

UN SAPHIR POUR RÉVÉLER LA BEAUTÉ

(Le discriminateur optique)

Honte à nous, les communicants : ce superbe appareillage n'a pas été mentionné dans la plaquette "DAPNIA 93-94". Mais ses papas ne sont pas rancuniers. Ces rois des saphirs ne font pas la tête : deux d'entre eux ont accepté de nous dévoiler leurs fibres et leurs enchantements. (NDLR)

Le "Trigger Optique" est issu d'une proposition faite en 1991 par G. Charpak, Y. Giomataris et L. Lederman pour détecter en moins d'une nanoseconde (10^{-9} sec.) des particules se désintégrant après un bref vol. L'ambition est de fournir un discriminateur capable de reconnaître rapidement des mésons B (voir "Scintillations" n° 2 et 19) parmi des interactions cent mille fois plus fréquentes, dans une expérience sur cible fixe au LHC. Il servirait à déclencher (en anglais : "to trigger") les autres détecteurs de l'expérience. Il faut, par un tri simple et rapide, soulager l'électronique qui suit, sollicitée à la limite de ses capacités (40 millions de fois par seconde).

L'intérêt de cette physique est considérable : la violation de CP (signant une dissymétrie matière-antimatière, NDLR), qui n'était jusqu'à présent observée qu'avec des K^0 porteurs du quark (grain élémentaire de matière) d'étrangeté, sera probablement mise en évidence dans les systèmes de B, porteurs du grain de beauté élémentaire...

Le principe

Traversant un milieu transparent, une particule de haute énergie émet de la lumière appelée "rayonnement Cerenkov" (voir le glossaire) sur un cône axé sur la direction de la particule. Un cristal taillé en forme de coupelle sphérique mince est centré sur une cible ponctuelle placée dans le faisceau d'un accélérateur (fig. 1). La lumière Cerenkov produite par la plupart des particules dans le cristal sort par la face externe. Les particules, plus rares, qui nous intéressent sont celles qui ont subi une désintégration avant d'avoir atteint le détecteur. Les particules-filles possèdent donc un paramètre d'impact non nul (voir l'encadré). Elles arrivent sur la coupelle avec un angle d'incidence légèrement différent de celui des traces

directes et, si l'indice optique est correctement choisi, une partie de la lumière est piégée dans le cristal par effet de réflexion totale, et ressort sur les côtés pour y être détectée. Mais une infime différence d'angle (quelques millira-

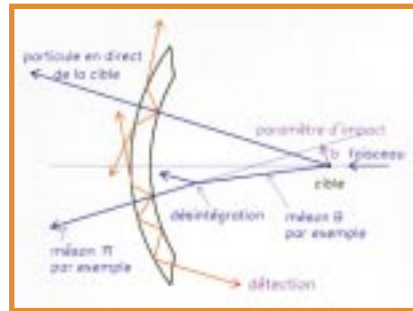


Figure : 1

dians) suffit pour passer de la réflexion totale à la réfraction : la lumière s'échappe prématurément, le piège à lumière ne fonctionne plus. Il faut donc ajuster très finement les indices optiques pour assurer la transmission.

Les premiers tests

Cette idée a été mise en application par une collaboration entre le DAPNIA, le CERN, l'Université de Lausanne et Fermilab⁽¹⁾. L'étude d'un tel détecteur a reçu l'approbation des comités d'expériences du CERN en novembre 1992 et du DAPNIA en avril 1993.

Le choix du matériau du cristal est

primordial. Pour que la réflexion totale puisse se produire pour un paramètre d'impact b très petit, il faut que la différence des carrés des indices optiques du cristal et du milieu qui l'entoure soit très peu inférieure à 1. Cela a été vérifié à Fermilab avec une plaque de fluorure de magnésium, et au CERN avec une coupelle de fluorure de lithium (d'indice très légèrement inférieur à la racine carrée de 2) qui, placée dans l'air (d'indice égal à 1) satisfait à cette condition optique. Les particules utilisées : un faisceau de pions de 8 GeV issu du PS (Proton Synchrotron) du CERN et envoyé sur la coupelle parallèlement à son axe. Une des propriétés intéressantes du Trigger Optique a été employée dans le montage : pour de petites valeurs de b , la lumière piégée ressort par les côtés en un faisceau qui semble provenir d'un point image qu'il nous a suffi de placer sur un des foyers d'un miroir elliptique ; un photomultiplicateur situé au second foyer détectait la lumière qui y convergeait (un peu comme deux personnes peuvent se parler à mi-voix d'un quai à l'autre d'une station de métro parisien de section elliptique, NDLR)

Les résultats obtenus ont été tout à fait conformes aux prévisions des simulations : le signal détecté, pratiquement nul à $b = 0$, croît avec le paramètre d'impact, comme attendu.

Une autre manière de collecter la lumière Cerenkov piégée dans le cristal est l'emploi de fibres optiques conduisant la lumière du cristal vers



Le quark top existe, CDF et Dzéro l'ont observé.

le photomultiplicateur. La flexibilité des fibres donne l'avantage de dégager l'espace occupé autour de la cible par le miroir elliptique. C'est là que le savoir-faire du SED à été sollicité : il fallait implanter un peu plus de 1000 fibres de 850 microns de diamètre perpendiculairement à la face de sortie du cristal, d'une épaisseur de 3 millimètres et s'inscrivant dans un cône. Selon des plans élaborés au SGPI⁽²⁾, on a fabriqué un anneau "pique-fleurs"

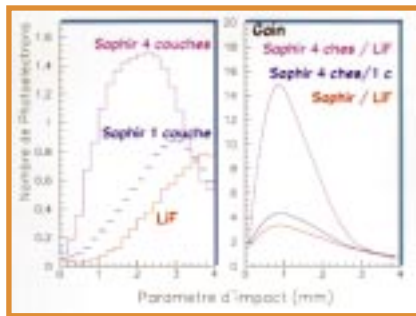


Figure : 2

percé de trous distants seulement de 50μ et l'implantation (fig. 2) a été méticuleusement réalisée⁽³⁾. Les résultats sont, là aussi, conformes à ceux que l'on attendait : la détection par fibres optiques est réalisable dans la configuration du Trigger Optique. Le photomultiplicateur peut-être remplacé par des diodes placées à l'extrémité des fibres. Une collaboration s'est nouée avec M. Atac, de Fermilab, pour utiliser des diodes VLPC (visible Light Photon Counters) à efficacité élevée.

