédaction de leur rapport de Mars à Septembre 2004. Des « Journées de Prospectives » rassemblant plus 400 chercheurs, enseignants chercheurs et ingénieurs ont eu lieu du 6 au 10 Octobre 2004 à la Colle-sur-Loup. Les textes et présentations ont fait l'objet d'une publication intégrale diffusée très largement au sein de la communauté sous la forme d'un CD.

Les directions de la DSM et de l'IN2P3 se sont largement inspirées des résultats de ces travaux pour rédiger sous leur responsabilité le document de synthèse ci-dessous.

---

#### **LE CONTEXTE**

L'essentiel des efforts expérimentaux de la DSM et de l'IN2P3 a jusqu'à présent été mené dans le cadre de grandes collaborations auprès d'accélérateurs, notamment au CERN (Genève), au GANIL (France), à SLAC (Stanford, USA), au FNAL (USA) et à DESY (Allemagne). Leurs programmes scientifiques sont très riches ; pour les deux prochaines années, ils couvrent les dix prochaines années. Des projets mondiaux à plus long terme sont également en cours de préparation, et une fraction des physiciens, des ingénieurs et des techniciens y contribuent activement.

L'étude des rayons cosmiques et celle des neutrinos solaires rapprochent depuis longtemps la physique des particules et la physique nucléaire de l'astrophysique. Inversement, certains phénomènes de la physique stellaire requièrent des mesures plus fines des propriétés des noyaux. L'évolution des questions fondamentales de la physique des particules impose maintenant de compléter les informations obtenues auprès des accélérateurs présents et futurs par la mesure des propriétés de l'univers. D'où une ouverture naturelle à la thématique des "astroparticules", et toute une effervescence est observée dans ces nouveaux domaines.

---

#### **LA PHYSIQUE NUCLEAIRE**

La physique nucléaire comporte aujourd'hui quatre thèmes principaux: l'exploration de la structure des noyaux exotiques, assemblage de neutrons et protons, instables et éphémères, la physique hadronique, les transitions de phase de la matière nucléaire, les recherches amont en physique et chimie pour le nucléaire et l'environnement.

L'étude de la structure du noyau fait preuve d'une vitalité exceptionnelle, grâce au développement des faisceaux radioactifs. Des propriétés inattendues (systèmes granulaires, halos, nouvelles magicités) sont observées pour des noyaux liés mais instables (loin de la « vallée de stabilité » dans la table des noyaux). Ces découvertes imposent une profonde évolution des théories nucléaires. Les interactions mises en jeu doivent être enrichies (dépendance en isospin, forces à 3 corps). Les modèles doivent intégrer de nouveaux concepts : couplage au continuum, corrélations. Cet effort théorique doit être amplifié.

Les noyaux exotiques ont un impact profond sur notre compréhension de la nucléosynthèse stellaire, en particulier dans les phénomènes violents où sont élaborés les éléments lourds. Des mesures de masse, de durées de vie, de section efficace, de spectres d'excitation et d'états isomériques, loin de la vallée de stabilité des noyaux, sont aujourd'hui nécessaires. La radioactivité  $\beta$  des noyaux exotiques affine notre connaissance des interactions fondamentales.

