

Journal du Département d'Astrophysique, physique des Particules, physique Nucléaire et d'Instrumentation Associée



EDITORIAL

Au vu des appareillages qui leur ont été présentés, les visiteurs de la Fête de la Science n'ont eu guère de mal à se convaincre qu'une fraction importante des activités scientifiques du DAPNIA doit être dédiée au développement, à la construction et à la mise au point des outils de notre recherche. Ce dont les équipes techniques ont une conscience aiguë, tant est puissant chez elles le sentiment d'appartenance à la ou aux disciplines auxquelles elles consacrent leurs efforts.

Or, nous ne nous situons pas comme il y a vingt ou trente ans dans un contexte où, aussi loin que puisse porter le regard vers l'avenir, n'apparaisse qu'un développement continu et harmonieux de la recherche fondamentale assorti d'une montée en régime corrélative des activités de construction d'appareillages. Certaines limites semblent aujourd'hui sur le point d'être atteintes : dans le domaine spatial, la crainte des conséquences d'un défaut de fonctionnement majeur sur une expérience embarquée conduit à un alourdissement considérable des procédures de conception et de réalisation. En physique nucléaire et en physique des particules, les échéances futures (ELFE, LHC, TESLA...) restent encore très éloignées, ce qui rend plus difficile la mobilisation des équipes, au moins dans l'immédiat. La stabilisation des effectifs techniques à un niveau inférieur à celui que nous avons pu connaître dans le passé nous contraint à résoudre de difficiles problèmes de priorité. Enfin, la société elle-même ne traite plus la science "lourde" avec la même sollicitude que par le passé. L'émergence ou la résurgence de pathologies redoutables devant lesquelles la médecine semble pour l'instant impuissante, les difficultés économiques de nos sociétés, la concurrence internationale incitent nos gouvernants à privilégier une recherche plus "légère", et surtout plus appliquée.

... Suite en page 2

MICROPHYSICIENS ET ASTROPHYSICIENS :

DEUX MONDES A PART ?

L'unité intellectuelle du DAPNIA qu'avec le Conseil Scientifique (voir le n° 14/15 page 8) nous appelons tous de nos vœux sera renforcée si, tous, nous avons une meilleure connaissance de la culture propre à chaque discipline scientifique ou instrumentale du département. "ScintillationS" a vocation d'y contribuer. Aussi avons nous donné carte blanche à des membres du DAPNIA afin qu'ils confient leur vision personnelle, leurs doutes, leurs aspirations, comment ils perçoivent leur recherche... L'idéal serait que toutes les sensibilités du DAPNIA s'expriment dans cette série d'AUTO-PORTRAITS qui débute dans ce numéro par l'article de deux astrophysiciens : Lydie Koch-Miramond et Marc Sauvage, et celui d'un physicien nucléaire : Jean-Luc Sida. A vos plumes! Volontaires de tous les services, unissez-vous!..

La rédaction

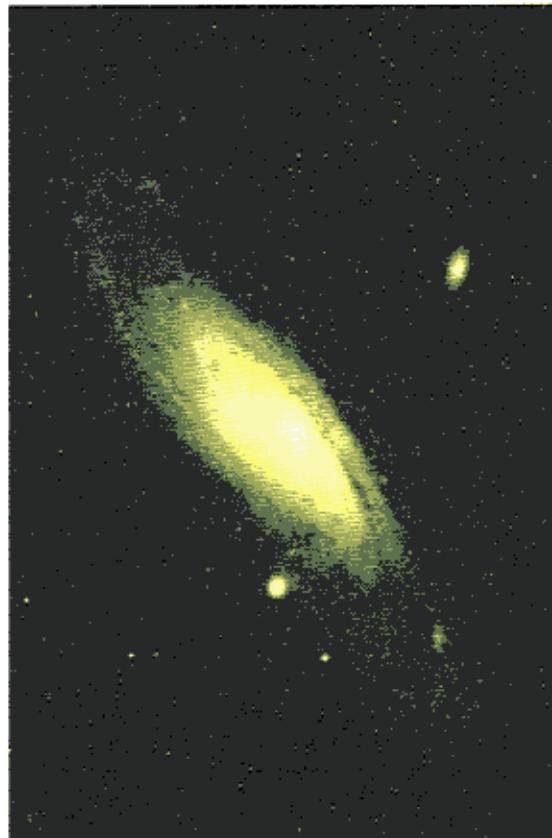
L'histoire comparée de la physique des particules élémentaires et de l'astrophysique au CEA reste à faire, on se bornera à en évoquer quelques traits afin d'en dégager les spécificités, d'amorcer un dialogue et de provoquer réactions et réflexion des acteurs.

Notons d'abord que la physique nucléaire et la physique des particules - ou microphysique - sont, avec la neutronique, "les filles aînées" du CEA, celles que les "Pères Fondateurs" reconnaissent dès l'origine.

Au contraire, l'astrophysique naît clandestinement à Saclay dans un laboratoire de recherche appliquée sur les détecteurs de rayonnements, au début des années soixante, pour accompagner les premières aventures spatiales. Bien qu'elle reçoive, aux moments les plus difficiles de son histoire, l'appui de

Francis Perrin, puis de Jules Horowitz, l'astrophysique n'est reconnue comme une activité légitime du CEA qu'en 1977, lorsque la "Section d'Études Spatiales", créée dix ans plus tôt, devient "Section d'Astrophysique"... Ce qui d'ailleurs, longtemps encore, ne changea rien aux étonnements de nos visiteurs de marque: "Mais pourquoi faire de l'astrophysique au CEA, n'y a-t-il pas déjà l'observatoire de Meudon?".