Un détecteur en saphir

Cependant, l'indice optique du fluorure de lithium, comme celui de la plupart des milieux transparents, varie avec la longueur d'onde λ ; cette *dispersion* entraîne une dégradation de l'ajustement optique et empêche d'atteindre les petits paramètres d'impact impliqués dans la désintégration du méson B. Le groupe a eu alors l'idée de réaliser un couple cristal-milieu extérieur non dispersif sous la forme d'une coupelle de saphir (matériau bien connu pour ses bonnes qualités mécaniques et sa résistance aux radiations) baignant dans un liquide dont la propre dispersion contre-balance celle du saphir. Une étroite collaboration avec l'industriel américain Cargille a permis de mettre au point un tel liquide : un *siloxane*. En jouant sur la dépendance en température de l'indice de ce liquide, des tests très fins ont pu être entrepris sur un cristal de 1.5 mm d'épaisseur, de 30 mm de diamètre et de 50 mm de rayon sphérique. L'ensemble répond conformément aux prédictions, et un gain d'un facteur 3 a été obtenu par rapport au premier détecteur en fluorure de lithium (fig. 3).

Le temps de réponse obtenu est très rapide, conforme au but visé : la résolution en temps est de 0.7 nanosecondes.

Là encore, un montage de lecture par fibres optiques a été réalisé et testé avec succès.

Pour être encore plus efficace aux petites valeurs de b, une solution est d'utiliser non plus une coupelle de 1.5 mm mais quatre de 400 microns chacune. La simulation montre qu'un nouveau gain de l'ordre de 4 peut être atteint par rapport au cristal unique. Par souci d'économie, un prototype avec une seule coupelle de 400 microns sera testé en faisceau.

Les réalisations en cours

Si le saphir est robuste et le liquide un matériau adéquat dans de nombreux cas, le vide poussé régnant dans les accélérateurs font qu'une couche solide peut être préférée. Les dépôts solides sont difficiles à réaliser dans la reproductibilité des résultats et surtout dans le choix du matériau ayant les propriétés dispersives requises. C'est à ce problème ardu que s'est attaqué Alain Delbart, thésard du SED qui s'oriente vers la technique de déposition *SOLGEL* (SOLUTION d'un matériau dans un solvant et GEL). Une collaboration est en cours avec les industriels et le CEA/DAM de Limeil-Valenton.

Dans les tests en faisceau, nous avons utilisé quatre chambres à dérive, aimablement prêtés par F. Sauli du CERN, pour mesurer les coordonnées des traces des particules. Nos exigences en précision de reconstruction de trajectoires devenant de plus en plus fortes, nous avons été amenés à construire avec le SED des chambres à dérive supplémentaires, conçues en retenant le meilleur de la technique des chambres NOMAD (*recherche de neutrinos massifs, voir la plaquette, NDLR*). Un prototype (fig. 4) réalisé au département⁽⁴⁾ fonctionne avec une très bonne efficacité. Il est envisagé de faire construire une douzaine de telles chambres, conçues pour être utilisables dans toute installation de test en faisceau.

A venir

Nous avons démontré la faisabilité d'un discriminateur très rapide (réponse en moins d'une nanoseconde) et simple (cristaux et détecteurs de lumière) rendant possible le déclenchement rapide pour reconnaître le B. Le Trigger Optique devait être utilisé dans une future expérience sur cible fixe, GAJET, destinée à l'étude des mésons B au LHC. La décision du Comité LHC, prise en juin 1994, de retenir une expérience de type collisionneur pour cette étude en écarte pour le moment le Trig-

Temps de vie, parcours, et paramètre d'impact

La plupart des particules élémentaires vivent, au repos, très peu (bien en dessous d'une microseconde) car elles se désintègrent très vite en d'autres particules. Ainsi, le méson B se désintègre, en moyenne, après une picoseconde et demi. On dit que son *temps de vie* est : $\tau = 1.5 \cdot 10^{-12}$ s.

Mais on sait, grâce à Albert Einstein, que plus une particule va vite, plus, pour elle, le temps s'écoule lentement. C'est un effet de la relativité. Lorsque une particule éphémère frôle la vitesse de la lumière, cette *dilatation temporelle* lui permet, jusqu'à sa mort, un parcours d'autant plus long que son *impulsion* (ou *quantité de mouvement*, produit de la masse par la vitesse) est plus élevée.

Par exemple, un méson π (pion) a un temps de vie d'environ dix nanosecondes. Si Albert avait tort, l'infortuné pion n'aurait, au plus, que 3 mètres à vivre, en supposant qu'il soit capable de se mouvoir à la vitesse de la lumière. Or, on peut voir auprès des accélérateurs, des pions véloces se taper gaillardement quelques centaines de mètres, ou des kilomètres dans les rayons cosmiques. Merci pour eux, Albert! Et merci pour le B dont le parcours devient mesurable : entre quelques dixièmes de millimètres prévus dans l'Usine à B et quelques centimètres s'il était produit sur cible fixe au LHC.

La distance entre une trace de particule-fille issue d'une désintégration (ex. : $B \rightarrow \pi^+\pi^-$) et le point de création de la particule-mère n'est autre que le *paramètre d'impact* (fig. 1). Celui-ci dépend de la masse et du temps de vie de la mère, varie peu avec son impulsion et permet donc de caractériser une désintégration. Il est de quelques millimètres pour le B, et de quelques centimètres pour les hyperons Ξ et Λ .

ger Optique car la zone de collision est plus étendue. Néanmoins, la R&D sera poursuivie cette année pour conclure sur la sensibilité du détecteur aux paramètres d'impact très faibles.

Dans une autre gamme de paramètres d'impact, l'expérience E871 au Fermilab a sollicité une étude sur l'utilisation du Trigger Optique dans la reconnaissance d'interactions contenant des désintégrations d'hyperons Ξ . Cette expérience, délicate du fait de la rareté des événements intéressants, est entreprise pour mesurer la violation de CP dans ces désintégrations. Les para-

mètres d'impact sont là de l'ordre de quelques centimètres, et le saphir devrait avoir environ 30 cm de diamètre, performance tout-à-fait réalisable selon les industriels.