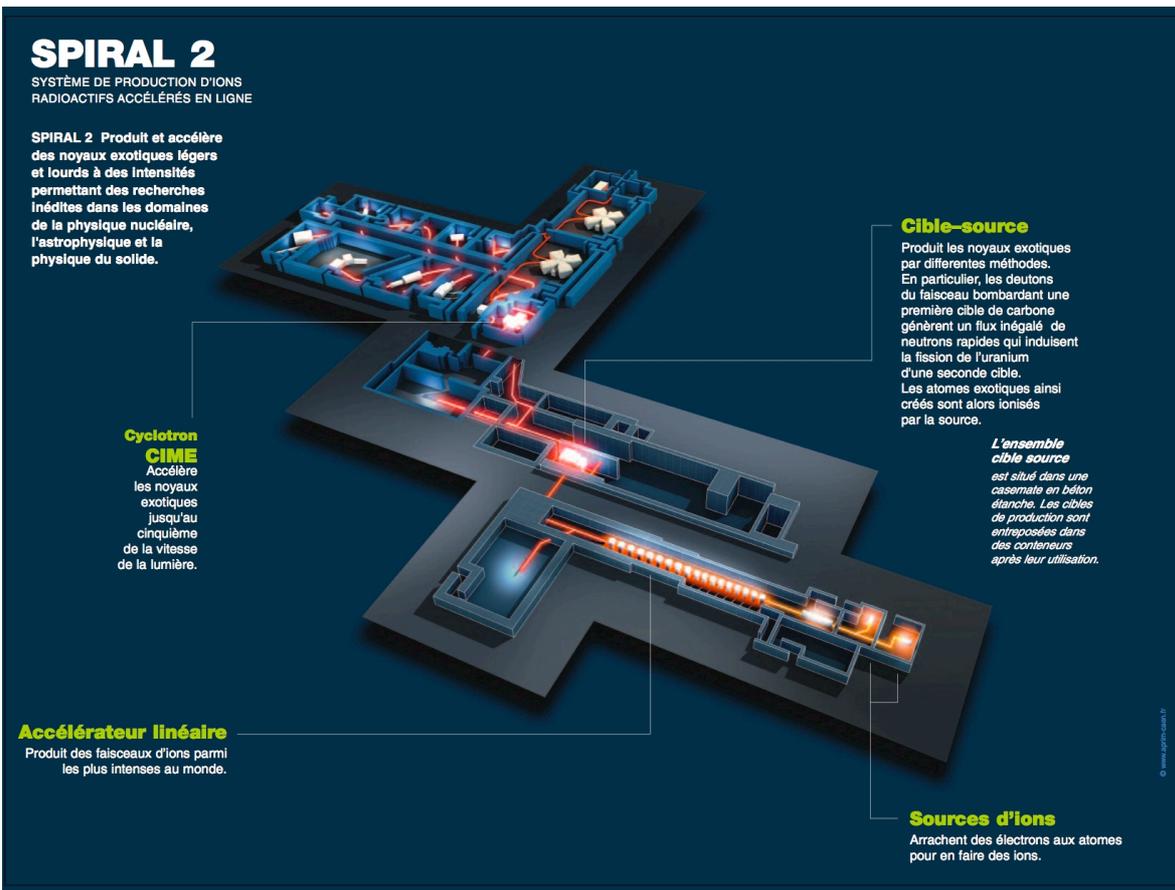


Figure 1 : La future installation SPIRAL2 au GANIL

Les nouvelles avancées dans ces domaines nécessitent le développement de faisceaux intenses de noyaux loin de la stabilité. Cette exploration vers les limites de cohésion s'accompagne de la recherche des limites en masse (superlourds) et en déformation (hyperdéformation) qui requière des faisceaux stables de haute intensité, comme cela sera possible pour une partie d'entre eux avec SPIRAL2.

D'importants investissements interviendront dans les prochaines années. L'ensemble SPIRAL2 au GANIL étendra le programme de SPIRAL vers des noyaux exotiques lourds. C'est une étape primordiale avant EURISOL, projet européen de faisceaux radioactifs de nouvelle génération. Une implication limitée dans le projet FAIR (Allemagne) développant l'approche complémentaire de la fragmentation du projectile est envisagée. Un nouveau spectromètre gamma, AGATA, basé sur la reconstruction de trajectoires, permettra de tirer pleinement partie des faisceaux produits.

**Objectif 1 :** Exploiter au mieux GANIL avec SPIRAL1 (faisceaux exotiques).

Lancer et construire SPIRAL2 (faisceaux exotiques de deuxième génération) dans un cadre européen, étape primordiale avant EURISOL

**Objectif 2 :** Se préparer à EURISOL (faisceaux exotiques de troisième génération), machine européenne pour l'horizon 2015-2020 (à GANIL ou au CERN couplé au projet SPL). Se préparer à la conception et à la réalisation d'un détecteur européen de niveaux d'excitation des noyaux (détecteur gamma AGATA) pour 2012.

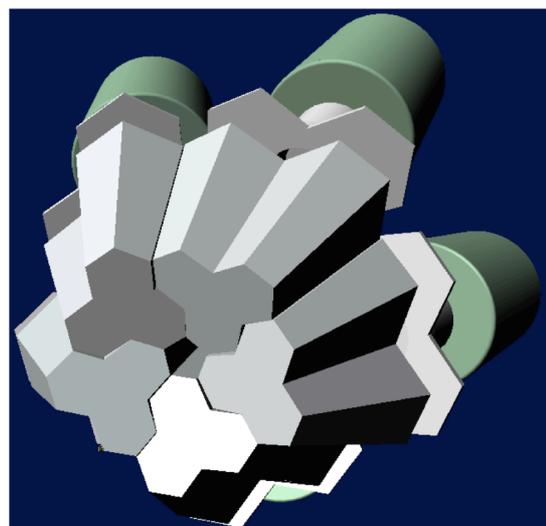


Figure 2 : Le projet de démonstrateur pour le multidétecteur AGATA



**Figure 3 :** FAIR le projet d'extension du laboratoire GSI à Darmstadt

La physique hadronique a pour objet l'étude des hadrons en termes de quarks et de gluons. Leur structure et leur comportement, encore mal compris, font l'objet de projets importants.

Les distributions de partons généralisées (GPD) offrent une image à 3 dimensions des quarks et gluons dans le nucléon : les premières mesures seront effectuées à JLab 6 puis 12 GeV.

Les mesures de la polarisation des gluons et à plus long terme des GPDs sont les objectifs de COMPASS au CERN. Les accélérateurs utilisés sont ceux de la physique des particules ou d'autres plus spécialisés (COMPASS au CERN, TJNAF 6 – 12 GeV aux USA, H1 à DESY, GSI en Allemagne). Les faisceaux d'antiprotons, disponibles après 2014 sur FAIR à GSI, permettront d'explorer la structure du nucléon dans la voie d'annihilation  $p\bar{p}$ . Des projets de calculateurs dédiés à QCD (au niveau européen) pourraient fertiliser l'activité des théoriciens.

**Objectif 3 :** Comprendre la structure du nucléon (distributions des partons, spin) et, plus généralement, des hadrons (COMPASS au CERN, TJNAF 6 –12 GeV, FAIR à GSI), par un effort à la fois expérimental et théorique.

Les collisions d'ions lourds sondent les transitions de phase de la matière nucléaire. Il s'agit d'une transition liquide gaz de nucléons aux énergies de GANIL. L'influence de la proportion de neutrons et de protons sur cette transition sera étudiée grâce aux faisceaux radioactifs. Une transition de la matière nucléaire vers un plasma de quarks et gluons est possible aux énergies relativistes du CERN-SPS, du RHIC et du futur LHC.

Les résultats obtenus auprès du SPS du CERN (expériences NA50 et WA98) ont apporté des éléments de preuves décisives «

de l'existence d'un nouvel état de la matière nucléaire dans des collisions entre ions lourds ». Ils confirment les prédictions de la théorie QCD des interactions fortes relatives aux conditions de production du plasma.

