

## LE LHC : C'EST PARTI !

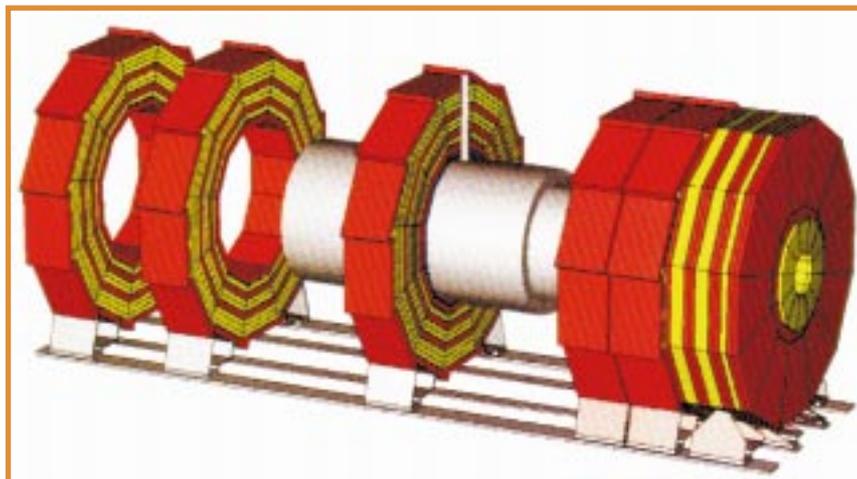


Schéma de montage de la bobine et des aimants du détecteur CMS.

Ces trois initiales **LHC** ne veulent pas dire Le Haut Commissaire. Le CEA vient pourtant de publier, avec le CNRS, le communiqué de presse suivant daté du 16 décembre 1994 :

### Grand collisionneur de protons du CERN (LHC) : un nouveau champ de recherches s'ouvre en physique

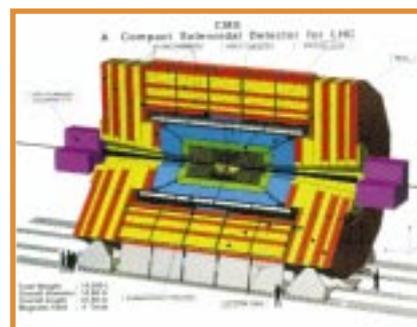
«Les physiciens des particules de l'Institut national de Physique Nucléaire et de Physique des Particules (CNRS) et de la Direction des Sciences

de la Matière (CEA) se félicitent qu'une décision positive pour la construction du LHC (Large Hadron Collider) ait été prise le 16 décembre à la réunion du conseil du CERN.

Il s'agit là d'un choix important qui engage l'avenir de la physique des particules pour au moins les 25 prochaines années. Cette décision donne pour la première fois un accès direct aux phénomènes qui se situent à l'échelle du TeV (1 Téra électron-volt =  $10^{12}$  eV). Les physiciens et ingénieurs qui ont depuis plusieurs années fourni un effort important pour la préparation des détecteurs et de l'accélérateur, voient ainsi s'ouvrir devant eux un exceptionnel champ scientifique.

Ce choix est aussi une chance pour l'Europe qui sera ainsi à la tête d'une machine unique au monde. Certes, de nombreuses contraintes d'ordre économique ont jalonné la route qui a conduit à cette décision. Face aux conditions financières posées par les gouvernements de certains pays membres du CERN, ce dernier a proposé une nouvelle option en deux étapes. La première vise à assurer, dès 2003, un fonctionnement du LHC aux deux-tiers de l'énergie de collision ini-

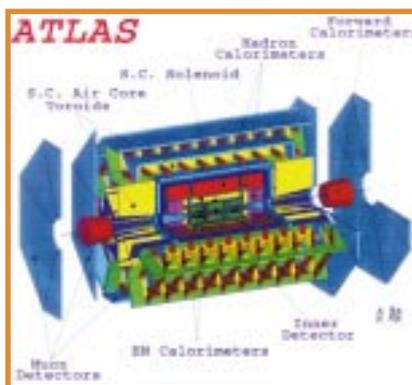
tialement prévue, permettant d'aborder en 2004 une partie de la physique qui peut être étudiée auprès du LHC et d'atteindre plus tard, en 2008, le fonctionnement de la machine à l'énergie nominale de 14 TeV.



Éclaté du détecteur CMS.

La première étape permettra déjà d'entreprendre la recherche du boson de Higgs, question actuellement centrale en physique des particules ; cependant, ce programme exige, pour être conduit à son terme, que l'accélérateur fonctionne à son énergie maximale. C'est pourquoi les physiciens espèrent aujourd'hui que l'étape ultime de construction puisse être réalisée dès 2004, ce qui dépend pour une bonne part de la participation à celle-ci des pays non-membres (Canada, Etats-Unis et Japon notamment).»

On peut lire ou relire dans Scintillation n°3 l'éditorial de Michel Spiro et l'article de Bruno Mansoulié : *Expériences au LHC : les projets en débat à Evian*. (Evian, où se tint un congrès en mars 1992. LHC démarre deux ans et demi plus tard : y avait pas le feu au lac...) On peut lire aussi l'article d'Henri Desportes sur l'aimant toroïde d'ATLAS dans le n° 17 et celui de Gilles Cohen-Tannoudji sur feu le SSC dans le n° 9.



Éclaté du détecteur ATLAS.

**Dernière heure.** - Le 24 janvier 1995, s'est tenue à Saclay la première des "Rencontres du Mardi" qu'organise la direction de Saclay pour le personnel du Centre. Cette première rencontre, consacrée au LHC a été l'occasion d'un "en direct" avec le CERN dont le directeur, Lewellyn-Smith, a eu des mots très aimables pour Saclay et le DAPNIA. On reconnaît entre-autres dans l'assistance Catherine Cesarsky, directeur de la DSM, Eliane Loquet, directeur du CE Saclay, Jacques Haissinski, chef du DAPNIA, Michel Spiro, chef du SPP.