Les laboratoires, comme les humains qui les composent, sont marqués par leur histoire et la reconnaissance



La grande galaxie spirale d'Andromède (Messier 31) est depuis longtemps considérée comme une "soeur aînée" de la nôtre, du fait de son relatif manque de gaz et de poussière, de son faible taux de formation d'étoiles. Mais une observation récente semble indiquer que sous des dehors respectables, M31 n'en cache pas moins une vie, ou tout au moins une jeunesse, tumultueuse. Le télescope spatial Hubble a en effet découvert que son noyau est double, ce qui est une indication probable d'un épisode de cannibalisme d'une galaxie naines par M31. Ce phénomène semble d'autant plus probable que M31 est effectivement entourée de galaxie naines visibles sur la photo (cliché D. Malin, in Colours of the stars).

Ce tableau doit-il dans ces conditions nous inciter au pessimisme? La réponse est clairement négative, si l'on considère que derrière toute contrainte peuvent se cacher de réelles opportunités ;

- même si le CEA affiche clairement la priorité de ses missions nucléaires, la place de la recherche fondamentale dans la maison est pleinement reconnue et n'est plus l'objet de débat ;

- une vision à long terme sur un nombre réduit de projets clairement identifiés permet de mieux les structurer sur un plan technique, et en particulier de mettre en place dans des conditions correctes les activités de développement technologiques ou de R&D nécessaires ;

- la baisse des effectifs techniques conduit les responsables à optimiser l'utilisation du potentiel humain dont ils disposent. Les opportunités d'évolution professionnelles et de prises de responsabilités (moyennant dans certains cas des formations éventuellement lourdes) sont sans doute plus prometteuses et plus pertinentes que le seul recours au recrutement pour satisfaire le besoin de nouvelles compétences. Tant il est vrai que l'intégration de celles-ci à notre savoir-faire est encore plus efficace quand elle est conduite par les détenteurs de ce savoir-faire ;

- la baisse des moyens de réalisation conduit les responsables des services techniques à privilégier les actions à forte valeur ajoutée technique (développements technologiques, études de faisabilité, mise au point de prototypes et de maquettes...) en envisageant la sous-traitance des activités les plus répétitives ;

- une sous-traitance qu'il faut davantage envisager sous la forme d'un partenariat que sous celle d'une opération - coûteuse - impliquant nécessairement une perte de maîtrise de notre part. Elle nous contraint au contraire à mieux réfléchir avant l'action à ce que nous voulons faire, et à la manière dont nous voulons que ce soit fait. Ce qui n'est rien d'autre qu'une démarche de gestion de la qualité, incontournable dans l'avenir.

Patrice Micolon (chef du SED)

actuelle du Service d'Astrophysique, à l'intérieur comme à l'extérieur du CEA, ne lui ôte pas sa spécificité, pas plus d'ailleurs que son intégration récente dans la fédération appelée DAPNIA.

Alors qu'est-ce que "faire de l'astrophysique"? Est-ce simplement faire de la recherche, ou y a-t-il une démarche plus particulière à ce domaine de la recherche moderne?

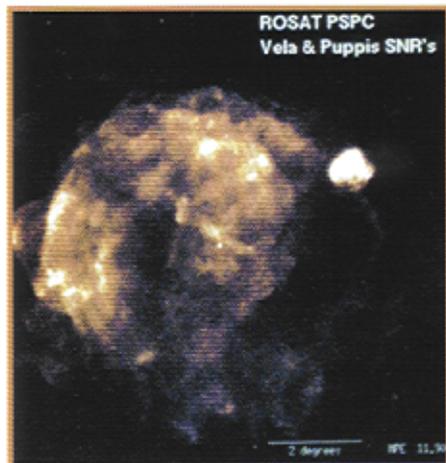
On ne se ferait pas une idée juste sur cette science et les chercheurs qui la font avancer si l'on oubliait de relier la pratique actuelle de l'astrophysique à son histoire. En effet, de toutes les sciences modernes, l'astronomie est sans doute l'une de celles qui est restée le plus proche de sa démarche originelle. Certes, on est bien loin désormais des théories pratiquement animistes des premiers astronomes, mais malgré les révolutions de la mécanique quantique et de la relativité générale, on retrouve, en filigrane de la démarche astronomique, la même volonté de comprendre le monde dans la totalité de ses manifestations.

Alors que découvre-t-on lorsque l'on pousse au hasard la porte de bureaux d'astronomes, qu'ils soient du CEA ou d'ailleurs? Certains sont occupés à reproduire sur leurs ordinateurs les derniers soubresauts de la vie des étoiles, d'autres cherchent à relier les variations de luminosités des astres à leur structure interne, d'autres cartographient des nuages obscurs à la recherche de condensation préstellaires, ou cherchent à extraire des particules du rayonnement cosmique des renseignements sur le milieu interstellaire de notre galaxie, ou sondent l'univers pour en découvrir les objets les plus lumineux... Enfin une variété presque indénombrable.

Cette variété serait-elle le signe d'une science en manque de repères, d'une science hétérogène et dispersée, d'une science qui n'en est pas une, mais plutôt une collection de petits domaines mollement reliés les uns aux autres, et sans grande importance face à des enjeux tels que la compréhension ultime de la matière ou l'unification définitive des forces de la nature?