À plus hautes énergies, le programme de recherche du collisionneur RHIC de Brookhaven s'est donné comme objectif de caractériser cet état déconfiné. Avec les

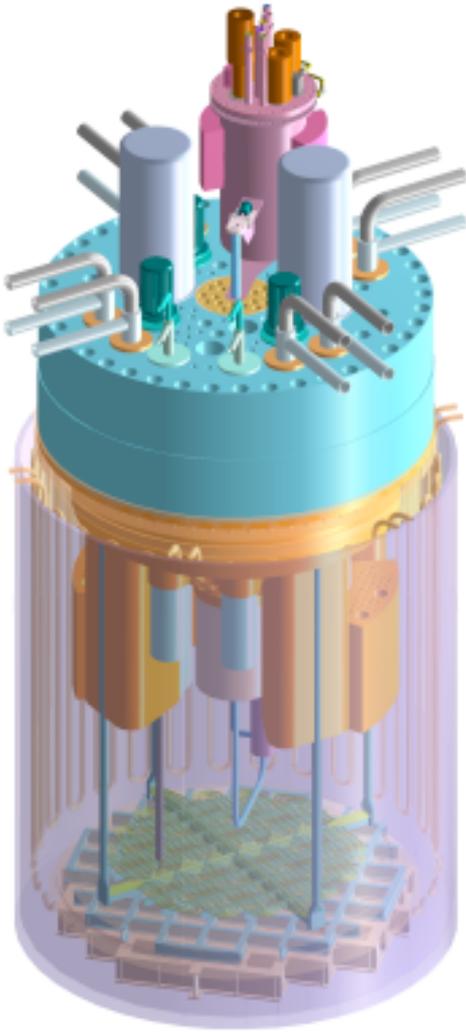
futures collisions d'ions lourds du LHC dans le détecteur ALICE, il sera possible d'étudier la nature du plasma à des densités d'énergie extrême avec l'espoir de produire un gaz quasi parfait de quarks et de gluons. Les expériences ions lourds associent généralement des physiciens des particules et des physiciens nucléaires



**Figure 4 :** Le détecteur ALICE en cours de montage au CERN à Genève

**Objectif 4 :** Assurer dans les quelques années à venir une exploitation maximale du potentiel de physique offert par les expériences PHENIX et STAR du RHIC.

Réaliser ALICE auprès du LHC (collisions d'ions lourds conduisant à la formation d'un plasma de quarks et gluons). Démarrage prévu en 2007 et en exploiter le fort potentiel scientifique pendant une dizaine d'années.



**Figure 5 :** Le projet MYRRHA de cœur piloté par accélérateur pour la transmutation des déchets radioactifs

L'objectif de la communauté des physiciens et chimistes nucléaires engagés dans les recherches concernant la fission nucléaire est le développement de concepts innovants. La réduction de la quantité et de la radiotoxicité

des déchets est un enjeu majeur pour le développement de l'énergie nucléaire. Un des outils de ce développement pourrait être les réacteurs pilotés par accélérateur (programme européen EUROTRANS) pour la transmutation des déchets de haute activité et vie longue (HAVL). En ce qui concerne les filières de production d'énergie, sans négliger les autres filières, la communauté IN2P3 porte son effort sur la filière Th-U3, en particulier dans sa version sels fondus qui permet d'avoir des recherches génériques ayant beaucoup d'autres applications.

Dans ce contexte, la radiochimie développe de nouvelles recherches sur la chimie des actinides dans des nouveaux milieux et sur le comportement des radionucléides en phase condensée sous irradiation. Enfin dans l'environnement, la radiochimie interviendra d'autant plus que l'énergie nucléaire sera développée en France et dans le monde dans les années à venir.

Des études seront par ailleurs poursuivies dans le domaine de la fusion (soutien au projet ITER) ainsi que dans les autres domaines comme le démantèlement des installations nucléaires et la caractérisation non-d de matériaux (photofission).

**Objectif 5 :** Effectuer la recherche amont dans le domaine de l'électronucléaire (fission), en particulier par l'acquisition de données fondamentales (spallation, capture, fission), étudier des systèmes hybrides pour la transmutation, contribuer à l'étude des systèmes innovants pour l'énergie nucléaire du futur.

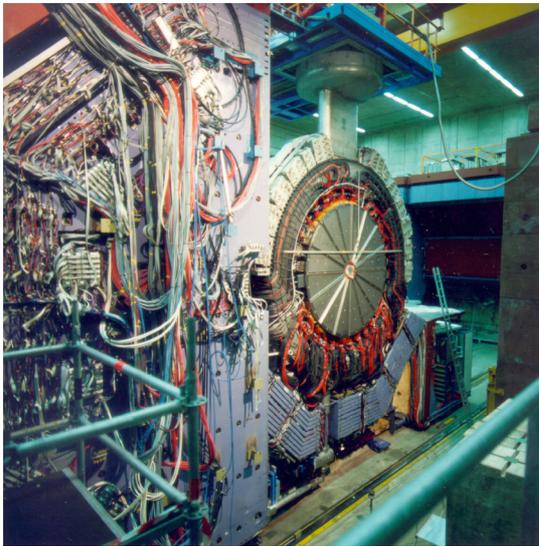
**Objectif 6 :** Contribuer aux bases de données thermodynamiques et à la physico-chimie des radionucléides pour les systèmes innovants (liquides ioniques, sels fondus et nouveaux combustibles)

## LA PHYSIQUE DES PARTICULES

La décennie écoulée a été marquée par la détermination avec une précision sans précédent des paramètres du modèle standard de l'interaction électrofaible au LEP (CERN), SLC et PeP-II (SLAC) et au TeVatron (FNAL). Dans le même temps, la description de l'interaction forte était confortée auprès de Hera (DESY) et du LEP.

La priorité à venir est l'identification des composantes du secteur associé à la brisure spontanée de la symétrie électrofaible. Cette identification s'appuiera sur des découvertes de nouvelles particules (comme le ou les bosons de Higgs à l'origine de la masse des particules) et/ou des mesures de précision. Le TeVatron et Hera sont les deux machines explorant actuellement la frontière des hautes énergies, jusqu'à l'arrivée du LHC au CERN. De nombreux groupes de l'IN2P3 et de la DSM

sont impliqués dans ce programme ; sur la préparation des expériences ATLAS, CMS et LHCb (LHC), auprès de l'expérience H1 (Hera) et sur l'expérience D0 (Tevatron).