- (1) *SPP*: J. Derré, C. Kochowski, S. Loucatos
CERN: G. Charpak, Y. Giomataris (actuellement *SED*)
SED: R. Chipaux (chef de projet), A. Delbart, Ph. Rebourgeard
Université de Lausanne: C. Joseph, N. Leros, J.-P. Perroud, M. T. Tran
Fermilab: M. Atac, D. Kaplan
Iowa State University: E. I. Rosenberg, T. Hill
 (2) L. Gosset et J.-Ph. Mols
 (3) D. Gauthereau avec J. Heitzmann,

R. Coquillard et M. Chazalon
 (4) *SED*: P. Ageron, D. Durand
SET: C. Jollec, J. Poinignon
SGPI: N. Vignal
 Avec l'aide du groupe *NOMAD*,
 H. Zaccane en particulier
*Claude Kochowski et
 Sotiris Loucatos (SPP)*

GLOSSAIRE

L'effet Cerenkov

Aucune particule matérielle ne peut atteindre la vitesse de la lumière dans le vide : 300.000 km/s. Mais, dans un matériau transparent, la lumière se propage moins vite. Ainsi, dans un cristal d'indice optique 1.5, la lumière se propage à 200.000 km/s. Une particule de haute éner-

gie, de vitesse, mettons, 290.000 km/s, qui pénètre dans le cristal n'est pas, comme un photon lumineux, instantanément freinée. Elle se meut, dans le cristal, à une vitesse plus grande que la lumière. Il se produit alors un phénomène analogue, dans le domaine lumineux, à l'onde de choc d'un avion supersonique ou au sillage d'un hors-bord qui va plus vite que ne se propagent les ronds dans l'eau : l'émission d'une lumière bleutée, qui signale la présence, dans le milieu, d'une particule plus rapide que la lumière dans le même milieu. L'illustration la plus connue de ce phénomène est fournie par les réacteurs nucléaires du type "piles piscines".

La Rédaction

LES ENJEUX DU LHC

Première partie "Le modèle standard"

La première des "rencontres du mardi" organisées par la direction du centre de Saclay était consacrée à la décision de construire le LHC (Large Hadron Collider) prise par le conseil du CERN à la fin de l'année 1994. Le texte qui suit reprend l'exposé qu'avait présenté Gilles Cohen-Tannoudji sur les enjeux théoriques de cette décision.

La physique des particules est une discipline de recherche fondamentale qui s'efforce de déterminer les constituants élémentaires de la matière et de comprendre les interactions fondamentales auxquelles ils participent. Son cadre théorique est la *théorie quantique des champs*, qui réalise le mariage de la relativité restreinte et de la mécanique quantique. Les expériences consistent en l'observation de *réactions particulières*, qui peuvent être provoquées à l'aide d'accélérateurs (ou de collisionneurs) et analysées à l'aide de détecteurs ou bien produites naturellement par le rayonnement cosmique. La théorie permet de prédire les probabilités des événements qui surviennent lors de ces réactions particulières. La démarche unificatrice de la discipline qui consiste à réduire autant que possible le nombre de constituants et le nombre d'interactions qui lui sont nécessaires a abouti, au cours des vingt-cinq dernières années, à l'élaboration du *modèle standard*, la théorie de référence qui rend compte de manière satisfaisante de toutes les données expérimentales actuellement disponibles. En se rapprochant, ce modèle standard de la physique des particules et celui de la cosmologie, le modèle du *big bang*, acquièrent une fascinante dimension temporelle : ils tentent

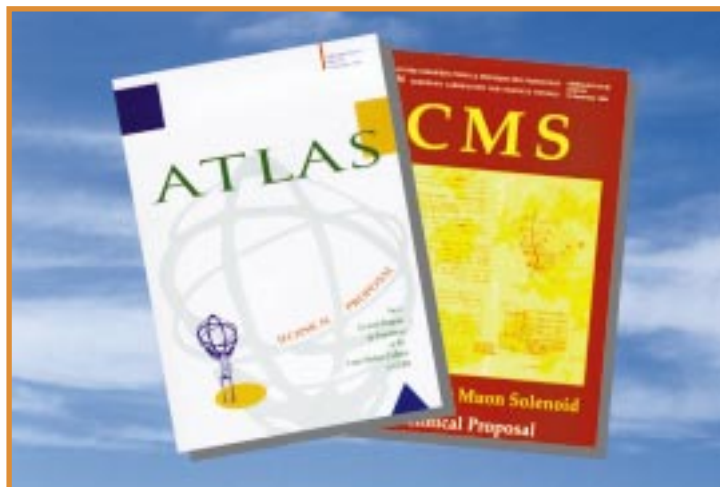
de remonter aux origines de la matière.

Frontière des hautes énergies et frontière des hautes précisions

La très célèbre équation d'Einstein $E=mc^2$ indique que lors des réactions particulières, des particules peuvent être produites ou détruites. Pour que des particules massives puissent être produites il faut que l'énergie disponible dans l'état initial de la réaction soit suffisante, supérieure au seuil de production. Les questions laissées en suspend par le modèle standard concernent l'existence de nouvelles particules hypothétiques très massives, de l'ordre de quelques centaines de GeV/c^2 ou même quelques TeV/c^2 (plusieurs milliers de fois la masse du proton). Pour avoir quelque chance de répondre à ces questions il faut donc disposer d'accélérateurs de très haute énergie.

Lors d'une collision entre une particule projectile sortie d'un accélérateur et une particule cible au repos, la plus grande partie de l'énergie est emportée par le mouvement des particules produites ou déviées. En revanche, dans une collision frontale, dans un collisionneur, entre deux particules de même énergie, la totalité de l'énergie est disponible pour produire de nouvelles particules. En permettant des collisions proton-proton à 7 TeV par proton, le LHC sera équivalent à un accélérateur envoyant sur cible fixe, des projectiles d'une centaine de milliers de TeV (100 PeV).

Selon le modèle standard, le proton n'est pas un constituant élémentaire de la matière, c'est une structure composite de quarks et de gluons. Lors d'une collision entre deux protons très énergiques, seul un quark ou un gluon par proton incident est impliqué dans une col-



Les "propositions techniques d'ensemble" (Technical Proposals) des expériences ATLAS et CMS ont été déposées le jour même de la décision de construire le LHC.

lision susceptible de produire un événement intéressant. L'énergie initiale de cette collision entre constituants élémentaires n'est pas déterminée à l'avance, et ce n'est qu'une fraction de l'énergie fournie par le collisionneur. S'il était possible d'accélérer des électrons et des positons (qui sont des constituants élémentaires de la matière) jusqu'à des énergies de quelques centaines de GeV voire d'un TeV c'est vraisemblablement vers une machine à électrons que se serait porté le choix de la communauté scientifique. Mais il se trouve qu'en l'état actuel des techniques d'accélération, l'énergie maximum qu'on sache communiquer à des électrons ne dépasse pas la centaine de GeV. C'est pourquoi le programme du CERN a combiné les collisionneurs à protons (et antiprotons) pour explorer la frontière des hautes énergies et les collisionneurs électron-positon pour explorer la frontière des hautes précisions : au début des années 80, le collisionneur proton-antiproton du CERN a permis d'explorer les plus

hautes énergies possibles de l'époque et de découvrir les bosons intermédiaires W et Z ; le relai a ensuite été pris par le LEP, collisionneur électron-positon à 100 GeV dans la première phase, et à 200 GeV dans la seconde phase qui débutera l'an prochain, qui permet de passer (avec grand succès !) le modèle standard au crible des tests de haute précision, et de préparer le terrain aux explorations du programme LHC.