On se doute bien que cette somme d'opinions plutôt négatives est loin de représenter l'opinion des auteurs et qu'ils ne la présentent qu'aux seules fins de montrer à quel genre de critiques peuvent être exposés les astrophysiciens de la part de leur collègues "grand physiciens"... En effet si l'astrophysique présente un aspect si varié, nous pensons que loin de la desservir, cette variété est le signe de sa pleine santé car elle est pour ainsi dire inscrite au cœur de la problématique que nous avons choisie. Essayons d'être plus clair.

Si l'on voulait comparer notre démarche à celle dont nous pensons qu'elle anime les physiciens des particules, nous pourrions résumer notre différence d'une seule phrase : nous ne cherchons pas à unifier l'ensemble



Observation par le satellite X ROSAT des deux restes de supernovae Vela (la grande structure) et Puppis (l'objet compact en haut à droite). La taille apparente de ces objets n'est pas physique, Puppis est situé beaucoup plus loin que Vela. Dans ce domaine de longueurs d'onde l'émission recueillie provient du gaz interstellaire chauffé à quelques millions de degrés par le passage de l'onde de choc due à l'explosion de la supernova. Dans de telles régions l'émission X nous donne ainsi accès à des paramètres tels que la densité ou la distribution spatiale du gaz interstellaire. Par ailleurs on peut remarquer, au centre de l'image, une source ponctuelle brillante: c'est le pulsar de Vela, tout ce qui reste de l'étoile originelle (cliché ROSAT).

des phénomènes que nous observons en une description qui sous certaines conditions les rassemble tous, mais bien plutôt à décrire avec le plus de fidélité possible ces mêmes phénomènes. La diversification est ainsi l'âme même de notre travail. Bien qu'il s'agisse fondamentalement toujours de la même physique (le message est passé) avec ses quatre interactions fondamentales, chacune des situations astronomiques connues nous met en présence d'un équilibre différent de leurs influences. En pratique donc l'unité n'existe pas, elle ne se retrouve plus qu'au plan philosophique, lorsqu'il s'agit de rassembler les éléments de notre connaissance de l'univers en une conception globale où l'homme puisse prendre place. Mais il est clair qu'on sort alors du domaine de la science.

A cette diversité "innée" s'ajoute le caractère propre de l'expérience astrophysique, caractère qui trouve son illustration frappante dans la brève histoire du Service, ou dans celle de l'astronomie en général. Lorsque l'on nous enseigne la physique, on insiste fortement sur son côté expérimental, de Galilée laissant tomber ses cailloux du haut de la tour de Pise, à Michelson mesurant la vitesse de la lumière à l'aide de son interféromètre,

en passant par tant d'autres. Ce qui frappe dans cette démarche, c'est l'appui des scientifiques sur une théorie relativement maîtrisée permettant à la fois de faire des prédictions et de se mettre à l'abri des surprises dues aux biais expérimentaux. Le point culminant de cette méthode pourrait être le Modèle Standard, qui permet de comprendre trois des quatre interactions fondamentales et les particules qu'elles mettent en jeu, et dont les prédictions sont l'enjeu de prochaines très grandes expériences du domaine (voir l'article de Gilles Cohen-Tannoudji sur le quark "top" dans ce numéro, NDLR).

Alors l'astrophysique dans tout cela? Là encore des différences assez profondes existent. Tout d'abord, peut-on réellement parler d'expériences au même titre que des physiciens nucléaires expérimentant les propriétés de noyaux dans des états très excités, ou que des physiciens des particules à la recherche du boson de Higgs? En tant qu'astronomes, nous avons tendance à répondre assez brutalement non (et peut-être un peu trop dans un souci polémique, mais c'est la justesse le rôle de cette série d'articles). En effet comment qualifier la démarche qui consiste presque à interpréter des résultats griffonnés à la hâte par un laborantin peu soucieux de noter son protocole expérimental? En exagérant un peu, en astronomie, on appelle cela une observation!

L'astronome qui braque son télescope vers une étoile, un nuage de gaz, ou une galaxie, possède tout de même une certaine idée de ce qu'il va trouver, mais combien de fois aura-t-il la surprise de découvrir tout autre chose, ou un grand nombre d'émissions parasites qui loin de n'être que du bruit, apporte une foule d'informations sur d'autres objets. Voici un exemple qui illustre très bien cette progression chaotique mais néanmoins très fructueuse de l'astronomie:

En 1932, Chadwick découvre le neutron. La même année, Landau, par une géniale intuition, postule l'existence d'étoiles composées exclusivement de neutrons et calcule leur masse. Oppenheimer, lui, prédit que ces objets, au cours de leur refroidissement, doivent émettre un rayonnement thermique autour de 1 keV. A l'époque, l'astronomie X n'existe pas et cette prédiction ne peut être vérifiée.

En 1962, la première fusée embarquant un détecteur X est lancée, sous la responsabilité de Giacconi, Gursky, Paolini et Rossi. Le rayonnement X des étoiles de Landau est toujours

inaccessible du fait du manque de sensibilité des détecteurs, et l'expérience a en fait pour objectif d'observer la fluorescence de la surface de la Lune sous l'impact des protons et particules accélérées lors des éruptions solaires.