**Figure 1 :** Le détecteur H1 à Hera.

Les paramètres de la violation de CP devraient être maîtrisés dans le secteur des quarks à l'issue des expériences BaBar (PeP-II) et LHCb (LHC). Les expériences BaBar et BELLE (KEK, Japon) après avoir mis en évidence la violation de CP dans le secteur des quarks 'b', recherchent activement des déviations par rapport aux prédictions du Modèle Standard qui pourraient être induites par la présence de nouvelles particules à l'échelle du TeV. Ces recherches seront poursuivies avec LHCb dans un proche avenir ainsi que par des mesures de moments électriques dipolaires de particules et seront accompagnées d'un effort théorique incluant entre autres des calculs de type QCD sur réseau.

La mise en service du LHC à partir de 2007 devrait permettre d'identifier le mécanisme de la brisure de la symétrie électrofaible et d'éclairer les modifications à apporter au modèle standard (supersymétrie, dimensions supplémentaires liées à de nouvelles théories

de la gravité, particules composites...). L'existence de matière noire non baryonique dans l'univers est d'ores et déjà un argument incontournable pour l'existence d'une matière exotique, neutre, interagissant faiblement, autant de propriétés qui évoquent des 'neutralinos' supersymétriques: le LHC contribuera à élucider leur rôle éventuel.

**Objectif 1 :** Exploiter pleinement le potentiel des programmes en cours au FNAL, à SLAC et à DESY.

**Objectif 2 :** Réaliser nos engagements pour les expériences LHC: ATLAS et CMS (recherche du Higgs, de la supersymétrie...), LHCb (asymétrie entre matière et antimatière) ; construction et installation des détecteurs, préparation des analyses, démarrage des détecteurs en 2007.

**Objectif 3 :** A partir de 2007, assurer une exploitation optimale du potentiel de physique offert par le LHC et ses détecteurs, incluant la perspective éventuelle d'une amélioration de la machine.



**Figure 2 :** Le détecteur ATLAS en cours de montage au CERN à Genève.

Un accord mondial s'est dessiné sur le choix d'un collisionneur linéaire électron positon comme futur accélérateur de physique des particules, à une énergie supérieure à 500 GeV dans le centre de masse, ce dont a pris note le conseil des ministres de la recherche de l'OCDE en janvier 2004. Cette machine, l'ILC, associée au LHC, permettrait une étude exhaustive des interactions électrofaibles, ainsi qu'une caractérisation approfondie des nouvelles particules produites. Les études



**Figure 3 :** Construction du détecteur LHCb au CERN à Genève.

machines ont été largement défrichées en Europe, avec une contribution notable des laboratoires français dans la mise au point d'une solution à cavités supraconductrices (projet TESLA), technologie retenue par l'ICFA en août 2004 pour servir de base à l'effort de design commun au niveau mondial (GDE) en cours. La définition des futurs détecteurs auprès de l'ILC fait également l'objet d'un intense effort mondial et la France y est fortement impliquée. Une autre option



**Figure 4 :** Assemblage du détecteur CMS au CERN à Genève.

d'accélérateur, moins avancée, le CLIC, permettrait d'atteindre une énergie de 5 TeV. Elle doit continuer à être développée dans le cadre d'une collaboration autour du CERN avec l'IN2P3 et la DSM/DAPNIA.

**Objectif 4 :** Participer activement à la R&D accélérateur et à la conception d'un détecteur pour l'ILC. Participer à la R&D accélérateur sur le projet CLIC.

## ASTROPARTICULES ET NEUTRINOS

### Le neutrino

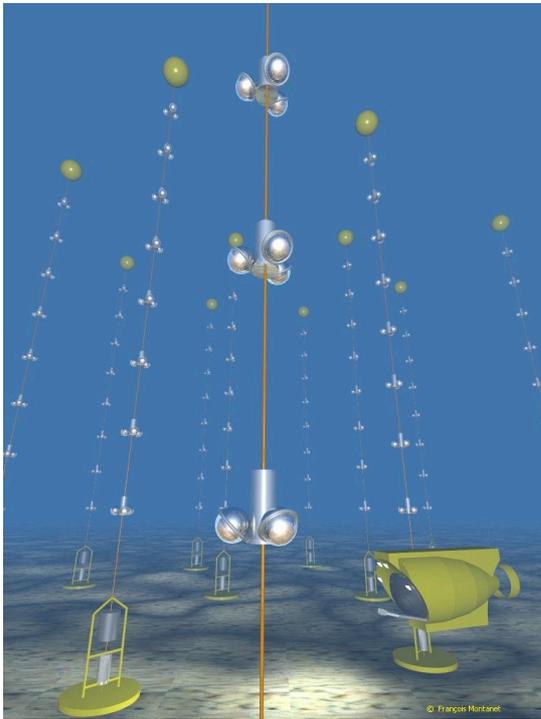
L'existence de masses et de mélanges des différents types de neutrinos est maintenant acquise, ouvrant, comme entre les trois familles de quarks, la possibilité d'une violation de CP dans l'oscillation des trois familles de neutrinos. Celle-ci pourrait jouer un rôle dans l'asymétrie matière antimatière observée dans l'univers. Des expériences telles KAMLAND (Japon), MINOS (US) et OPERA (au Grand Sasso) contribueront à préciser les paramètres de ce mélange. Neutrinos et antineutrinos sont-ils identiques? Si la réponse est positive, on devrait observer la double désintégration bêta sans neutrino.