## TRANSMUTATION DES DÉCHETS NUCLÉAIRES

**L'ensemble du parc électronucléaire français produit chaque année environ 1100 tonnes de combustible irradié contenant 96% d'uranium faiblement enrichi, 1% de plutonium, et 3% de produits de fission et d'actinides mineurs. Pour certains de ces produits, la durée de vie se compte en millions d'années. Ces "déchets à vie très longue" présentent des risques de pollution radioactive à long terme.**

Une fois déchargé, le combustible irradié est retraité afin d'en extraire l'uranium et le plutonium, considérés, en France, plus comme sources d'énergie que comme déchets et la solution la plus communément envisagée pour les produits à vie longue est celle du stockage en profondeur dans des couches géologiques stables, les isotopes à vie courte étant conservés en surface. Cependant, tous les problèmes liés au stockage profond ne sont pas résolus et le principe lui-même est controversé. La loi du 30 décembre 1991 relative à la gestion des déchets nucléaires édicte un moratoire de 15 ans avant toute décision de stockage souterrain et fait obligation aux Pouvoirs Publics de conduire simultanément des recherches de solutions permettant la séparation et la transmutation des radioéléments à vie longue et d'étudier les possibilités de stockage réversible ou irréversible dans les formations géologiques profondes.

Trois programmes s'inscrivent dans le cadre de cette loi :

- Entreposage, stockage et sûreté.
- Séparation et "incinération" (programme SPIN) du plutonium, des actinides et des produits de fission à vie longue. L'incinération consiste en la transmutation des noyaux les plus dangereux par capture neutronique ou fission. Le CEA étudie pour cela plusieurs filières : par réacteurs thermiques (REP) ou rapides existant (Superphénix) ou futurs. Une autre solution a été envisagée, en particulier aux Etats-Unis et au Japon pour transmuter les déchets nucléaires à vie longue en isotopes stables ou à vie courte par systèmes hybrides couplant un accélérateur et un réacteur.
- Mesures des données nucléaires fondamentales nécessaires aux études de faisabilité de ces filières et à l'optimisation du fonctionnement des réacteurs nucléaires. Le DAPNIA est

directement impliqué dans deux programmes internationaux : l'étude, au Laboratoire National Saturne (LNS) à Saclay, du processus de spallation (voir le glossaire) intervenant dans la filière hybride, et des mesures neutroniques fondamentales dans un centre EURATOM situé à Geel, en Belgique.

### Étude du processus de spallation à Saturne

Le principe de la filière hybride est le suivant : un faisceau intense de protons d'environ 1 GeV produit des neutrons par spallation dans une cible. Ces neutrons alimentent un réacteur où sont incinérés les déchets. Des systèmes similaires peuvent être aussi utilisés pour produire de l'énergie (projet Rubbia) ou fabriquer du tritium.

La conception et l'optimisation de la cible productrice de neutrons nécessite une bonne connaissance du processus de spallation :

- nombre de neutrons produits par proton incident (important pour l'économie du système)
- distribution en énergie et en angle du jet de neutrons (nécessaire pour optimiser la géométrie de la cible et estimer les dommages aux matériaux de structure)
- distribution isotopique des résidus de spallation (indispensable pour vérifier que l'on détruit plus de noyaux à vie longue qu'on n'en produit).

Saturne est un accélérateur dont les faisceaux de protons et de deutons sont particulièrement bien adaptés à l'exploration de cette filière de par leur intensité et leur gamme d'énergie, de l'ordre du GeV. A ces énergies, les données expérimentales sont quasi-absentes. On va donc mesurer à Saturne des sections efficaces (grandeur physique liée à la probabilité d'un processus), en fonction de l'angle et de l'énergie, de production de neutrons induits par des protons et des deutons de 800 MeV à 2 GeV sur différents matériaux utilisés dans les cibles ou structures des systèmes hybrides : Al, Fe, Zr, W, Pb et Th. Ces mesures permettront de valider et d'améliorer les codes (programmes informatiques) de modélisation du phénomène de spallation, actuellement non fiables. Ces expériences seront menées par une col-

laboration LNS, DAPNIA, Uppsala, Collège de France, Bruyères le Châtel.

La mise en place du dispositif expérimental complet et les premiers tests des détecteurs de neutrons ont été terminés en juillet 1994. Le dispositif fonctionne bien, les taux de comptage sont conformes aux prévisions et l'analyse et la correction des résultats expérimentaux sont bien maîtrisées.

La première expérience a eu lieu fin 94. Elle a permis d'étalonner les détecteurs de 50 MeV à 1,15 GeV et de mesurer la répartition en énergie des neutrons émis dans la direction des protons incidents (de 800 MeV et 1,2 GeV). Analyse en cours.

En 1995, les mesures seront étendues à des protons d'énergie plus élevée (1.6 GeV et plus) et des deutons de même énergie.

Parallèlement, d'autres équipes étudient à Saturne les résidus de spallation pour comprendre la genèse cosmique des éléments, et des mesures sur cibles épaisses ont été proposées.

### Mesures de données neutroniques fondamentales à Geel

Quelle que soit la méthode envisagée pour les transmutations nucléaires, il est indispensable de mesurer de manière précise les probabilités d'interaction des neutrons avec les différents noyaux considérés (sections efficaces neutroniques). Un exemple : l'introduction dans un réacteur d'un déchet à incinérer perturbe le fonctionnement du réacteur. Pour estimer précisément cette perturbation, il faut mesurer précisément la section efficace de capture d'un neutron par le noyau constitutif du déchet.

Des mesures neutroniques fondamentales sont nécessaires à d'autres titres.