A leur grande surprise, la Lune resta totalement invisible, mais, très brillante dans la constellation du Scorpion, la source Scorpio X-1 fit son entrée dans le monde astronomique. Cette source était 10 fois plus chaude et donc 10000 fois plus brillante que ce que la théorie prédisait pour une étoile à neutron et de fait, si Scorpio X-1 est bien une étoile à neutrons, le rayonnement détecté ne provient pas de l'étoile elle-même: en effet celle-ci forme avec une étoile plus "normale" un système binaire suffisamment serré pour que, par l'effet de la gravitation, la matière soit arrachée de l'étoile normale pour être précipitée sur l'étoile à neutrons. Lors de la chute, les frictions sont telles que la température atteinte est suffisante pour provoquer l'émission de rayons X. Notons tout de même que cette explication ne sera apportée qu'en 1967 par Shklovskii...

Ce n'est qu'en 1972, avec le satellite Uhuru ("liberté" en Swahili) que la détection d'un rayonnement X modulé signala directement la présence d'une étoile à neutrons dans un système binaire. Mais les étoiles à neutrons avaient été découvertes 5 ans plus tôt, par Jocelyn Bell et A. Hewish, en radio, grâce à l'une de leurs propriétés les plus fondamentales, non envisagée par Landau: la production d'un rayonnement de freinage pulsé, d'où leur nom de pulsars.

Ce n'est qu'une vingtaine d'années après Uhuru, que le satellite ROSAT détectait enfin la fluorescence lunaire.

Par ailleurs, s'il est bien une chose qui n'existe pas en astronomie, c'est un modèle standard, une théorie suffisamment solide et générale pour faire des prédictions sur une gamme d'objets non-négligeable. En fait, la variété de l'univers est telle que la plupart des astronomes fonctionnent à l'envers de la démarche scientifique canonique: celle qui s'appuyant sur une théorie bien comprise d'un ensemble de faits prédit le résultats de nouvelles expériences. Les observations dépassent de loin nos capacités à formaliser le réel ce qui produit invariablement le résultat que les découvertes sont de deux ou trois ans en avance sur les théories (quand ce n'est pas plus, comme les dix ans nécessaires pour que la source Geminga soit enfin comprise). Le seul domai-

ne qui semble se prêter correctement à cette méthode est la genèse de l'Univers, jusqu'à la séparation matière-rayonnement, domaine fort justement frontière entre l'astrophysique et la physique des particules, sans doute parce que l'on rejoint là la problématique de ce domaine: l'unification. Mais déjà au delà, on retrouve l'incertitude: comment et quand se forment les galaxies? Aucune théorie ne rend actuellement correctement compte de toutes les observations disponibles.

Une dernière question que l'on peut se poser concerne l'éventualité d'une fin de l'astrophysique. Au vu des différentes annonces de la fin de la physique faites au siècle dernier par d'illustres physiciens, on est tenté de répondre immédiatement non. Et de fait, nous ne voyons pas de raison de présager la fin de l'astrophysique. L'expérience nous a montré d'une part que tout objet ou phénomène qu'un scientifique est capable d'imaginer se retrouve invariablement dans le ciel où il n'attend que notre progrès technique pour se révéler; d'autre part très peu d'objets totalement exotiques un jour donné se retrouvent dans le même état d'isolement dix ans plus tard. Que ce soit les pulsars, les lentilles gravitationnelles, ou encore les galaxies ultra-lumineuses, tous étaient uniques, tous se retrouvent membre d'une famille nombreuse (à telle point que certaines sont maintenant divisées en sous-classes), quand ils ne sont pas maintenant utilisés pour étudier d'autres phénomènes (comme l'effet de lentille gravitationnelle qui fournit les "télescopes" les plus puissants du monde, et permet de rechercher la matière noire!).

Ainsi, nous pouvons conclure que la diversité de l'astrophysique est sa force, qu'elle reflète la complexité irréductible de l'Univers, et que cette complexité nous assure pratiquement de ne jamais en atteindre les limites... Serions-nous trop orgueilleux, ou ne doit-on pas s'armer de démesure quand, en empruntant à J.-L. Borges, notre but est de construire la bibliothèque de Babel, une bibliothèque contenant tous les livres possibles, ou une science englobant tous les phénomènes possibles...

*Lydie Koch-Miramond et
Marc Sawage (SAP)*

AUTO PORTRAIT

LE NOYAU, OU LA PASSION DE L'ENIGME par J.L. SIDA



Le noyau atomique est un laboratoire privilégié pour tenter de comprendre la matière connue dont il représente plus de 999 millièmes de la masse. Ce grain de matière ultra-dense est un système physique où coexistent les quatre interactions fondamentales de la nature et trois niveaux de structure, trois poupées-gigogne : le noyau renferme les nucléons (protons et neutrons), et dans chaque nucléon sont confinés trois quarks. Le noyau est un jalon majeur, une étape obligée dans l'édification de la matière qui nous entoure et dont nous sommes faits. Sans noyaux, pas d'étoiles. Et pas d'atomes. Sans atomes, pas de planètes. Pas de matière inerte ni vivante. Ni molécules, ni gènes. Ni Mendeleïev, ni Mendel. "Noyau, d'où viens-tu, que fais-tu?" s'interrogent, entre autres, physiciens des particules et astrophysiciens.

Mais ce fantastique microcosme mérite qu'on s'y intéresse aussi pour lui-même. A la fois parc naturel où s'ébattent les quarks, et producteur d'énergie quotidienne, il reste encore pour nous une énigme. Tenter de la débiffer pour le seul plaisir de comprendre, telle est la passion de l'auteur des lignes qui suivent. Il n'est pas seul. Noyau, QUIL es-tu ?
La rédaction

La médiatisation des sciences a entraîné un difficile problème pour les physiciens nucléaires. L'état de nos connaissances et la difficulté du "problème à N corps" sont deux handicaps à la vulgarisation. Nous avons contourné cet écueil en nous couvrant de mots magiques pour le grand public. Astrophysique, noyaux superlourds, retraitement des déchets, test du modèle standard sont les vitrines les plus communément usitées en ce moment. Il n'y a pas mensonge et un lien réel existe mais nous avons tendance à ne mettre en avant que ce lien dans le souci de séduire.