**Figure 1 :** Le détecteur NEMO dans le laboratoire souterrain de Modane.

L'expérience NEMO3 tente de mettre en évidence ce phénomène à Modane, et les détecteurs futurs auront une sensibilité 10 fois supérieure. La mesure du dernier des trois angles de mélange, pas encore mesuré, et la mesure de la phase de violation de CP nécessitera de nouveaux équipements (expériences auprès des réacteurs, accélérateurs, faisceaux, laboratoires souterrains) en cours d'étude aux USA, en Europe, et au Japon. C'est ainsi que verront le jour le développement, la construction et l'exploitation d'un ensemble de deux détecteurs installés auprès du réacteur de CHOOZ (DOUBLE CHOOZ), la participation à une expérience du complexe JPARC (expérience T2K au Japon), et enfin les études préliminaires d'un détecteur " mégatonne " au LSM (Laboratoire Souterrain de Modane) pouvant recevoir des faisceaux de

neutrinos du CERN (SPL, bêta beams). Le détecteur mégatonne serait aussi destiné à la détection des astroparticules et à la recherche de l'instabilité du proton.



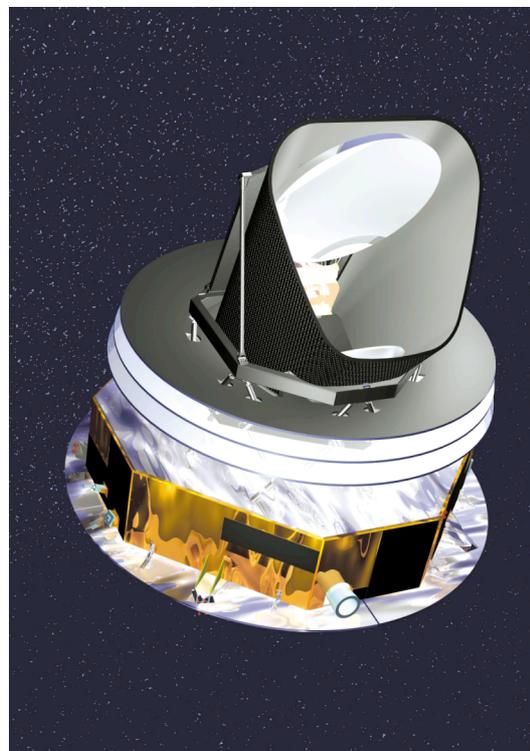
**Figure 2 :** Vue d'artiste du détecteur sous-marin ANTARES.

## La structure et le contenu énergétique de l'Univers

La mesure du rayonnement cosmologique diffus, et l'analyse de la luminosité des supernovae ont montré que l'univers est euclidien, et que son expansion s'accélère sous l'effet d'une énergie noire (ou constante cosmologique), dotée d'effets gravitationnels. C'est la réponse à des questions qui se posaient depuis l'aube de la cosmologie, après la naissance de la relativité générale. L'exploitation de plusieurs expériences sur les supernovae: Supernova Legacy Survey (SNLS) avec MEGACAM au CFHT, le grand projet spatial de détection d'énergie noire JDEM ou DUNE et l'étude du fond diffus cosmologique par le satellite PLANCK avec sa résolution excellente devraient contraindre (avec d'autres expériences dans le monde) les paramètres cosmologiques avec une très grande précision. Des expériences de mesure de la polarisation du fonds cosmologique au sol (Antarctique) et dans l'espace sont en projet afin d'étudier la structure de l'Univers et l'hypothèse d'inflation.

La matière composant l'univers est elle-même dominée par une composante invisible, la matière noire. Elle serait responsable de la plus grande partie de la masse des halos de galaxie, et pourrait être constituée de particules prédites par les théories se situant au-delà du modèle standard. Des efforts importants sont en cours pour les détecter, et l'expérience EDELWEISS dans le laboratoire souterrain de Modane prépare une nouvelle génération d'appareillages, avec des détecteurs de l'ordre de la tonne, à l'échelle européenne. Des expériences spatiales de détection de photons d'annihilation, telles GLAST et AMS et le télescope neutrino ANTARES apporteront aussi des contraintes significatives.

Les phénomènes cosmiques de haute énergie  
Les techniques de la physique subatomique ouvrent de nouvelles fenêtres en astrophysique par la détection de particules chargées, de rayons gamma et de neutrinos de haute énergie. Ces particules et rayonnements sont produits dans les phénomènes violents de l'univers, et permettent de tester les lois physiques dans un environnement extrême, inaccessible sur Terre. Ces 'messagers' peuvent également être une manifestation de particules inconnues.



**Figure 3 :** Le satellite PLANCK.



**Figure 4 :** Vue aérienne du laboratoire VIRGO.

Les milieux utilisés au sol pour détecter ces rayonnements rares sont la Terre, l'atmosphère, la mer, ou la glace des pôles. Le Télescope HESS, dont la construction vient d'être achevée en Namibie, détectera des rayons  $\gamma$  de haute énergie. L'observatoire AUGER, en construction en Argentine pourra observer des particules d'énergie extrême, dont on ignore l'origine. L'expérience ANTARES détectera des neutrinos de haute énergie à l'aide d'un télescope installé dans la Méditerranée. Une réflexion est déjà engagée dans un cadre européen pour préparer les projets futurs et accroître la sensibilité des détecteurs.

Les observations spatiales complètent à plus basse énergie les observations au sol, et elles en sont indissociables. Les satellites constituent l'outil privilégié pour l'étude fine des objets de l'univers, révélant en X ou en  $\gamma$  l'état physique de la matière, des noyaux d'atomes, et des champs magnétiques présents. Pour l'étude du rayonnement  $\gamma$ , Le satellite INTEGRAL vient d'être lancé, et le projet GLAST est en préparation. L'expérience AMS sera installée sur la station spatiale internationale. Elle mesurera le spectre des rayons cosmiques, et recherchera aussi la présence d'antimatière et de matière noire.