A la recherche du boson de Higgs

L'objectif principal assigné au LHC concerne l'étude de l'interaction faible. Cette interaction fondamentale est à l'origine de la radioactivité "béta" (désintégration de certains noyaux avec émission d'un électron), et de certaines des réactions de fusion thermonucléaire qui, au cœur des étoiles et du Soleil, transforment l'hydrogène en hélium. Pendant de nombreuses années, la faiblesse de cette interaction fondamentale a rendu difficile son étude expérimentale et excité la curiosité

des théoriciens. Dans le cadre du modèle standard, l'interaction faible est maintenant décrite à l'aide d'une théorie prédictive. La pierre angulaire de cette théorie est le *mécanisme de Higgs*. C'est sur ce mécanisme que l'on compte pour que la symétrie de l'interaction faible soit spontanément brisée, pour que les bosons intermédiaires de l'interaction faible, les leptons chargés et les quarks acquièrent des masses différentes de zéro. Dans sa version minimale, ce mécanisme implique l'existence d'une particule massive nouvelle, le boson de Higgs, dont la masse n'est pas prédite, mais dont toutes les autres propriétés (taux de production et de désintégrations dans toutes les voies possibles) seront fixées une fois cette masse connue. La recherche de cette particule est l'objectif numéro 1 assigné au LHC. C'est une épreuve de vérité pour toute la théorie quantique des champs.

Gilles Cohen-Tannoudji (SPP)

Le prochain article traitera de l'au-delà du modèle standard.



DES PARTICULES BIEN DYNAMIQUES

(De la Physique Générale aux particules, Autoportrait du SEA)

Accélérer des particules, c'est en apparence facile : dès lors qu'elles possèdent une charge électrique, il suffit de les faire passer dans un champ électrique "adéquat", ainsi qu'on l'apprend en terminale. Et d'aucuns de réduire la physique des accélérateurs au maniement des équations de Maxwell, ou pire encore, à celui de la seule force de Laplace.

Les choses, en vérité, ne sont pas si simples. D'abord parce qu'il faut produire les dites particules à partir d'une source, puis les enrégimenter en un faisceau monoénergétique au sein de l'injecteur de la machine. Il suffit de voir les premiers mètres d'un accélérateur pour se rendre compte que la simplicité d'un injecteur n'a rien de biblique. C'est encore pire si, au lieu de particules, on veut accélérer des antiparticules !

Ensuite, un champ électrique, ça ne tombe pas du ciel (sauf en cas de foudre, il est vrai...), surtout s'il faut qu'il soit "hyperfréquence" (HF). Il faut donc le créer au sein de cavités accélératrices alimentées par des klystrons. Tous ces objets sont eux aussi fort complexes.

Enfin, le désordre étant plus probable que l'ordre, un faisceau de particules a toujours tendance à se disperser, sans parler de la *charge d'espace* (voir le glossaire), ou bien encore de l'effet des interactions avec le vide résiduel. Dès lors, l'accélérer ne suffit pas. Il faut aussi guider sa trajectoire, contrôler sa dynamique, peaufiner⁽¹⁾ sa qualité...

Car les physiciens, utilisateurs du faisceau, sont gens exigeants et versatiles (*Claire t'es dure! NDLR*). Certains veulent des faisceaux intenses, d'autres préfèrent les faisceaux continus ; les uns exigent des électrons, les autres ne jurent que par les protons. Il y en a même qui veulent des ions ou des photons. Et lorsque, après de longues années d'efforts, nous savons comment leur offrir (par exemple) les 4 GeV continus qu'ils demandaient, voilà qu'ils nous réclament maintenant 15 GeV pour lundi matin !..

Toutes les grandes percées en physique nucléaire et des particules font écho à des avancées spectaculaires dans le domaine de l'accélération et de la détection.

Voyez la longueur du chemin qui va depuis le premier cyclotron (qui tenait dans la main !) jusqu'au LHC ou à *TESLA* (*glass*) qui feront plusieurs dizaines de kilomètres de long.

La physique des accélérateurs regroupe beaucoup de disciplines : hyperfréquences, supraconductivité, vide, cryogénie, contrôle-commande, informatique, dynamique de faisceau, optique, thermique, physique et chimie des surfaces, émission de champ, contamination particulaire, et enfin patience et persévérance, qui sans être à proprement parler des disciplines scientifiques, sont cependant absolument nécessaires à toute entreprise de recherche.

Laissez-nous vous énumérer en vrac quelques-uns des problèmes que nous avons à résoudre, qu'ils soient des plus théoriques ou bien basement matériels. Les solutions seront -peut-être- données dans les prochains numéros de "ScintillationS" (soyons sérieux, vous n'imaginez quand-même pas que nous les connaissons déjà toutes !..)

1er problème : dans la série " nous voulons un faisceau comme-ci et comme-ça, avec le meilleur rendement possible", vous avez décidé de prendre des cavités supraconductrices. Bien. Mais quel supraconducteur choisir, quelles sont ses caractéristiques lorsqu'il est soumis à un champ hyperfréquence ? Vous avez des dissipations sur toutes les surfaces soumises aux champs électriques ; même à l'état supraconducteur il y a de la résistance résiduelle. D'où vient-elle, et



L'injecteur de l'accélérateur supraconducteur MACSE : au premier plan le canon à électrons, puis "l'optique" électronique (qui permet de regrouper et de focaliser les électrons), et au dernier plan une première cavité, dite "de capture", qui communique aux électrons une vitesse proche de la vitesse de la lumière.

comment la réduire ? (et oui, ça coûte très cher au compteur tout ça!) Quelques indications sur la multitude de phénomènes possibles qu'il a fallu explorer : piégeage du flux magnétique par les cavités, conductivité des joints de grains (en gros : une monocouche atomique d'impuretés - un coefficient de surtension 10 à 100 fois moins bon!)

2ème problème : un courant intense circule sur la surface interne des cavités et chauffe localement tous les défauts qui s'y trouvent. L'hélium superfluide susceptible d'éliminer ces dissipations se trouve de l'autre côté des 2 à 3 mm d'épaisseur de la tôle. Comment optimiser le transfert de chaleur ? Quels sont les paramètres qui influent sur la conductivité thermique du métal ou la *résistance de Kapitza* (*gloss.*) aux interfaces ? Et avez-vous une idée des problèmes que cela pose pour garder un engin aussi complexe très froid ?

3ème problème : comment transférer 1 Mégawatt de puissance hf depuis 300 K jusqu'à 1.8 K, sans faire chauffer les lignes de transfert, sans faire éclater les fenêtres de saphir, sans émission de champ... ?