Je ne sais pas ce qu'il est bon de dire aux médias et à nos dirigeants, pour présenter la physique nucléaire. La seule chose que je puisse faire, en revanche, est de vous présenter sans contrainte ce qui me pousse à faire ces recherches. Les maîtres-mots sont incompréhension et complexité. Le premier se réfère à un état des lieux et le second à

un état de fait.

Incompréhension car, il faut bien le reconnaître, nous ne comprenons pas le noyau. Il est difficile de soutenir une telle affirmation sans l'illustrer. Prenons la fission, par exemple. Un noyau d'uranium, un neutron thermique que l'uranium absorbe et qu'en sort-il? Deux noyaux tout chauds. La masse de chacun de ces noyaux devrait être approximativement la moitié de celle du noyau père. Chacun sait depuis maintenant cinquante ans qu'il n'en est rien. La distribution des masses est dite asymétrique (le noyau père se scinde préférentiellement en un gros noyau et un petit). Cette propriété comprise qualitativement n'est aujourd'hui reproduite quantitativement par aucun modèle théorique. Trois quarts de notre électricité vient d'un processus parfaitement connu expérimentalement mais à ce jour inexplicé.

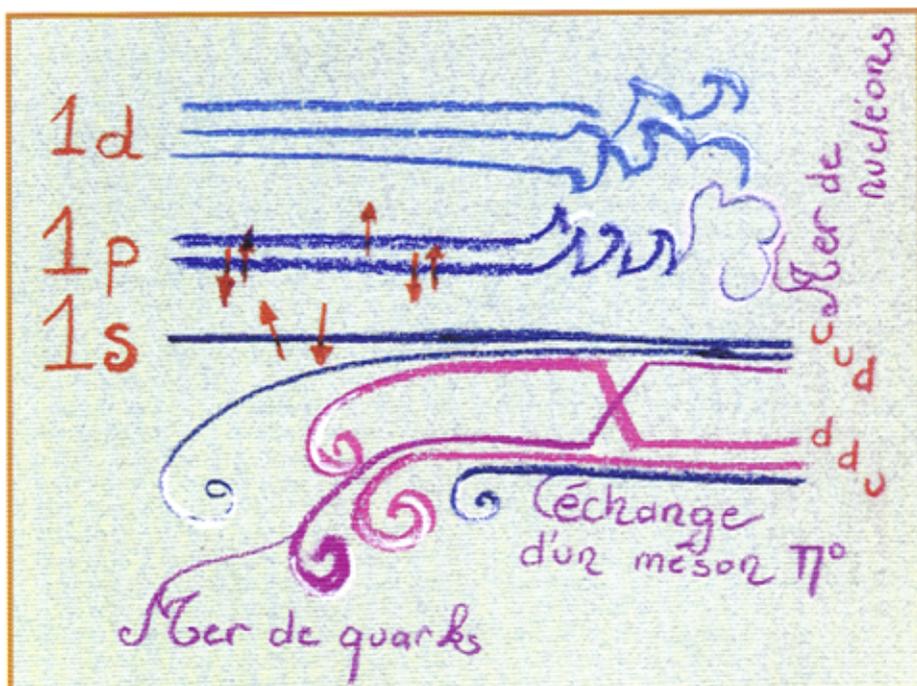
Le noyau offre bien d'autres aspects étonnants : sa capacité de tourner dans des états de déformation extrême (états de hauts spin découverts dans les années 1985), la grande extension spatiale de certaines orbites nucléaires pour des noyaux légers comme le ^{11}Li (halos de neutrons découverts en 1985), la multifragmentation, étudiée avec le détecteur INDRA(1), véritable explosion du noyau que l'on observe depuis les années 1980... Toutes ces découvertes expérimentales dépassent par bien des aspects notre

compréhension ce qui rend le sujet passionnant, ce qui me donne envie de chercher.

L'incompréhension du noyau reflète l'état de nos connaissances. Dépasser ce stade impose de vaincre la cause de cette incompréhension : la complexité. Il semble peu probable que le noyau devienne un jour un objet simple. Pour vous montrer cette complexité, nous allons faire une excursion dans les multiples échelles du noyau en partant de celle qui paraît comme fondamentale : le noyau, ensemble de quarks et de gluons.

A cette échelle correspondent deux théories : celle des interactions fortes, la chromodynamique quantique (QCD) et celle des interactions électrofaibles, l'électrodynamique quantique (QED). Physique nucléaire et physique des particules se rejoignent (2). L'une des complexités majeures, du ressort de QCD, est le confinement des quarks. Ce sujet sera largement abordé dans le cadre du projet d'accélérateur ELFE.

À l'échelon supérieur, le noyau est décrit comme un ensemble de protons, neutrons et mésons. D'une interaction noyau-noyau, tous deux formés de protons et de neutrons, peuvent être produites toutes sortes de particules qui reflètent la structure en quarks des noyaux. Cependant, il n'est pas toujours nécessaire de prendre en compte cette structure pour interpréter les données. Cette échelle correspond aux expériences à CEBAF, Satume et MAMI à Mayence (3) par exemple.