En général, les mécanismes à l'origine des phénomènes cosmiques de haute énergie (accrétion/éjection autour des objets compacts, explosions de supernovae, " sursauts gamma ", rayonnement cosmique...) demandent l'étude du rayonnement à plusieurs longueurs

d'onde. Ce domaine va bénéficier d'une situation exceptionnelle, avec l'utilisation conjointe de l'ensemble de quatre instruments : XMM, INTEGRAL, GLAST, et HESS, couvrant 7 ordres de grandeur en énergie (0,1 KeV à 10 TeV). Pour le plus long terme, les projets ECLAIRS (s'inscrivant dans la filière des microsattelites du CNES, lancement 2008) et SYMBOL X (mettant en œuvre les techniques du vol en formation, lancement 2012) sont à l'étude.

## Les ondes gravitationnelles

La première indication indirecte d'ondes gravitationnelles a été fournie par les pulsars binaires, et ces ondes devraient aussi être produites dans certains phénomènes violents (supernovae, AGN). L'observation directe des ondes gravitationnelles sera une confirmation majeure de la théorie, et permettra de mieux comprendre le déroulement de ces événements. L'expérience franco-italienne VIRGO peut détecter la déformation de l'espace-temps qu'elles induisent, grâce à des performances techniques exceptionnelles dans les lasers, l'optique, et l'ingénierie. La coïncidence des observations entre des détecteurs répartis sur la Terre permettra de confirmer les signaux obtenus. Dans un avenir plus lointain, le projet spatial LISA complètera la gamme des fréquences couvertes, et permettra peut-être d'étudier des ondes émises par l'univers primordial.

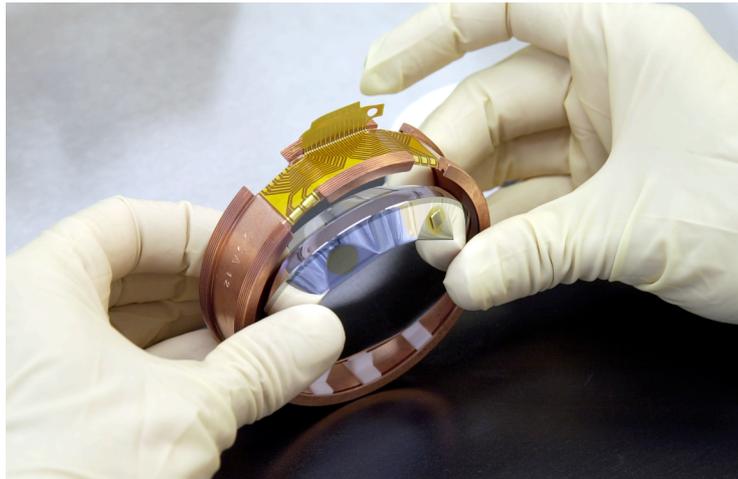
**Objectif 1 :** Assurer la réussite des grands projets engagés AUGER, PLANCK, GLAST, AMS, VIRGO, HESS, ANTARES, NEMO, OPERA, T2K.

**Objectif 2 :** Poursuivre l'astronomie neutrino avec un télescope sous-marin de taille 1 km<sup>3</sup> en mer Méditerranée (30 fois plus gros que le détecteur ANTARES en cours de réalisation au large de Toulon) horizon 2010. En complémentarité avec ANTARES et le lancement de GLAST une amélioration de HESS est prévue (HESS II) dans les 3-4 ans à venir.

**Objectif 3 :** Le détecteur VIRGO pour la détection des ondes gravitationnelles (TGE depuis 1999), à présent en cours de commissioning, atteindra sa sensibilité maximale dans les trois ans à venir. La R et D en cours pourrait aboutir à une suite de VIRGO pour la détection des ondes gravitationnelles (horizon 2010 - 2015)

**Objectif 4 :** Modernisation et agrandissement du laboratoire souterrain de Modane en liaison avec l'INFN et le CERN, dans un cadre international, afin abriter des détecteurs permettant d'étudier la stabilité du proton, de détecter les supernovae et d'étudier les propriétés des neutrinos en recevant des faisceaux du CERN. Horizon 2015-2020

**Objectif 5 :** L'espace est un autre axe prioritaire très important. Il faudra mener à bien les expériences en construction (par exemple PLANCK, AMS et GLAST horizon 2007), et préparer la nouvelle génération d'expériences en cosmologie et gravitation (JDEM/DUNE, LISA horizon 2012) mais aussi d'étude de phénomènes cosmiques de haute énergie (SIMBOL-X et ECLAIRS horizon 2008-12).



**Figure 5 :** Un cristal de germanium du détecteur EDELWEISS.

**Objectif 6 :** Les suites d'expériences de détection des rayons cosmiques de la plus haute énergie (collaboration AUGER en Argentine), de recherche de la matière noire (EDELWEISS à Modane) et de recherches sur la désintégration double bêta du neutrino (SUPERNEMO)

---

## **CALCUL SCIENTIFIQUE**

Les expériences futures de physique des hautes énergies et d'astroparticules vont conduire à des flux de données considérables qu'il convient de mettre à la disposition de l'ensemble des chercheurs français. Le stockage et le traitement de ces données suppose un accroissement important des moyens mis à la disposition de la communauté.

En particulier, la perspective de traitement des données du LHC a conduit au déploiement d'une infrastructure informatique distribuée utilisant la technologie de grille. Une partie de ces efforts sont coordonnés par le CERN à travers le LHC Computing Grid. Le centre de calcul de Lyon jouera un rôle central pour le traitement des données en France.

La DSM/DAPNIA et l'IN2P3 contribuent activement à l'animation au niveau européen

des applications scientifiques de la grille informatique, qui regroupera plusieurs dizaines de milliers d'ordinateurs dès 2005.

**Objectif 1 :** Renforcer les moyens de calcul du centre de calcul IN2P3/DAPNIA de Lyon dans le cadre du projet LHC Computing Grid pour le traitement des données des quatre expériences du LHC.