L'étude théorique des centrales nucléaires fait appel à des codes de calcul utilisant des données expérimentales imprécises. Tant que les codes étaient encore plus imprécis que ces données, ce n'était pas gênant. Mais ils ont été grandement améliorés. Il est donc indispensable d'améliorer également la précision sur les mesures de sections efficaces. Cela permettra d'optimiser le fonctionne-

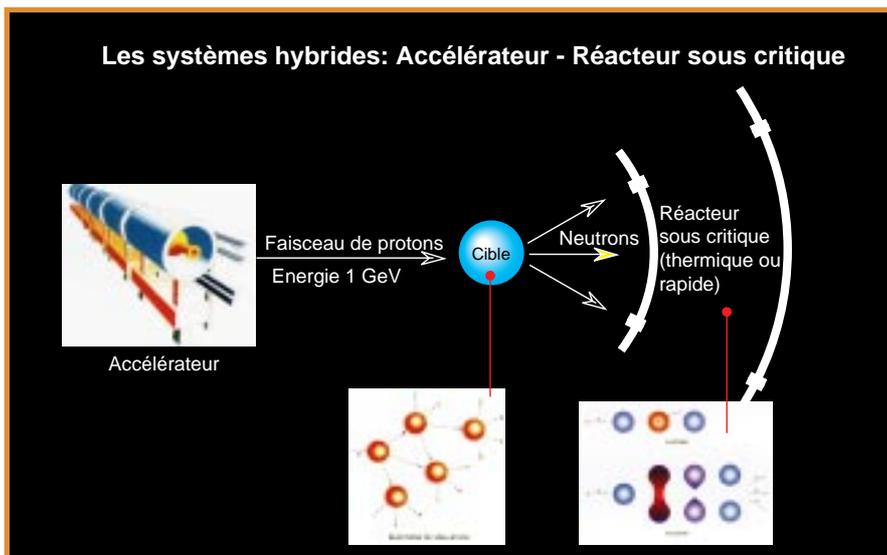


Schéma de principe des systèmes hybrides.

ment des réacteurs : augmenter le temps d'utilisation du combustible ; mieux choisir les matériaux de structure et mieux déterminer leurs dimensions, mieux résoudre les problèmes de sécurité. Et en fin de compte, de diminuer le coût de l'énergie électrique.

Autre intérêt : c'est grâce à de telles mesures relevant de la recherche finalisée que furent découverts à Saclay par J. Blons et D. Paya, (SPhN, retraités) les premiers isomères de forme (voir l'article de D. Goutte dans le n° 17 de Scintillations). Cet exemple montre qu'il n'y a pas de frontière entre la recherche dite appliquée ou finalisée et la recherche dite fondamentale ou cognitive. Et réciproquement.

Une collaboration DSM, DRN (Direction des Réacteurs Nucléaires) et l'EURATOM a débuté en 1993, auprès de l'accélérateur linéaire d'électrons "GELINA" de Geel, en Belgique, actuellement la plus puissante source de neutrons (jusqu'à 30 MeV) pulsés utilisée pour des mesures nucléaires. Elle s'est concrétisée par une première mesure, en juin 1994, de sections efficaces neutron-neptunium 237. 1995 verra la mesure sur le technetium 99.

Sylvie Leray (LNS)  
et Alfred Leprêtre (SPhN)  
avec la collaboration de  
Joël Martin (SPhN)

C'est un domaine nouveau pour nous, chercheurs du DAPNIA. Nous nous formons sur le tas (voir l'article de Vincent Méot sur le CESEN) mais nous sommes trop peu nombreux. Volontaires de tous services, vous serez chaleureusement accueillis. Ily a peu

de risques qu'il y ait des déchets parmi les candidats. (NDLR).

**GLOSSAIRE**

**Transmutation**

C'est la transformation d'un noyau en un ou plusieurs autres en le bombardant avec des particules, en général des neutrons mais ce peut être des protons, d'autres noyaux etc.

Le noyau cible peut capturer un neutron et se changer en un isotope du noyau initial, c'est-à-dire un noyau qui a autant de protons et un nombre différent de neutrons (exemple :  $n + {}^{238}\text{U} \rightarrow {}^{239}\text{U}$ ). Mais le neutron capturé peut se transformer en proton (transformation accompagnée de radioactivité  $\beta$ ) à l'intérieur de ce nouveau noyau qui se trouve ainsi avoir un proton de plus que le noyau initial. C'est comme cela qu'on a fabriqué le premier élément non naturel, le neptunium (93 protons), puis le deuxième, le plutonium (94 protons) etc. On en est actuellement à l'élément

à 111 protons (voir la brève, page 7).

Mais l'impact du neutron peut casser le noyau cible. C'est la fission, phénomène producteur d'énergie (la fission d'un seul noyau produit 200 MeV) par lequel fonctionne un réacteur nucléaire. Mais dans ce chaudron nucléaire, il se passe toutes sortes de choses. Sous l'impact d'un neutron, un noyau peut se casser en deux, mais pas toujours. Il peut ne pas se casser du tout, et c'est la simple capture de neutron déjà mentionnée. Il peut se casser en trois, voire en plusieurs fragments. Ces fragments peuvent eux-même être transmutés lors de chocs avec des neutrons ou d'autres noyaux. Il se fabrique donc dans un réacteur toutes sortes d'éléments dont beaucoup sont radioactifs et pour certains, à vie très longue.

Les quelques 1140 tonnes de combustible irradié déchargé chaque année des centrales françaises contiennent surtout de l'uranium (1090 t). Mais aussi d'autres produits à vie plus ou moins longue (est considéré à vie longue tout élément dont la période est supérieure à 30 ans) :

Pour rendre ces déchets inoffensifs, on peut tout simplement les enfouir, mais trop d'incertitudes demeurent quant à la stabilité des couches géologiques à très long terme. D'où l'idée de séparer les différents éléments et de transmuter les noyaux à vie longue en noyaux stables ou à vie courte avant de les stocker en surface.

**Spallation**

Un proton frappant un noyau d'une cible peut initier dans la matière de cette cible une cascade de réactions qui a pour effet d'en extraire des neutrons (jusqu'à une trentaine par proton incident, pour des cibles épaisses). Une telle cible bombardée par un faisceau intense de protons énergiques (comme à Saturne) peut ainsi devenir une source intense de neutrons énergiques. C'est cela le processus de spallation et les neutrons de spallation ainsi produits sont utilisés pour bombarder les noyaux à transmuter ou pour alimenter un réacteur sous-critique destiné à incinérer des déchets (dans un réacteur sous-critique, la réaction en chaîne ne peut se développer ; en cas d'emballlement, il suffit de couper le robinet à neutrons, c'est-à-dire l'accélérateur).