"Et voguent quarks et nucléons"

Vue d'artiste de l'auteur sur les effets de couches nucléaires et les échanges de quarks intranucléoniques.

Avec ce type de modèle, on est cependant loin de comprendre la structure en couches (de protons et neutrons) du noyau. Il faut alors se référer à des théories où l'on imagine un nucléon en interaction avec l'ensemble de tous les autres, ce qu'on appelle une théorie de champ moyen. On arrive avec ces modèles à reproduire bon nombre de données de structures nucléaires même si, çà et là, certaines échappent à une compréhension dans ce cadre.

Vu d'encore plus loin, le noyau n'est pas autre chose qu'une goutte visqueuse et chargée qui peut être modélisée par l'hydrodynamique. Cet aspect se manifeste dans tous les mouvements collectifs (fission, résonances géantes...) et dans la dynamique nucléaire. Les études de la structure et de la dynamique du noyau sont principalement menées au GANIL et auprès des tandems (4)

Nous avons rapidement et en simplifiant énormément fait cette excursion. Alors? Qu'est-ce que le noyau? Une collection de quarks? Un agrégat de nucléons? Une goutte de matière nucléaire? Le noyau est tout cela simultanément, d'où la complexité du problème. Je ne citerai qu'un exemple pour vous montrer qu'il peut bien s'agir bien de toutes les échelles simultanément. Au GANIL, dans les réactions entre ions lourds,

on a mesuré la probabilité de produire des mésons K (kaons) à des énergies inférieures au seuil (valeur d'énergie à partir de laquelle cette production peut se faire directement depuis un nucléon de chaque noyau). Pour produire ces kaons, il a fallu produire une paire de quarks étranges. Ce type de quarks est absent de la structure des nucléons. Le phénomène relève donc de l'échelle fondamentale. Cette production se fait en dessous du seuil; il est donc nécessaire que plusieurs nucléons mettent leur énergie en commun. Cet apport collectif montre bien que la seule prise en compte de l'échelle la plus élémentaire ne suffit pas à expliquer cette émission de kaons.

Cette situation est inconfortable. Le noyau a trop d'échelles et donc trop de descriptions. Je suis cartésien, comme vous, sans doute, et j'aurais souhaité une description unique dans le cadre le plus fondamental. Quand on y réfléchit bien, la chose n'a rien d'évident car quelle que soit l'échelle, il faut résoudre un problème à N corps. La complexité est dans la résolution de ce problème universel. La seule description en termes de quarks et de leptons est aussi injustifiée pour le noyau que pour l'atome d'hydrogène ou la cellule vivante. Même si nos degrés de liberté sont parfois proches

de ceux les plus fondamentaux, nous travaillons bien au traitement du problème à N corps et c'est là où la physique nucléaire a permis le plus de progrès.

Dévoiler les mystères des noyaux et résoudre le problème à N corps font de la physique nucléaire un axe majeur de recherche. L'effort nécessaire de vulgarisation doit nous aider à clarifier nos idées sans nous détourner de notre réelle motivation: comprendre.

"Le défaut actuel de la conception de la science par le public, c'est qu'il adore la magie des résultats. Or le progrès des sciences est toujours motivé par l'ambition de comprendre." André Lichnerowicz, "Le Journal du CNRS", octobre 1993. Citation empruntée à la rubrique "Ils ont dit" des "Défis du CEA" de novembre 1993.

Jean-Luc Sida, profession: chercheur (SPbN)

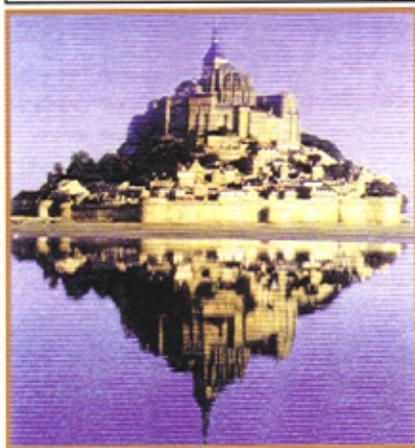
(1) - Voir "ScintillationS n° 7"

(2) - Par exemple dans l'étude de la structure en spin du nucléon, voir n°12

(3) - Expérience DAPHNE, voir le n°17

(4) - Voir les n°13 et 17

A LA RENCONTRE DE LA BEAUTÉ



Beauty'94, la seconde rencontre internationale sur la physique du B aux machines hadroniques, s'est déroulée du 24 au 29 avril 1994 dans le cadre prestigieux du site du Mont Saint-Michel. Cette réunion succède à celle qui s'est tenue l'an dernier à Liblice, près de Prague en République Tchèque.

Environ 70 physiciens se sont rencontrés pour faire le point des possibilités qu'ouvre pour la physique la future génération d'expériences sur les mésons B (ceux qui renferment le quark de beauté) et pour évaluer les performances, souvent les défis, demandés aux détecteurs. L'enthousiasme des participants a pu être maintenu au "beau" fixe par une organisation qui n'a guère faibli au fur et à mesure que les communications - plus de 50 au total - se succédaient au cours de cette semaine chargée. Trois physiciens du SPP

(Daniel Denegri, Yves Lemoigne, Elisabeth Locci) ont été les piliers de cette organisation, tant du point de vue animation scientifique que de celui de la vie communautaire. Les lourdes charges du Secrétariat étaient assumées par Dominique Brou et Jeanne Saint-Saens du SPP également: inscriptions, reproduction immédiate des transparents des orateurs, multiples problèmes de logement, de transport, etc..., tout cela trouvait rapidement une solution.