4ème problème : Parlons-en justement de l'émission de champ. Comment éviter que des électrons ne soient émis par les parois des cavités soumises à des champs où - en théorie - ils devraient rester bien sagement dans le métal ? (Ces électrons parasites absorbent la puissance destinée au faisceau et désorganisent celui-ci)... Et l'on découvre que la poussière (poussière, nous ne sommes que...) peut venir saboter le fonctionnement de machines des plus sophistiquées.

Lorsque vous avez résolu les problèmes de fonctionnement des cavités, de leur alimentation en puissance, de leur montage en salle blanche, optimisé le fonctionnement de tout ce qui permet d'avoir un fonctionnement stable

(vide, cryogénie, amortissement des vibrations, etc...) voici qu'il faut peaufiner les qualités du faisceau proprement dit.

5ème problème : des physiciens pervers (*Oh, Claire! NDLR*) veulent un faisceau d'électrons de 1 TeV qui ait une section transversale de 60 nm par un micron. Comment faites-vous ?

Ou bien vous avez un faisceau de 8 TeV en protons. Un halo se forme autour de lui, qui risque de frapper les aimants supraconducteurs et de les faire *quencher* (*gloss.*). Le halo gêne. Question : comment l'éliminer ?

6ème problème : nous savons déjà qu'après-demain on va nous demander encore plus, pas seulement à nous SEA, car je suis sûre que nos collègues des aimants ou des détecteurs vont y passer aussi. En attendant, comment préparer l'avenir ? Supraconducteurs en couches minces, optimisation de la distribution et du couplage H.F., calculs encore plus fin en dynamique de faisceau (de bonnes petites équations non linéaires au possible) etc...

En bref : comment faire des accélérateurs plus performants, moins chers en investissement comme en fonctionnement ?

Voici quelques-unes des idées qui nous sont venues pour décrire notre travail de fourmi quotidien. Que nos collègues que nous oublions nous excusent : nous sommes tellement "touche-à-tout" dans ce groupe qu'il paraît impossible de faire une liste exhaustive. Mais encore une fois, qu'il nous soit permis d'insister sur le fait que notre travail c'est aussi faire de la physique, ou plus exactement des physiques, étant donné la multitude de phénomènes mis en cause. Et ce n'est pas seulement des applications de recherches de pointe menées dans d'autres domaines ; dans presque tous les cas il nous a fallu nous mettre à niveau dans toutes ces spécialités afin d'être à

même de conduire les développements nécessaires aux particularités de nos problèmes. Il va sans dire que ces contributions ont parfois une diffusion qui dépasse le domaine des accélérateurs ou même celui de la physique "fondamentale", comme par exemple la physique du matériau supraconducteur, ou bien celle de l'émission de champ. Aussi avons-nous la prétention de nous considérer comme des physiciens à part entière (même si l'un des auteurs est une chimiste...).

(1) - Il faut tout faire : peaufiner, bien noter les froids, adapter les "puces" aux exigences des faisceaux etc. (NDLR)

GLOSSAIRE

- "*Charge d'espace*" : terme savant utilisé par les physiciens pour qualifier la répulsion coulombienne. (Autrement dit : deux charges électriques de même signe se repoussent.)

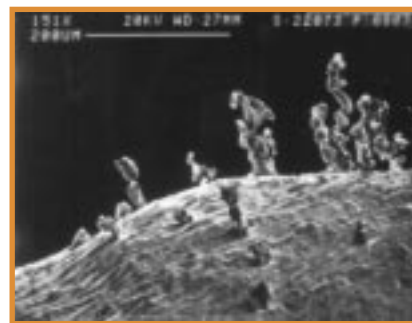
- "*TESLA*" (TeV Energy Superconducting Linear Accelerator) est un projet d'accélérateur linéaire supraconducteur pour la physique des particules qui pourrait être mis en chantier vers le début des années 2000.

- "*Résistance de Kapitza*" : résistance thermique qui apparaît à l'interface entre le métal et l'hélium superfluide utilisé pour le refroidir.

- "*Quencher*" pour un supraconducteur signifie revenir à l'état normal en repassant au dessus de la température de transition en dessous de laquelle apparaît la supraconductivité (voir "*ScintillationS n° 17 p. 2*"), c'est-à-dire qu'il se met à dissiper de l'énergie comme une vulgaire résistance de bouilloire électrique.

Claire Z. ANTOINE, (SEA) (*)

(*) Avec les suggestions de nombreux collègues. Merci, en particulier, à Etienne Klein pour le coup de pouce de départ.



Un phénomène physique mal compris conduit certaines poussières métalliques à s'agglutiner et se souder à la surface d'un métal soumis à un champ électrique, se transformant en véritables antennes à émettre des électrons. Ce phénomène pourrait être la principale source de l'émission de champ qui limite l'obtention de gradients accélérateurs élevés dans les cavités accélératrices.

LES RÉSEAUX LOCAUX DE TERRAIN AU SIG

Une expérience de physique utilise toutes sortes d'appareillages : faisceaux, cibles souvent cryogéniques, etc. dont il faut à chaque instant et à distance contrôler et commander les paramètres (énergie, pression, température, débits de fluides, position...) Ces fonctions de *contrôle-commande* sont assurés par des ensembles complexes d'automates programmables, de capteurs, d'actionneurs etc... au sein de réseaux à travers lesquels circulent des informations. Il est d'un intérêt évident d'optimiser l'échange de ces informations de façon garantie dans des contraintes de temps fixées. Des solutions à base de *réseaux de terrain* apparaissent aujourd'hui pour véhiculer facilement l'information sous forme numérisée en allant la chercher ou l'apporter au plus près des capteurs (sondes...) et des actionneurs (vannes, moteurs, contacteurs...). Ces réseaux réduisent les problèmes de câblage et assurent un transport et un partage des informations sans altération en minimisant le parcours de l'information analogique.

A court et moyen terme, les réseaux de terrain devraient diminuer la longueur des câbles véhiculant les informations analogiques et logiques, en installant des convertisseurs locaux raccordés au réseau et appelés "entrées/sorties déportées". A long terme, l'information devrait être numérisée au niveau du capteur, de l'actionneur, ou d'une instrumentation avec traitement informatique local.

Outre des économies de l'ordre de 15% sur le câblage des installations (expérimenté chez PSA automobile), ces réseaux devraient surtout faciliter la maintenance et les possibilités d'évolution de nos installations prototypes. Les deux schémas ci-dessous permettent de comparer une architecture classique (de type "maître esclave" fig. 1.a) et un réseau de terrain (de type "producteur-consommateurs" fig. 1.b)

Les réseaux locaux permettent de résoudre les problèmes d'interchangeabilité.