Plutonium : 11 tonnes		
Isotope	Quantité (tonnes)	Période (ans)
238	0,2	88
239	6,5	24.000
240	2,5	6.500

Actinides mineurs : 1 tonne		
Isotope	Quantité (tonnes)	Période (ans)
Neptunium 237	0,4	2.1 millions
Américium 241	0,2	430
Américium 243	0,1	7.400
Cirium 245	0,001	8.500

Produits de fission : 38 tonnes		
Isotope	Quantité (tonnes)	Période (ans)
Césium 135	0,4	2,3 millions
Technetium 99	1,0	21.000
Zirconium 93	0,9	1,5 millions
Iode 129	0,2	16,0 millions
Palladium 107	0,25	6,5 millions

**Ecrivez...**

Maryline Albéra  
DAPNIA/DIR - Bât 141  
CE - Saclay  
91 191 - Gif sur Yvette cedex  
Tél : (1) 69 08 82 78

## BRÈVES ... BRÈVES ...

## QU'EST-CE QUI FAIT TOURNER LE NUCLÉON ?

Les 19 et 20 janvier 1995, un atelier sur « la structure en spin du nucléon » s'est tenu à l'amphithéâtre Claude Bloch de l'Orme des Merisiers à Saclay, à l'initiative de la cellule de Communication du Dapnia et des physiciens du SPhN impliqués dans les programmes expérimentaux correspondants : SMC au CERN et E142-E143 au SLAC de Stanford (voir *Scintillation* n° 12 et 20). Au cours de la première journée le point a été fait sur l'état de l'art dans ce domaine de physique : résultats expérimentaux, interprétations (les quarks portent environ 30% du spin du nucléon) et discussions sur les corrections de Chromodynamique quantique. Les exposés du deuxième jour portaient sur l'avenir et traitaient des expériences faisables ou en projet à RHIC (Brookhaven), HERMES-HERA (Hambourg), HMC-CERN, SLAC, permettant d'accéder aux composantes du spin non encore mesurées. Les grands spécialistes européens du

domaine étaient présents, et une très grande partie du temps a été consacrée aux discussions et commentaires, comme l'avaient souhaité les organisateurs. Assistance fournie (environ 80 personnes), excellents exposés, échanges animés : tout a tourné rond...

*Les organisateurs*

## PAN SUR LE BECQUEREL

Dans son n°21 (novembre 94), Scintillations a inventé un jumeau fictif, André, à René Turley. Qu'il veuille bien accepter nos plus plates excuses.

De malencontreuses erreurs de transmission ont altéré le patronyme de certains participants au projet "EFFE", à la fin de l'article de Xavier Charlot et Jean-Luc Sida (n° 21, page 4, dernier paragraphe). Il fallait lire : "Serge Hervé" et "Edouard Mahé". Que les victimes veuillent bien nous pardonner.

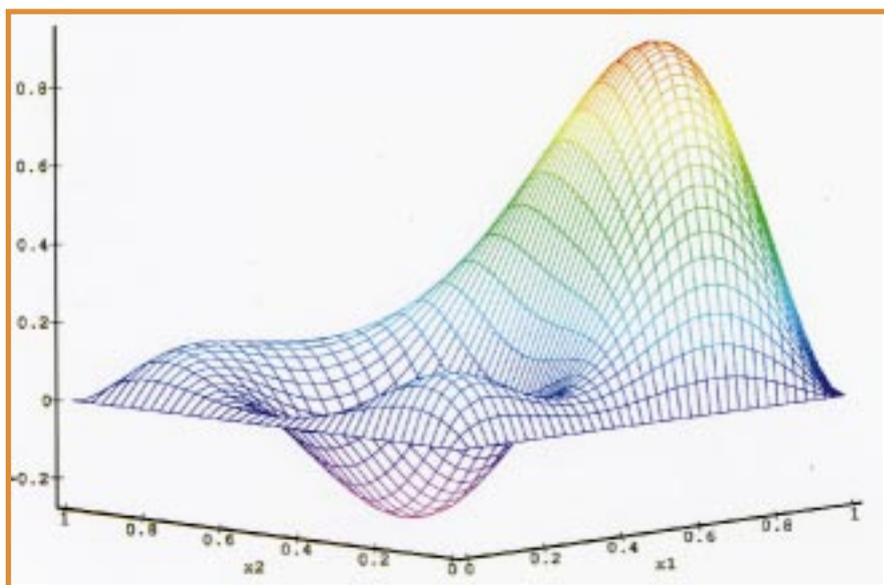
## DES ERREURS DANS LA PLAQUETTE !

Les spécialistes de DELPHI et du LEP en général auront corrigé d'eux même : DELPHI a enregistré plus de deux millions d'événements et non plus de deux milliards. Comme dit la chanson : "Dans mille ans, deux mille, peut-être"...

Dans la rosace de la page 2 de couverture, une erreur s'est glissée dans les couleurs de DAPHNE. Ce détecteur, comme beaucoup, est calibré aux rayons cosmiques, mais ne les étudie pas. Il a donc été affublé inconsidérément de la couleur turquoise affectée à cet enjeu. Le correcteur responsable est rouge de honte, mais il était noir (et blanc). Pas le correcteur, l'exemplaire qu'il a "corrigé".

Un important projet a été passé sous silence. C'est le trigger optique. Sotiris Loucatos a accepté d'en dévoiler les arcanes dans un prochain numé-

## LE PROJET ELFE



Représentation en trois dimensions d'un modèle de la fonction d'onde des trois quarks du proton. Elle représente la probabilité de trouver un quark avec une certaine quantité de mouvement. On porte sur chaque axe la fraction  $x$  ( $x_1 + x_2 + x_3 = 1$ ) de la quantité de mouvement du proton emportée par chaque quark (dans ce modèle, un des quarks en emporte la quasi-totalité). D'autres représentations sont compatibles avec les données imprécises et fragmentaires disponibles. ELFE permettra de choisir.

**L'instance européenne "NuPECC" (Nuclear Physics European Collaboration Committee) vient de faire connaître ses recommandations - très positives - sur le projet ELFE<sup>(1)</sup> conçu pour attaquer le problème central de la physique hadronique : "Comment les hadrons et les noyaux se sont-ils formés à partir des quarks et des gluons".**

Le projet ELFE (Electron Laboratory For Europe), ainsi encouragé, entend relever ce défi formidable : percer l'un des secrets de l'élaboration de notre matière, en abordant le problème du confinement des quarks d'une manière originale. Il s'agit d'isoler les configurations les plus simples - trois quarks dans un baryon, une paire quark-antiquark dans un méson - et d'étudier leur évolution lors de leur passage dans la matière nucléaire. NuPECC trouve cette motivation "incontournable". Cette instance recommande qu'une initiative soit prise en vue de construire un laboratoire européen autour d'un accélérateur d'électrons délivrant un faisceau continu et très intense dans la gamme d'énergie de 15 à 30 GeV.