Le DAPNIA donc, et deux autres grands organismes ont parrainé ce séminaire: l'IN2P3 (Paris) et l'INFN (Rome). Trois fournisseurs de matériel électronique pour la physique se sont également associés à l'organisation: CAEN (Italie), Wiener (Allemagne), Brandenburg/Astec (Grande-Bretagne), représentés par la société Alimtronic (France).

Le point a été fait sur l'état actuel des connaissances relatives au B et apportées par les expériences en cours aux Etats-Unis (CDF et D0 au FNAL, CLEO à Cornell) et en Europe (ALEPH, DELPHI, L3, OPAL auprès du LEP au Cern). Si les statistiques d'événements avec B accumulées jusqu'à présent sont relativement limitées, les mesures de masses, de durées de vie et de rapports d'embranchement ont permis de préciser les interprétations théoriques et de cerner les points d'intérêt pour l'avenir de cette physique.

Cet avenir verra l'amélioration d'expériences déjà existantes et le démarrage d'expériences de première génération (HERA-B à Hambourg, BaBar à l'usine à B de Stanford aux Etats-Unis) vers la fin de cette décennie avec comme but les premières mises en évidence de la viola-

tion de CP dans les systèmes de B. Une seconde génération, déjà en active préparation, verra le jour vers les années 2004 auprès du futur LHC au Cern avec des expériences générales comme ATLAS et CMS ou avec des expériences spécifiquement conçues pour la détection des B, comme COBEX, LHB, GAJET, toujours au LHC. Au cours de cette réunion au Mont Saint-Michel, tous ces projets ont été systématiquement détaillés, leurs performances respectives comparées et leur apport potentiel au Modèle Standard évalué. Le SPP est déjà fortement engagé dans les projets BaBar, ATLAS, CMS et participe à la proposition de GAJET.

Il reste un énorme travail à accomplir dans la connaissance du comportement du B et dans l'élaboration des modèles théoriques où de très nombreuses incertitudes sont encore à lever. Par contre, dans une discipline annexée et non moins intéressante, tout nous a été dit sur le phénomène des marées, leur amplitude au Mont Saint-Michel en période d'équinoxe, sur les flux de migration des Vikings vers le Cotentin, l'Islande, le Groenland et le Labrador. Chaque jour, en accompagnement de l'ordre du jour et des informations locales, les participants trouvaient à leur place au Centre Normand d'Information et de Réflexion, lieu où se tenait la conférence, les commentaires et anecdotes édités par le vigilant organisateur normand Yves Lemoigne (SPP). Enthousiasmés par les perspectives d'une nouvelle physique, tous ont été séduits par le charme et la beauté du site et de la région; beaucoup se sont promis d'y revenir.

Elizabeth Locci, Claude Kochowsky (SPP)

L'HISTOIRE DU QUARK TOP

Les journaux et les media ont fait état de l'annonce faite par la Collaboration CDF travaillant auprès du TEVATRON, collisionneur du Fermi lab, près de Chicago, de la découverte du "quark top". Comme l'autre expérience, D0, installée auprès du même collisionneur, à laquelle participe une équipe du DAPNIA, ne confirme pas ce résultat, on ne peut pas encore affirmer que le quark top a bien été découvert. Une analyse critique des résultats obtenus, des débats non soumis à la pression médiatique, la poursuite des expériences pour accumuler davantage de données, seront nécessaires pour que la communauté scientifique puisse se prononcer en toute sérénité. Quoiqu'il en soit, il peut être intéressant de retracer ici l'histoire du quark top pour faire comprendre les enjeux de sa recherche et de sa découverte dont tout le monde espère qu'elle puisse être bientôt confirmée.

Il y a deux grandes catégories de particules élémentaires : les fermions, particules constitutives de la matière, et les bosons, particules que la théorie quantique associe aux interactions. Le quark top est un fermion alors que les gluons et le photon, par exemple, sont des bosons. Les fermions sont, en quelques sortes les "briques" élémentaires de la matière, alors que les bosons sont associés aux "ciments" qui lient ces briques.

Tous les fermions ne participent pas de la même façon à toutes les interactions fondamentales. Ils se partagent en deux groupes, les leptons, d'une part, qui ne participent pas à l'interaction forte et les quarks, d'autre part qui participent à toutes interactions fondamentales. Les leptons eux-mêmes comportent deux sous-groupes, les leptons chargés comme l'électron qui participent à l'interaction électromagnétique et les leptons neutres ou neutrinos qui ne participent qu'à l'interaction faible.

Pour compléter le tableau des particules constitutives de la matière, il faut associer à chaque particule son antiparticule qui a la même masse qu'elle mais les caractéristiques opposées. Les quarks et les antiquarks sont les constituants des particules qui, jusqu'à la découverte des quarks étaient considérées comme élémentaires, les mésons, constitués d'une paire quark-antiquark et les baryons, constitués de trois quarks. Le proton et le neutron, les constituants du noyau de l'atome sont des baryons, constitués de deux quarks "haut" et un quark "bas" pour le proton, et deux quarks "bas" et un quark "haut" pour le neutron.