En effet, dans les architectures classiques, les automatismes sont totalement liés au

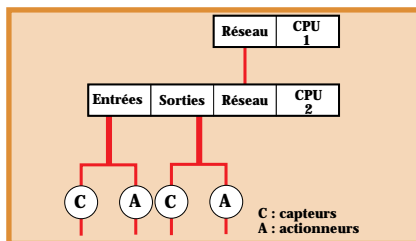


Figure 1.a : architecture classique

constructeur de l'automate car toutes les interfaces d'entrée/sorties lui sont spécifiques. Une architecture en réseau standardisé réduit les problèmes d'incompatibilité en permettant l'utilisation de matériels de différentes marques dans une chaîne de contrôle-commande. De tels réseaux sont dits *ouverts*. Cette ouverture

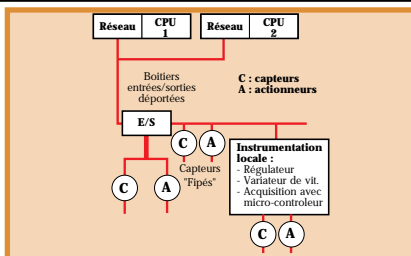


Figure 1.b : réseau de terrain

engendre une saine émulation entre constructeurs et donc une baisse des prix, et rend impossible tout monopole. On comprend alors que des constructeurs aient hésité si longtemps à se lancer dans l'industrialisation de tels réseaux locaux de terrain.

Après plus de huit ans de recherches, une bataille économique est engagée entre deux types de réseaux locaux européens : un français : FIP (CEGELEC, TELEMECANIQUE, EDF, PSA, ELF etc.) et un allemand : PROFIBUS (SIEMENS).

SIEMENS a marqué le premier point en normalisant l'accès à son réseau. Cela a permis à des constructeurs d'offrir des solutions "non-proprétaires" d'automatismes déportés, attirant ainsi des utilisateurs.

Les Français ont répondu en créant World-FIP, associés à des grands constructeurs américains et japonais. Trois centres "de compétence" installés en France (à Nancy), aux États-Unis et au Japon doivent assurer le support et une information commune à tous les utilisateurs potentiels du réseau World-FIP.

Contre-attaque de SIEMENS qui crée, avec des grands de l'instrumentation, l'organisme "ISP" chargé de normaliser les réseaux de terrain au niveau international. Cela ne dure pas longtemps. En 1994, ISP est dissout. Se crée alors la FIEDBUS FONDATION que rejoint WorldFIP Nord America dont on espère qu'elle apportera une solution internationale vers l'an 2000.

Avec 70% du marché contre 20% à SIEMENS, les français TELEMECANIQUE a de sérieux atouts pour imposer en France son standard FIP à condition d'offrir une ouverture plus normalisée à ce réseau (annoncé début 95). Un de ses plus gros clients, le secteur automobile semble en mesure d'amorcer le cycle de la demande des produits "fipés".

Le réseau "PROFIBUS", réseau de type "maître-esclave" a été conçu pour la communication inter-automates. Propriété de SIEMENS, il est devenu sous l'impulsion de ce constructeur une norme allemande puis européenne : pour inciter les industriels d'Outre-Rhin à "fabriquer PROFIBUS", SIEMENS a réussi à imposer son réseau PROFIBUS-FMS comme norme nationale pour la communication entre calculateurs et automates. Les industriels ont suivi et "profibusé" leurs produits : régulateurs, variateurs de vitesse etc.

Mais ce système, qui n'est pas un réel standard, s'il est bien adapté à la communication entre automates, est insuffisant pour un par-

tage d'informations au niveau des capteurs entre différents systèmes. En effet, pour sortir rapidement son réseau, SIEMENS s'est surtout inspiré d'une technologie classique reposant sur des principes de communication point à point entre les différents usagers. Néanmoins, la puissance commerciale et l'omniprésence de SIEMENS sur le marché des automatismes fait que PROFIBUS, norme de fait, ne peut être ignoré.

Le réseau "FIP" est un réseau ouvert conçu pour le partage des données au niveau de l'instrumentation. Le centre de Nancy a été chargé de sa normalisation et de sa diffusion internationale.

Insuffisant au niveau du contrôle-commande, son concept s'est élargi pour offrir une communication inter-automates. FIP est du type "producteur-consommateurs" et à diffusion. Un "arbitre" de bus donne régulièrement la parole à chaque producteur qui diffuse ses informations à tous les consommateurs. L'ajout d'un consommateur n'augmente pas la cadence de la diffusion de ces informations, donc le trafic du réseau. Les informations sont véhiculées de façon périodique assurant un trafic parfaitement défini en temps et en durée : FIP est un réseau *déterministe*. La validité de chaque donnée reçue est assurée par des réactualisation périodiques associés à chaque variable transmise. Enfin le câblage est aux normes de résistance à un environnement hostile, ce qui n'est pas le cas de PROFIBUS.

La concertation au niveau de l'instrumentation et des capteurs/actionneurs vient d'aboutir à une norme "FIP-MPS" et à la réalisation de composants spécifiques conçus par CEGELEC et TELEMECANIQUE. L'offre est appelée à devenir de plus en plus attrayante vu la baisse sur les composants d'un facteur 10 et la facilité d'obtenir une large gamme d'outils de développements logiciels. On dispose aujourd'hui d'automates pourvus de modules "fipés" et CEGELEC exporte outre-Atlantique. Des kits sont aujourd'hui disponibles pour différents environnements de travail (Microsoft, Borland etc.) ou des pilotes pour différents microcontrôleurs.

Le CEA est membre du club FIP depuis de nombreuses années (Contact : Guy Benoist de la DTA/LETI, à Saclay). Le SIG dispose d'ores et déjà de son propre poste de conduite "fipé" sur PC comprenant un système d'acquisition, un serveur minitel et un "gestionnaire de téléalarmes". Il développe actuellement des applications pour les projets CLAS et POLDER à CEBAF (voir "Scintillation" numéro 20) et une station d'essais pour le LHC. Un système à base de réseaux de terrain est à l'étude pour le projet ATLAS ("Scintillation" n° 17)

FIP, réseau à diffusion, rapide, ouvert, déterministe, est parfaitement adapté à l'instrumentation de terrain et aux problèmes d'asservissement avec base de données réparties. L'année 1995 devrait voir l'offre généralisée de tels produits. Visant au "presque tout numérique" ce succès purement français devrait être le compact disque de l'instrumentation.

Christian Walter (SIG)

BRÈVES ... BRÈVES ...

DES NOUVELLES DU η
(des photons venus de l'étrange)

La particule η fait partie de la même famille que les pions et les kaons. Elle est pourtant bien moins étudiée que ces derniers car son temps de vie est trop court pour en faire des faisceaux.