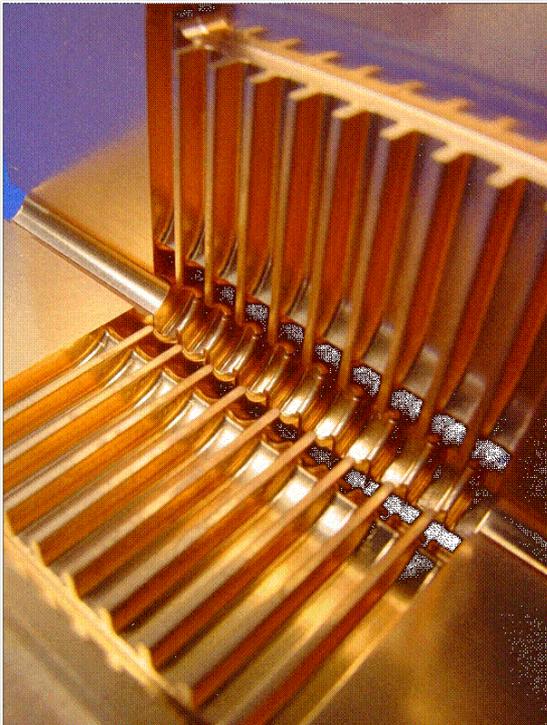
**Objectif 2 :** Relayer cette action au niveau régional ou interrégional par la création de pôles de calcul insérés dans la grille.

**Objectif 3 :** Diffuser vers d'autres communautés scientifiques l'expérience acquise dans les technologies de grille de calcul pour le traitement massif des données.

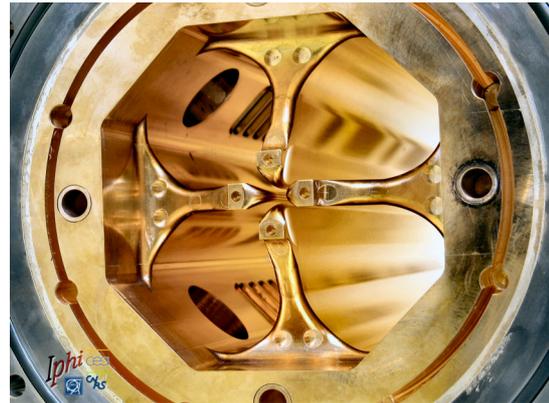
## **POLITIQUE DANS LE DOMAINE DES ACCELERATEURS, INSTRUMENTATION**

Les accélérateurs sont des outils essentiels du développement scientifique dans les domaines de la physique nucléaire et des hautes énergies. Une forte activité de R&D (pouvant être suivie d'une phase de construction) existe au sein de la DSM et de l'IN2P3. Elle vise à accompagner les besoins exprimés à travers les évolutions de nos champs scientifiques.

Par ailleurs plusieurs programmes scientifiques du futur exigent le développement (dans la mesure du possible en partenariat avec des industriels) de nouvelles techniques de détection assurant des performances de pointe en termes de résolution spatiale et temporelle, une intégration accrue, une complexité croissante et un coût maîtrisé (détecteurs CMOS et à micropattern, détecteurs



**Figure 1 :** CLIC un nouveau concept d'accélérateur.



**Figure 2 :** Injecteur IPHI.

bolométriques, développements en microélectronique...).

**Objectif 1 :** Poursuivre une R et D sur les cavités accélératrices supraconductrices de fort gradient et les coupleurs de puissance

(ILC, EURISOL), ainsi que sur les sources de protons et d'ions lourds intenses (>1mA).

**Objectif 2 :** Participer à la R&D sur CLIC, avec le CERN, en vue d'un collisionneur linéaire e+ e- au CERN de 5 TeV à l'horizon > 2020.

**Objectif 3 :** Construire un injecteur de protons pour le CERN de haute intensité (IPHI, 3 MeV), 100 mA, horizon 2007) en vue d'augmenter l'intensité des machines du CERN (projet LINAC4, 160 MeV- 10 mA) et de se préparer à des faisceaux intenses de neutrinos ou d'ions lourds radioactifs (projet SPL) au CERN couplés éventuellement à EURISOL (bêta beams horizon 2015-2020).

Ces développements peuvent aussi s'appliquer à la transmutation des déchets radioactifs HAVL avec des réacteurs hybrides (l'aspect « fiabilité » est essentiel dans cette application et sera testé avant l'envoi de l'injecteur IPHI au CERN).

**Objectif 4 :** Poursuivre des R&D techniques innovantes en technique d'accélération, notamment l'accélération par laser.

**Objectif 5 :** Recherches de technologies innovantes de détection.

---

## **PROGRAMMES SCIENTIFIQUES FRANÇAIS ET COOPERATIONS EUROPEENNES**

L'activité de recherche et développement sur les accélérateurs se déroule à l'échelle européenne, et elle répond aux défis de précision et de gain en énergie du futur collisionneur linéaire, ainsi qu'aux besoins des accélérateurs de protons de très haute intensité étudiés pour la production de faisceaux intenses de noyaux radioactifs, de neutrons ou de neutrinos. La majorité de ces instruments fait appel à des cavités supraconductrices où se rejoignent des expertises très diversifiées. La DSM/Dapnia et l'IN2P3 jouent un rôle important dans ces divers projets: I3 CARE (cavités, injecteurs), EUROTEV (développements génériques pour ILC, CLIC) IP EUROTRANS (transmutation des déchets), Design study EURISOL où se rejoignent ions lourds et faisceaux protons intenses, ainsi que de nombreux accords bilatéraux (DESY/TESLA pour les FEL, FAIR-GSI, GANIL-Legnaro, pour les ions).

Le CERN est l'institution de référence pour la physique des particules en Europe, mais son rôle est désormais mondial. Une coordination des infrastructures et des programmes au

niveau européen s'est mise en place pour la physique nucléaire (NUPECC: Nuclear Physics European Coordination Committee), et pour les astroparticules (ApPEC: Astroparticle Physics Coordination). Sous l'égide de ces comités, trois initiatives d'infrastructures intégrées (13) ont été approuvées à la commission européenne pour le 6e programme cadre: EURONS (Structure Nucléaire), I3HP (Physique hadronique) pour la Physique Nucléaire et ILIAS pour les astroparticules.