La conception actuelle de l'accélérateur prévoit deux étapes qui pourraient être réalisées dès maintenant avec les technologies d'aujourd'hui. La première étape (15 GeV) sera réalisée en faisant circuler trois fois le faisceau dans un accélérateur linéaire supraconducteur de 5 GeV. Le projet est basé sur un gradient accélérateur de 10 mégavolts par mètre, performance déjà dépassée en l'état actuel de l'art des cavités supraconductrices <sup>(2)</sup>. Les arcs de recirculation sont conçus de telle sorte que les qualités d'un faisceau de 30 GeV ne soient pas détériorées par la perte d'énergie causée par le rayonnement synchrotron. La seconde étape (30 GeV) sera réalisée dès que les progrès de la technologie des cavités supraconductrices permettront une augmentation significative du gradient accélérateur.

L'intensité nominale sera suffisamment grande (10 à 50 microampères) pour atteindre les fortes luminosités (de  $10^{35}$  à  $10^{38}$   $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) nécessaires à l'observation de phénomènes très ténus à très petite section efficace (probabilité). Le grand "cycle utile" (faisceau fonctionnant à 100% du temps) rendra possible des expériences de coïncidences jusqu'alors inaccessibles.

Un groupe de projet doit être formé pour atteindre ce but. Il devra coordonner les développements techniques nécessaires. En élargissant et renforçant la communauté des utilisateurs concernés - collaborations européennes en priorité, mais ouvertes au niveau mondial -

il devra attacher une attention toute particulière aux applications potentielles, que NuPECC considère comme très prometteuses, des faisceaux d'électrons ultrarelativistes de haute brillance à la production de radiation cohérente de grande intensité (Laser à Electrons Libres).

Ces recommandations constituent un jalon important dans la préparation du futur à long terme de la physique hadronique en Europe. Les deux prochaines années verront la mise en place du cadre formel de collaboration entre les différents organismes de recherche européens, l'optimisation de la conception de la machine et des dispositifs expérimentaux ainsi que l'élargissement de la communauté potentiellement intéressée.

Jean-Marc Laget (SPhN)

L'accélérateur et les systèmes de détection et d'analyse sont conçus pour permettre l'accès à toute une classe d'expériences de coïncidences qui ne peuvent être réalisées auprès des accélérateurs existants et qui ne seront que défrichées à CEBAF<sup>(3)</sup> : l'étude des "réactions exclusives à grand transfert". Dans ces réactions, à la fois l'état initial et l'état final sont complètement déterminés. Transférer une grande quantité de mouvement équivaut à sélectionner un tout petit volume d'interaction, donc à imposer que le nombre minimum de quarks soient impliqués dans la réaction. Plus techniquement, c'est le moyen de sélectionner la composante la plus simple de la fonction d'onde des hadrons: trois quarks de valence dans la fonction d'onde du proton, par exemple. Ce sont des configurations que l'on commence à savoir calculer grâce à la Chromodynamique quantique (QCD) sur réseau. L'étude de quelques canaux exclusifs bien choisis (facteurs de forme des mésons et des baryons, diffusion Compton, production de mésons) nous offrira différentes manières de sonder cette configuration simple de quarks de façon à établir la cartographie de la fonction d'onde correspondante qui permet de décrire le proton en termes de quarks (voir la figure).

L'autre originalité du projet est l'utilisation du noyau comme "micro-détecteur" ou "filtre". Deux cas extrêmes valent la peine d'être considérés. Le premier est connu sous le nom de *transparence de couleur* (la force de couleur est celle qui lie les quarks via l'échange de gluons). L'idée consiste à examiner certaines différences de comportement entre nucléon (ou hadron) libre et nucléon baignant dans son noyau. Le principe est de sélectionner dans un noyau une des configurations simples évoquées au début de l'article, qui ont la surprenante propriété de se propager presque librement à l'intérieur de la matière nucléaire, et d'observer son évolution vers l'état libre en étudiant l'interaction du hadron sortant en fonction de la taille du noyau. Le second est l'étude de l'hadronisation dans les noyaux. Quand un photon éjecte un quark d'un nucléon, ce quark commence à se propager sans interaction sur une certaine distance avant de "s'habiller" de paires quark-antiquark, pour finalement se matérialiser en un jet de hadrons. C'est l'hadronisation. Aux énergies choisies pour ELFE, la distance caractéristique sur laquelle chacune des étapes de l'*hadronisation* se déroule est comparable à la taille d'un noyau. Varier les tailles des noyaux d'où on éjecte le quark est un moyen privilégié d'accéder à chacune de ces étapes.

ELFE ouvrira un troisième axe pour sonder la matière hadronique : la production de particules étranges et charmées (saveurs lourdes). Dans l'étude de tout système complexe, l'introduction d'une "impureté" (un quark étrange ou charmé <sup>(4)</sup>, par exemple) et l'étude de sa propagation, ainsi que de la réponse du système à cette intrusion, nous offrent de nouveaux moyens d'investigation.

Dans tous ces domaines, la détermination des nombreuses observables dépendant du spin (le faisceau sera polarisé<sup>(5)</sup> à plus de 50%) élargira notre capacité de comprendre plus profondément la matière hadronique.

(1) - Deux numéros de ScintillationS : n° 5, page 5, et n° 8 pages 1 et 2, ont naguère évoqué ce projet qui ne s'appelait pas encore ELFE.

(2) - Voir dans "ScintillationS" n° 3, pages 3 et 4, l'article "Les superlatifs en action" de J. M. Cavedon et E. Klein sur le module d'accélérateur supraconducteur "MACSE" et dans le cahier interne à la plaquette "DAPNIA 93-94" la fiche "Technique des accélérateurs, supraconductivité hautes fréquences".

(3) - Voir "ScintillationS" n° 20.

(4) - Voir le tableau des particules ("ScintillationS" n° 3, page 1).