Le méson η se désintègre environ deux fois sur cinq en deux photons (γ). Cette probabilité relative - par rapport à l'ensemble des voies de désintégrations de cette particule - n'était connue jusqu'alors que de façon indirecte : il fallait multiplier les résultats de deux expériences donnant chacune un rapport de probabilités de désintégration :

$$\eta \rightarrow 2\gamma / \eta \rightarrow \text{particules neutres}$$

et $\eta \rightarrow$ particules neutres / toutes les désintégrations possibles

Le dispositif de production et d'étiquetage de mésons η installé à Saturne (c'est la source de η la plus intense à ce jour) a été utilisé pour une première mesure directe et précise du rapport :

$$\eta \rightarrow 2\gamma / \text{toutes les désintégrations possibles}$$

Deux calorimètres de BGO (un matériau scintillant particulièrement dense) prêtés par l'Institut Paul Scherrer, à Viligen, près de Zürich, servaient à détecter les deux photons.

Le résultat, 0.394 (plus ou moins 0.004), confirme les résultats précédents. Cette vérification s'imposait car ce rapport intervient dans la détermination de la durée de vie du η , dans les calculs de ses désintégrations électromagnétiques et sert à normaliser toutes les expériences de production de ce méson, en physique nucléaire et en physique des particules.

Michel Garçon (SPhN)

On pourra lire avec profit le volet interne de la plaquette "DAPNIA 93-94" consacré à l'étude des désintégrations du η , dont un des buts (celui précisément que l'on vise en étudiant la désintégration en deux photons) est de déterminer la structure électromagnétique de ce méson (NDLR)

COURRIER DES LECTEURS

Ce serait sympathique et "fair-play" si votre excellent journal, quand il parle de la source de chrome 51 de GALLEX (voir "ScintillationS" n° 5, 19 et 22, NDLR), n'omettait pas, comme le fait d'ailleurs régulièrement le DAPNIA, de mentionner qu'elle a été mesurée au DAMRI (Département des Applications et de la Métrologie des Rayonnements Ionisants, de la Direction des Techniques Avancées, NDLR) : sans cette mesure, n'oubliez pas qu'on ignore le nombre de neutrinos émis. Cordialement.

Jacques Laizier (DTA/DAMRI)

La mesure directe de l'activité de la source de ^{51}Cr utilisée par GALLEX a été effectuée par plusieurs méthodes qui vont de dosages purement chimiques à la calorimétrie ou à l'utilisation des codes neutroniques en passant par les mesures effectuées par le DAMRI par chambre d'ionisation. Madame Jeanne Gorry qui a adapté cette dernière technique à nos spécifications peut être fière qu'après tous ses efforts cette méthode se révèle être la plus précise. Que le DAMRI veuille bien excuser notre oubli de cette contribution essentielle dans l'article paru dans le n° 22 de ScintillationS. Nous rappelons ici que le travail du DAMRI était déjà mentionné dans les Défis du CEA (n° 21), revue distribuée à tout le personnel du CEA, dans l'article "un coeur dédié à Gallex", ainsi évidemment que dans les publications liées à la source de ^{51}Cr parues ou à paraître dans les revues spécialisées.

Michel Cribier et Daniel Vignaud (SPP)

VA-ET-VIENT

1er janvier 1995 - Du côté des "VA" : Christiane Brisson (DAPNIA/DIR) part en retraite ainsi que Robert Curcuru (SAp) et Michel Promé (DIR) ; Jean-Claude Baillard est muté du SED au SPR de Grenoble, François Le Coz (STCM) à BIII et Joël Jehanneuf (SEA)

au DRECAM/CES/Laboratoire Pierre SUE.

Du côté des "VIENT" : Modeste DONATI (SAp) nous revient à 4/5 de son temps ; Didier Jourde nous arrive du Bouchet (STME/STSI) pour œuvrer au SED ; Françoise Schnuriger nous vient de la DTA pour exercer ses talents au SGPI. Bienvenue au club à toutes et à tous.

Du côté des "VA-ET-VIENT" internes : Denise Evzline quitte le SGPI pour le SEA ; Henry de Lignières (grâce à qui "ScintillationS" est si beau) traverse la route qui sépare le 141 du 123 et passe du DAPNIA/DIR au SGPI. André Mougeot (SED) passe annexe I. André, ça s'arrose!

1er février 1995 - Du côté des éternellement jeunes retraité(e)s : Jacqueline Perin (SEA) et Jean Belko (SIG). Sept mutations, ce mois-ci : Noëlle Guesne suit Catherine Cesarsky à la DSM ; Jacques Aiguepares va du SEA au SPhN ; Nico de Botton passe du SPhN au SPP ; Didier BRAUD vient et va du STCM au SEA ; Roger Letourneau revient au noyau : il passe du SEA au SPhN ainsi que Louis Plateau. Enfin Françoise VIDAL vient de l'ANDRA et va au DAPNIA/DIR.

DES NOYAUX A VAPEUR

Quand deux noyaux se choquent de plein fouet, leur matière subit une compression et un échauffement d'autant plus grands que le choc a été violent. La matière nucléaire a beau être capable d'encaisser une prodigieuse quantité d'énergie, au dessus d'un certain seuil, les noyaux se cassent en multiples fragments et peuvent littéralement se vaporiser. A l'aide du détecteur INDRRA (voir ScintillationS n° 7 et 20), des physiciens du DAPNIA et de l'IN2P3 (CNRS) viennent de mesurer ce seuil de vaporisation en projetant sur une cible de nickel des noyaux d'argon accélérés par le Grand Accélérateur National d'Ions Lourds, le GANIL à Caen. Ce seuil se situerait aux alentours de 90 milliards de degrés. C'est la tem-

pérature de l'Univers primordial au moment où apparurent les noyaux. On attend de ces expériences, outre la connaissance des limites de stabilité du noyau, celle de la compressibilité de la matière nucléaire, de probabilités d'interaction d'un nucléon sur un autre lorsqu'ils se retrouvent comprimés dans une telle fournaise, et aussi des retombées astrophysiques dans le domaine de l'évolution des étoiles massives et de la formation des étoiles à neutrons. Cet événement a eu les honneurs du quotidien "Le Monde" du 25 février dernier.

LES SEMINAIRES "TECHNIQUES" DU DAPNIA

Pierre Besson (SED), qui organisait depuis dix-huit mois les séminaires techniques du DAPNIA, vient de me passer la main en raison de ses fréquents déplacements. J'en profite pour lancer un appel à contribution. Ces séminaires complètent les séminaires dits "de physique" en abordant les thèmes de recherche liés au DAPNIA d'un point de vue "technique" ou "instrumental(iste)", au sens large. Le domaine est vaste : recherches, développements, réalisations, outils, organisations et structures etc. Il n'est nullement obligatoire que les sujets traités intéressent systématiquement et directement l'ensemble du DAPNIA, même si un effort pédagogique est demandé aux orateurs pour permettre à des non-spécialistes d'en tirer profit.