Pour faciliter la collaboration interdisciplinaire, un groupement de recherche sur les Phénomènes cosmiques de haute énergie (PCHE), un groupement de recherche sur les neutrinos, un Programme National d'Astroparticules, un Programme National de Cosmologie et un Programme sur l'Aval du Cycle Electronucléaire PACE, ont été créés. Un groupement de Recherche regroupant Astrophysique et Physique Nucléaire est également en gestation ainsi qu'un groupement de recherche sur les neutrinos.

---

## **LES OUVERTURES VERS LA SOCIETE**

### **L'interdisciplinarité**

Le cœur de notre activité technique reste le soutien aux projets qui visent à la compréhension de l'univers aux petites distances, et désormais aussi aux distances cosmologiques. Ceci implique la réalisation des détecteurs nouveaux et complexes, ce qui n'est envisageable que grâce à la compétence des équipes qui contribuent à la conception et à la construction des appareillages, où leurs interventions portent sur tous les aspects : accélérateurs, détecteurs, mécanique, électronique, informatique.

Ces compétences sont utilisées dans des activités pluridisciplinaires qui s'appuient sur la mise en oeuvre des techniques instrumentales de la physique nucléaire et des particules, pour

aborder des domaines scientifiques variés : matériaux, agrégats, chimie, sciences de la vie, médecine (proton et hadronthérapie), environnement.

**Objectif 1** : Contribuer à la prochaine génération de FEL (en partenariat avec DESY sans doute) et à la R et D sur la technologie froide des collisionneurs linéaires  $e^+ e^-$  (TESLA)

**Objectif 2** : Contribuer à la réalisation de centres de proton et d'hadronthérapie.

**Objectif 3** : Développer des techniques innovantes d'imagerie en biologie et médecine

**Objectif 4 :** Contribuer à l'émergence sur le territoire français, de plateformes pluridisciplinaire basées sur les faisceaux d'ions pour l'irradiation et la modification des matériaux couplés aux techniques de microscopes électroniques ou d'imageurs

## La formation

La formation doit rester un objectif prioritaire de l'IN2P3 et du DAPNIA, et ce, aussi bien pour l'avenir de nos laboratoires, que pour assurer la formation générale des étudiants en Sciences.

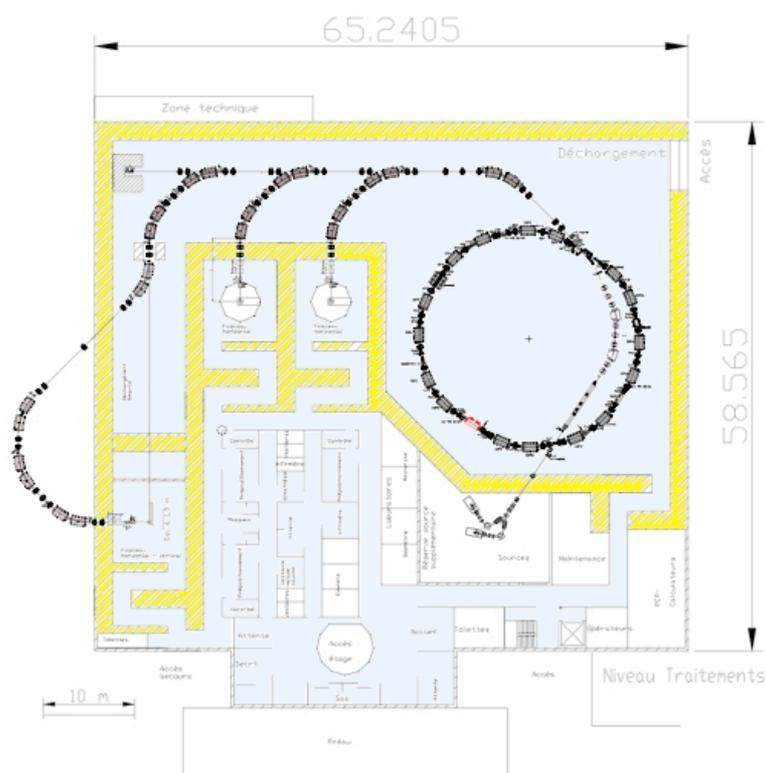
Cette formation s'intègre dans le cadre général de la physique et de l'instrumentation moderne. Il nous faut d'un côté permettre plus de recherche aux enseignant-chercheurs et d'autre part accroître le nombre d'étudiants.

**Objectif 1 :** partager les tâches d'enseignement, sur la base des compétences et du volontariat, entre tous les acteurs de nos laboratoires.

**Objectif 2 :** mener vigoureusement une politique d'ouverture et d'échange entre universités afin que les fondements de nos disciplines soient enseignés dans l'ensemble des universités françaises, à côté des fondements des autres disciplines.

**Objectif 3 :** continuer de développer des stages (exemple Janus) attirant les étudiants vers les sciences et en particulier vers nos disciplines.

**Objectif 4 :** faire vivre les sites web de nos instituts afin que les étudiants y trouvent toutes les informations tenues à jour leur permettant de choisir positivement leur avenir scientifique.



**Figure 1 :** Projet d'implantation du projet d'hadronthérapie ETOILE à Lyon.

## La communication vers la société

La communication vers la société de nos résultats, de notre apport à la connaissance et à la culture est un objectif fondamental. Faire partager aux citoyens nos interrogations, notre enthousiasme et notre émerveillement devant les avancées scientifiques de nos domaines doivent être au premier plan de nos missions. Pussions-nous faire partager cette passion aux jeunes et inculquer une morale de la connaissance au monde qui nous entoure, que nous aurions fait une grande avancée sociétale.