(5) - Voir "ScintillationS" n° 12, encart orange, page 5.

## LE CESEN

(Cercle d'Études Sur l'Énergie Nucléaire)

### Pourquoi un tel cercle ?

Le CEA a été conçu comme un organisme de recherche multidisciplinaire. Son dynamisme et ses succès doivent beaucoup à l'implication de ses chercheurs fondamentaux dans les activités de développement technique, véritable symbiose entre la démarche scientifique et les objectifs d'ingénierie.

Mais la croissance considérable du Commissariat durant ses vingt premières années a progressivement éloigné les différentes disciplines les unes des autres et aujourd'hui la plupart de ses chercheurs fondamentaux n'ont qu'une connaissance fragmentaire sur l'énergie nucléaire. Lorsqu'ils sont, comme à présent, sollicités pour participer aux études concernant les déchets nucléaires, ils n'ont le plus souvent dans leur bagage que des principes généraux, quelques connaissances fondamentales, et pour les questions liées aux enjeux techniques et industriels, un savoir dépassant à peine celui du public cultivé. Malgré leur potentiel scientifique élevé et leur appartenance au CEA, ces physiciens ne sont donc pas préparés à l'effort de réflexion, d'information et de recherche que notre société entend mener dans ce domaine.

Ils peuvent, bien sûr, combler cette lacune en lisant et s'informant auprès de collègues spécialistes de l'énergie nucléaire. Ils en ont la volonté, le goût, comme le montre l'intérêt manifesté par ceux qui ont la chance de découvrir l'ensemble du

CEA en de trop rares occasions (stages d'embauche ou de C3), mais force est de constater que le résultat est insuffisant.

Partant de cette constatation, trois personnes : Dominique Goutte (ex-SPhN), Etienne Klein (SEA) et Philippe Leconte (ex-SGPI) ont proposé d'avancer plus hardiment dans cette direction et de renouer avec une tradition née avec le CEA en créant, au sein de la DSM, un lieu de formation et d'échanges réguliers et approfondis sur les questions relatives à l'exploitation de l'énergie nucléaire.

**Ainsi s'est constitué, en mars 1994, le CESEN, groupe d'une quinzaine de personnes acceptant de se pencher assidûment sur le problème des déchets nucléaires.** Les objectifs de ce cercle d'études sur l'énergie nucléaire sont :

- assimiler l'ensemble des concepts et des techniques mis en jeu pour la maîtrise de l'énergie nucléaire
- voir ensuite s'il y a place pour des idées neuves et des techniques innovantes, en particulier pour résoudre le problème de l'élimination des déchets nucléaires
- si oui, discuter et susciter des études théoriques et expérimentales pour tester ces idées
- partager et promouvoir à l'extérieur du CESEN les connaissances et l'expertise accumulées en son sein.

Deux fois par mois, un membre du groupe donne un cours permettant à l'ensemble d'acquérir de bonnes connaissances sur l'énergie nucléaire sous l'égide

d'un expert invité. Les sujets abordés en 1994, outre des bilans de conseils ou conférences, ont été les suivants :

- Les déchets nucléaires
- Le devenir d'un combustible irradié
- Déchets et société
- Les phénomènes nucléaires fondamentaux
- Les différentes filières nucléaires
- Les accélérateurs et les déchets nucléaires
- L'enfouissement profond
- L'amplificateur d'énergie de C. Rubbia
- Analyse contradictoire de la proposition Rubbia
- Rubbia 2 : solution avec des neutrons rapides
- Les codes de calcul
- Le programme SPIN (SEparation et INcinération)
- Oklo (réacteur naturel africain vieux de millions d'années)

Après dix mois de fonctionnement du CESEN, ses membres connaissent mieux les problèmes principaux concernant l'électronucléaire, et ils ont pu saisir l'étendue de ce qui reste à faire. Mais il est trop tôt pour que l'on puisse parler d'une véritable expertise. Ce travail d'apprentissage devrait déboucher au cours de l'année 1995 sur une activité plus concrète permettant d'atteindre les buts que le cercle s'est fixés.

Etienne Klein (SEA),  
Vincent Méot (SPhN)

## B R È V E S ... B R È V E S ...

### ESSAIS DU PREMIER QUADRIPOLE COMPLET "CEBAF Q1"

Dans la seconde quinzaine de novembre, les essais de réception du premier quadripôle "Q1", composant du spectromètre à haute résolution du hall A de CEBAF (voir *ScintillationS* n° 19), ont eu lieu avec succès à Saclay. L'aimant, son instrumentation et son alimentation de 3500 ampères ont parfaitement fonctionné. La haute qualité du champ magnétique démontre la précision de centrage de la culasse de deux tonnes, à température ambiante, par rapport aux bobines supraconductrices situées dans l'hélium liquide. Cet ensemble sera expédié aux Etats-Unis courant janvier 1995.

L'équipe CEBAF Q1 (STCM et SPhN)

### NOUVELLE DE NA 48

Pour NA 48, la fin de l'année a été marquée par la fermeture de la première chambre à dérive complète: plus de 6000 fils positionnés avec une précision de quelques dizaines de  $\mu\text{m}$ . Après l'accastillage, l'efficacité et la résolution seront mesurées sur place avec les rayons cosmiques courant février. L'envoi au CERN est prévu en avril.

En parallèle, la production des plans de fils de la deuxième chambre a débuté depuis le 9 janvier.

Le but de NA 48 est la mesure de la violation directe de CP (phénomène lié à la dissymétrie matière-anti-matière, voir n° 13, NDLR) dans les désintégrations  $K_L \rightarrow \pi^+ \pi^-$  et  $K_L \rightarrow \pi^+ \pi^-$ . Ces dernières seront mesurées à l'aide de quatre chambres construites à

Saclay. Une prise de données avec trois de ces chambres est prévue cet été (août septembre) pour la mise au point du spectromètre.

Pascal Debu (SPP)

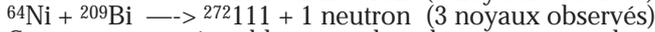
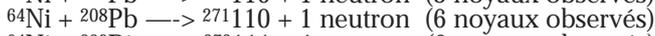
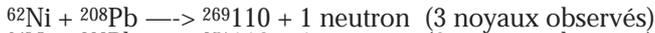


Vue d'une chambre à dérive pour l'expérience NA 48.