Il serait dommage que ces séminaires végètent ou qu'ils ne servent d'expression qu'à un ou deux services, tandis que d'autres, de leur côté, organiseraient les leurs plus ou moins confidentiellement. D'autant qu'une structure bien rodée existe autour de Jacqueline Billard (SGPI, tél. 40 88), et permet d'assurer efficacement :

- la publicité sur Saclay et alentours (l'Orme des Merisiers, entre-autres, NDLR), et, depuis



CATHERINE CESARSKY AU DAPNIA

Madame le Directeur de la DSM fait actuellement sa "tournee des services", pour parfaire sa connaissance de sa Direction. Mercredi 15 mars, elle est venue en voisin visiter les trois services du DAPNIA sis à l'Orme des Merisiers : le SAp qu'elle dirigea, le SEA et le SPhN.

Ce dernier service dont fait partie le rédacteur de ces lignes lui a organisé un petit périple en salle, de Saclay à la Californie en passant par Mayence, Strasbourg, la Belgique, Caen, et, bien sûr, Genève. Après une présentation générale du service par son chef, Jean Mougey, un poster par expérience ou projet et un commentateur par poster traitèrent de l'ensemble

des programmes du SPhN, des noyaux chauds, exotiques et superdéformés au déconfinement des quarks, en passant par la transmutation des déchets à vie longue.



Une des salles de réunion du SPhN, à l'extrême droite Madame le Directeur C. Cesarsky et J. Mougey chef du service.

BRÈVES ... BRÈVES ...

peu, leur annonce sur W3)

- le défraiement et l'accueil des orateurs
- la publication et la diffusion des comptes-rendus (transparents).

Profitez-en! Toute proposition sera la bienvenue, que l'orateur vienne du DAPNIA (certains services n'ont pas beaucoup contribué jusqu'à présent), ou d'ailleurs.

Rémi Chipaux (SED)
(Tél. 2179, CHIPAUX@FRCPN11.
IN2P3.FR)

DES NOUVELLES DU SAp

Prix: Thierry Foglizzo a reçu la mention spéciale du prix Daniel Guinier de la Société française de Physique. Ce prix récompense son travail de thèse, mené sous la direction de Michel Tagger (SAp), sur le développement de l'instabilité de Parker dans les disques galactiques magnétisés. Cette instabilité est peut-être à l'origine des agglomérations irrégulières de gaz moléculaire le long des bras des galaxies spirales.

Bébé : Il est né! Dans la douleur certes puisque avant même d'être sorti il est déjà en retard de deux mois, mais cette fois-ci on en voit le numéro 0 : le BIAS, petit bulletin d'information sur le travail de SAp accompli chaque jour au Service d'Astrophysique, devrait être publié incessamment. Bimensuel à parution stochastique, il se donne une vocation essentiellement de service, annonce des séminaires, visiteurs, informations pratiques, nouvelles des différents groupes du service, tribune libre... L'objectif de ce petit papier est d'une part de consolider les joints verticaux et horizontaux du 709 et 713, et d'autre part d'avertir nos petits amis des observatoires qu'il se passe des choses qui peuvent les intéresser à l'Orme des Merisiers (ouvert à tous aux heures de bureau...).

Marc Sauvage (SAp)



- LES PLUMES DU DAPNIA

L'ouvrage de Gilles Cohen-Tannoudji (SPP) : "**Les Constantes Universelles**" (voir "ScintillationS" n°1 et 9) vient d'être réédité chez Hachette-Livres, Paris (1995), dans la collection "Questions de sciences".

Hasard ou délicatesse de l'éditeur, le nombre de pages de la nouvelle édition est exactement l'inverse de la constante de structure fine, soit : 137. A quand un ouvrage dont le nombre de pages sera l'inverse de la constante de Planck (*exprimée en unités légales, voir "ScintillationS" n° 21*)

Sortie chez Albin Michel Jeunesse (février 1995), d'un nouvel ouvrage de contre-péteries enfantines de Joël Martin (SPhN) : "**L'art des mots**", sous-titre : "L'eau des mares", et non : "lot d'Aymar", ni : "l'homme d'Héra". C'est la suite de "La vie des mots, l'ami des veaux", destinée aux plus jeunes lecteurs (à partir de 6 ans). En quelque sorte le petit frère du livre pour être le livre du petit frère...

UN BAIN DE SOLEIL

Le mardi 11 avril, s'est tenue dans la salle de conférence dite "de la Doc" à Saclay, la troisième "rencontre du mardi" intitulée "Le CEA et la connaissance du SOLEIL".

Cette rencontre avec le Soleil fut d'abord une rencontre dans le temps : Thierry Montmerle (SAp) parla de la naissance et de la jeunesse turbulente de notre étoile en racontant les premiers millions d'années du Soleil, avant que ne s'amorce sa combustion thermonucléaire.

Rencontre dans l'espace, ensuite avec un voyage du cœur du Soleil à sa périphérie, l'héliosphère. Michel Cribier, du Service des Particules (SPP), nous fit plonger au plus profond de l'astre solaire, dans son usine à neutrinos détectés grâce à l'expérience GALLEX. Sylvaine Turck-Chieze, du SAp, ancienne physicienne nucléaire, parla de golf. GOLF comme "Global Oscillation at Low Fréquences", expérience destinée à mesurer des oscillations solaires révélatrices de ce qui se passe au cœur du Soleil,

montée sur le satellite SOHO (SOLAR Heliosphere Observatory). Enfin, Philippe Ferrando, du SAp, nous emmena à bord de la sonde ULYSSE qui survole pour la première fois les pôles du Soleil. Il parla du champ magnétique solaire, de rayons cosmiques, et surtout du détecteur d'électrons de haute énergie construit par le CEA et embarqué sur ULYSSE.

CEA - DIRECTION DES SCIENCES DE LA MATIERE

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION :

Jacques Haissinski

COMITÉ ÉDITORIAL :

Joël Martin (porte parole Tél : 69 08 73 88),
Claire Antoine, Françoise Auger, Pierre Besson,
Daniel Bonnerue, Michel Bourdinand,
François Bugeon, Gilles Cohen-Tannoudji,
Bertrand Cordier, Patrick Lamare,
Claude Lesmond, Elizabeth Locci,
Marc Sauvage, Jean-Claude Scheuer

RÉDACTION :

Maryline Albera

MAQUETTE ET MISE EN PAGE :

Henry de Lignières

Dépôt légal mai 1995