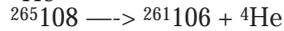
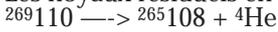
## BRÈVES ... BRÈVES ...

## AU DELÀ DU SANG NEUF

Ou plutôt: du cent neuf. En effet, deux nouveaux éléments viennent de s'ajouter aux 109 déjà fabriqués par la nature ou par l'homme. Une équipe germano-russo-slovaquo-finlandaise a produit en novembre 1994 quelques noyaux des éléments 110 et 111 en bombardant du plomb et du bismuth avec deux sortes de noyaux de nickel accélérés autour de 300 MeV par la machine à ions lourds "UNILAC" à Darmstadt. Les réactions ont été les suivantes :



Ces noyaux sont instables et perdent deux protons et deux neutrons sous forme d'un noyau d'hélium 4 (radioactivité  $\alpha$ ). Les noyaux résiduels en font autant etc. Il se produit ainsi une cascade de réactions nucléaires par "décroissance  $\alpha$ " :



jusqu'aux éléments connus le lawrencium 256 (103 protons) pour la décroissance de l'élément 111 et le nobelium 253 (102 protons) pour celle du 110. Les durées de vies observées de ces nouveaux éléments varient suivant l'énergie d'excitation des exemplaires produits et sont de l'ordre de quelques centaines de microsecondes.

## UN SOLEIL ARTIFICIEL DE NEUTRINOS CONFIRME L'ÉNIGME DES NEUTRINOS SOLAIRES

En juin 1992, la collaboration GALLEX (*voir Scintillation* n°5) annonçait la première observation des neutrinos produits par la fusion primordiale entre deux protons au cœur du Soleil, réaction à l'origine de son énergie : le bois dont se chauffe notre étoile. Dans la même annonce, elle soulignait que le flux de neutrinos mesuré était inférieur d'un bon tiers aux prédictions des astrophysiciens. Venant après les déficits importants observés par les deux expériences pionnières, *chloré* de Davis aux Etats-Unis et *Kamioka* au Japon, ce résultat pouvait remettre en cause soit nos idées sur le fonctionnement des étoiles soit la physique des neutrinos et le Modèle Standard des particules. Avant de bousculer l'ordre établi, il est apparu nécessaire de vérifier que l'ensemble du détecteur fonctionnait bien. Comme il n'est pas possible d'arrêter le Soleil, il ne restait qu'une solution : fabriquer une source artificielle de neutrinos beaucoup plus puissante que lui. Ce fut fait durant l'été 1994 avec l'active participation du SEI, du SGPI et du SIG.

36 kilogrammes de grains de chrome (*voir Scintillation* n°19) ont été installés en mai 94 dans Siloé, un réacteur expérimental du centre CEA de Grenoble. Le chrome avait auparavant été enrichi à 40% en chrome 50 (le chrome naturel n'en contient que 4%) par l'Institut Kurchatov à Moscou. Les neutrons du réacteur, dont le cœur a été spécialement aménagé à cet effet, transforment le  $^{50}\text{Cr}$  en  $^{51}\text{Cr}$ , lequel

se désintègre en émettant essentiellement des neutrinos de 750 keV, énergie proche de l'énergie moyenne des neutrinos solaires qui interagissent dans GALLEX. Après 23 jours d'irradiation, le chromé était sorti du réacteur et placé dans un blindage de tungstène, constituant la source artificielle de neutrinos la plus puissante à ce jour : 60 millions de milliards de neutrinos par seconde (60 petabecquerels). Paradoxalement, cette source était tout à fait inoffensive sur le plan radiobiologique puisque la radioactivité mesurée à l'extérieur était inférieure à 7 microsieverts par heure (*à comparer à 5 par heure en regardant la télé et 500 pour la radio... pulmonaire, NDLR*). Transportée au laboratoire souterrain du Gran Sasso, elle a aussitôt été placée au centre du détecteur GALLEX, dans le puits spécialement aménagé à cet effet. Elle y est restée plus de trois mois pendant lesquels elle a produit une abondante moisson d'atomes de germanium 71 (les premiers jours, dix fois plus que le Soleil) dont le nombre s'est révélé 1,04 fois (à 0,12 près) le nombre attendu compte-tenu de l'activité de la source. La réponse du détecteur GALLEX est donc exactement celle prévue. Le déficit en neutrinos solaires est bien réel est n'est pas dû à une faiblesse de l'expérience.

Explication séduisante possible : les détecteurs ne sont sensibles qu'aux neutrinos électron (*voir le tableau des particules, dans le n°3 de Scintillation*) les seuls que produit le Soleil ;

si certains d'entre-eux se transforment, par "oscillations de neutrinos" dans la matière du Soleil, en neutrinos muon ou en neutrinos tau indétectables, ils ne sont pas comptés. D'où le déficit. Pour tester cette hypothèse, il faudra probablement attendre quelques années et la prochaine génération de détecteurs (SNO au Canada, Super-Kamiokande au Japon et Borexino au Gran Sasso), ou les expériences auprès du SuperSynchrotron à protons de 450 GeV (SPS), au CERN (CHORUS et NOMAD), qui recherchent les oscillations entre neutrinos muon et neutrinos tau. Si les neutrinos étaient massifs, ils pourraient constituer une part importante de la masse manquante de l'Univers. Mais ne vendons pas la peau de l'ours...

*Michel Cribier et  
Daniel Vignaud (SPP)*

A lire aussi :

- De P. Anselman et coll. un article à paraître dans *Physics Letters B*.

- M. Cribier, M. Spiro et D. Vignaud, *La lumière des neutrinos*, Editions du Seuil, février 1995.

- G. Berthomieu, M. Cassé et D. Vignaud, *La structure interne du Soleil*, "La Recherche" avril 1991.

- M. Cribier et D. Vignaud, *Neutrinos solaires, l'énigme persiste*, "La Recherche", septembre 1992.

## BRÈVES ... BRÈVES ...

## VA-ET-VIENT

**1er octobre 1994** - Didier Bede-rède (SED) est muté au DSPT/STE ; Daniel Cacaut a quitté le SGPI pour la DTA Grenoble, laquelle l'a mis pour 3 ans à la disposition de la Délégation régionale de Champagne-Ardenne de l'ANVAR où il représente le CEA dans le réseau de transfert de technologies ; Dominique Goutte (SPhN) s'en est allé à la DAM (B3/AMB/PTN/RFP).

Sont partis en retraite : Gisèle Camus (SAP), Monique Demonchy (DIR), Léonard Cambien (SEI), Jacques Roos (SEA) et Jean Vergnaud (SGPI).

Un recrutement : Frédéric Marie (SPhN), à compter du 27 septembre 1994.

**1er novembre 1994** - Les retraité(e)s du mois : Odette Rozel (SIG), Marcel Banner (SPP), Claude Gou (SEA), Jean-Pierre Helle (SIG).

**2 novembre 1994** - Romain Berthier est recruté au SIG.

**14 novembre 1994** - Florence Desages est recrutée au SED.

**1er décembre** - Françoise Lepage (DIR), la documentaliste du SPhN part en retraite. Merci pour tout, Françoise ! Retraite également pour Vincent Terrana (SED).

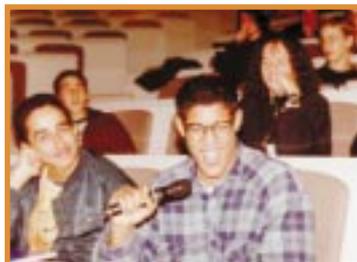
Dominique Durand (SED) passe annexe I. Toutes nos congratulations.

Paul Giovannoni est muté du STCM vers le DSPT/STE.

## CARNET BLEU

Arrivée de Florent chez Vanina Ruhlmann (SPP) et de Yannick chez Paul Colas (SPP). Le SPP n'est pas pour autant devenu le Service de Puériculture Particulière.

## SACLAY-COLLEGE



Les 24 et 25 novembre 1994, au DAPNIA, "TP" n'étaient plus seulement les initiales de "Tandem Post-accélééré" mais aussi celles de "Travaux Pratiques".

En effet, dans le cadre des stages "Découverte de l'entreprise" qu'il leur est conseillé de suivre, près de 1400 collégiens de Troisième, accompagnés d'environ 150 enseignants, se sont initiés aux charmes de la recherche lors des "Rencontres CEA-Jeunes" de ces deux journées, organisées dans toute la France par le Commissariat, sous l'égide du Ministère de l'Education Nationale.

Saclay, pour sa part, a accueilli quelques 300 élèves des collèges alentour (Buc, Chevreuse, Gif, Magny-les-Hameaux, Massy, Montlhéry, Les Ulis, Villejuif).

Après une présentation du Centre et de ses activités, les élèves ont été répartis en petits groupes de 2 à 5 afin de réaliser des expériences en laboratoire sous la tutelle de chefs d'atelier maison, aussi

dévoué(e)s qu'efficaces, et pour la plupart ravi(e)s de jouer au prof avec ces jeunes pour la plupart aussi curieux qu'enthousiastes. En témoigne la qualité parfois surprenante des questions posées lors de ces ateliers, des repas professeurs-élèves-chercheurs ou des conférences informelles et souriantes qui clôturèrent ces journées.



Le DAPNIA s'est fortement impliqué dans cette sympathique opération en proposant de multiples ateliers et en participant aux conférences finales.

Citons parmi les deux bonnes douzaines d'ateliers proposés : "automates", "rayonnement cosmique", "traitement d'images astronomiques", "expériences sur un supra-conducteur", "CAO circuits imprimés", "observations d'événements sur console vidéo (ALEPH, DELPHI, H1, ATLAS)", "détection en coïncidence des produits de fission du californium", "simulation de la conduite d'un faisceau de particules à Saturne" etc. Merci aux animatrices et animateurs d'avoir peut-être suscité des vocations...

Expérience(s) à renouveler. Telle a été la conclusion de la réunion-bilan entre enseignants et chercheurs, tenue à l'INSTN le 18 janvier 1995. Les suggestions : réduire le niveau des exposés, parler plus "histoire des sciences", "aspects humains de la recherche", réduire le temps de la conférence de la quatrième demi-journée ou la remplacer par des "jeux-concours" sur les ateliers, enfin, programmer les prochaines rencontres Jeunes-CEA à une date plus avancée dans l'année scolaire afin d'y mieux préparer les élèves.

La Rédaction.



## - LES PLUMES DU DAPNIA .....

**Les Sciences de la forme, aujourd'hui.** (Point-Seuil, 1994)

Cet ouvrage collectif rend compte d'une série d'entretiens avec Emile Noël, diffusée par "France-Culture". Gilles Cohen-Tannoudji du SPP et de ScintillationS a rédigé le chapitre "Formes et particules".

L'ouvrage d'Etienne Klein (SEA) : **Conversations avec le Sphinx** (les paradoxes en physique) vient d'être réédité au Livre de Poche-Albin Michel dans la collection "biblio essais".

...

Vient de paraître un numéro hors-série de "Science et Avenir" : **Comprendre la matière** (Comment l'Univers est né du vide). S'y illustrent trois plumes du DAPNIA : Gabriel Chardin (SPP) : *L'univers miroir*, Etienne Klein (SEA) : *Menaces sur la big science*, et Gilles Cohen-Tannoudji (SPP) : *La matière aujourd'hui*. L'article qui avait été demandé à Jean-Marc Laget (SPhN) n'a pu être publié, nous a-t-on expliqué, pour des raisons techniques.

## CEA - DIRECTION DES SCIENCES DE LA MATIERE

## DIRECTEUR DE LA PUBLICATION :

Jacques Haïssinski

## COMITÉ ÉDITORIAL :

Joël Martin (porte parole),

Claire Antoine, Françoise Auger, Pierre Besson,

Daniel Bonnerue, Michel Bourdinaud,

François Bugeon, Gilles Cohen-Tannoudji,

Bertrand Cordier, Pierre Lamare,

Claude Lesmond, Elizabeth Locci,

Marc Sauvage, Jean-Claude Scheuer

## RÉDACTION :

Maryline Albera

## MAQUETTE ET MISE EN PAGE :

Henry de Lignières

Sandrine Grégoire

Dépôt légal février 1995