Le tableau des particules montre que les fermions se groupent en trois familles (on dit aussi des "générations") compor-

tant chacune un doublet de leptons -un lepton chargé et son neutrino- et un doublet de quarks, l'un de charge électrique $-1/3$ et l'autre de charge $2/3$. Les trois familles participent de la même façon aux interactions fondamentales, et les particules ne diffèrent d'une famille à l'autre que par la masse. La première famille est celle des particules les plus légères et donc les plus stables. Ces particules sont celles qui constituent la matière ordinaire : toute la matière ordinaire est donc constituée de quarks "haut", de quarks "bas", d'électrons et de neutrinos d'électrons. Les particules des autres familles sont instables et elles se désintègrent spontanément au bout de temps très brefs. Elles ont été présentes dans l'univers primordial, peu de temps après le "Big Bang". On peut les observer dans des rayons cosmiques ou les produire en laboratoire, dans des expériences à l'aide d'accélérateurs. C'est ainsi que toutes ont été découvertes.

Le bégaiement de la nature

Quelle est la signification de cette sorte de "bégaiement" de la nature, qui a reproduit trois fois quasiment la même structure ? C'est une des grandes questions non résolues par la physique contemporaine. Mais s'il est vrai que l'on ne comprend pas pourquoi il y a trois générations, il y a maintenant une accumulation énorme de faits expérimentaux qui nous font penser qu'il y a bien trois et seulement trois telles générations.

Lorsqu'a été inventé le modèle des quarks, on connaissait deux doublets de leptons, l'électron et son neutrino et le muon et son neutrino. Le premier modèle des quarks comportait trois quarks, le "haut", le "bas" et l'"étrange", à partir desquels il était possible de constituer tous les mésons et tous les baryons que l'on connaissait à l'époque. Il est alors apparu que les quarks, confinés à l'intérieur des mésons et des baryons, sont les particules élémentaires qui participent à toutes les interactions fondamentales. Lors, la théorie de l'interaction faible a commencé à se développer et il est apparu que les fermions participant à cette interaction devaient se grouper en doublets analogues aux doublets associant un lepton chargé et son neutrino. Comme il est difficile de grouper trois quarks en doublets, on a imaginé qu'il pouvait exister un quatrième quark. C'est ainsi que Glashow, Iliopoulos et Maiani, (ce sont leurs initiales qui forment l'acronyme "GIM") ont imaginé un modèle qui rendait compte des propriétés des désintégrations des particules étranges et qui associait à chaque doublet de leptons un doublet de quarks. Ce modèle prédisait l'existence d'un quatrième quark, d'une masse comprise entre 1,5 et 2 GeV, que le trio GIM a appelé "charme", parce qu'ils avaient pris beaucoup de plaisir à élaborer leur modèle.

le.

Le charme a été découvert en 1975, d'abord sous la forme du "charmonium", un méson constitué d'une paire "charme-anticharme", puis sous la forme de "mésons charmés", constitués d'une paire quark (ou antiquark) "charme" et d'un antiquark (ou quark) "ordinaire" ("haut", "bas" ou "étrange"). Cette découverte a marqué un tournant dans l'histoire de la physique des particules : elle a consolidé la théorie "électrofaible" qui devait aboutir, moins de dix ans après, à la découverte des bosons intermédiaires, et elle a ouvert la voie à la chromodynamique quantique, théorie de l'interaction des quarks et des gluons.

Un problème de terminologie

Mais voilà que presque en même temps que le "charme", on découvre de manière totalement inattendue, un troisième lepton chargé, baptisé "tau" (une lettre de l'alphabet grec : τ). Ce lepton et son neutrino (découvert quelques années plus tard, et dont l'existence est confirmée par le LEP, qui prouvera qu'il y a trois et seulement trois types de neutrinos) forment un troisième doublet de leptons. La cohérence de la théorie électrofaible exigeait donc un troisième doublet de quarks. On a eu alors à résoudre des problèmes de terminologie. En anglais, on désigne souvent les quarks par la lettre initiale de leur nom anglais : u pour up, d pour down, s pour strange, etc. Pour désigner les deux premiers quarks on a utilisé la terminologie "haut" "bas", que l'on utilise presque toujours en physique quantique, quand on a affaire à un système à deux états. Les noms des quarks du deuxième doublet, étaient donnés avant leur découverte. Pour le troisième doublet, fallait-il rester dans le registre des "qualités", comme l'étrangeté et le charme ou bien revenir au registre haut-bas ? On a choisi une solution ambiguë : les premières lettres de beauty (beauté) et truth (vérité) sont aussi celles de bottom (fondement) et top (sommet). Et, en s'appuyant sur cette ambiguïté, on a pu appeler "beauté" le cinquième quark, découvert en 1979 et "top", le sixième, dont il est ici question. De fait, elle est très belle la physique que l'on peut étudier à l'aide du quark de "beauté"! Elle est tellement belle que l'on envisage de faire un collisionneur spécialement dédié à produire des quarks de "beauté" : une "usine à beauté", en somme! Quant au sixième quark, on aurait pu l'appeler "vérité", car sa recherche est bien une épreuve de vérité. On préfère l'appeler "top", car sa découverte sera le couronnement, le "sommet" de tout un édifice. Sa clé de voûte.

La surprise concernant le quark top est que sa masse est probablement très élevée. C'est grâce aux expériences du LEP que l'on a les informations les plus pré-

cises concernant la masse du quark top : la théorie de l'interaction électrofaible permet de calculer les effets indirects du quark top sur certaines propriétés du boson Z^0 produit abondamment au LEP. La masse du quark top entre comme un paramètre dans ces calculs. Les mesures expérimentales permettent alors de définir une "fourchette" dans laquelle peut se trouver, avec une bonne probabilité, la masse du quark top. O bonheur, la valeur de la masse annoncée par la collaboration CDF (174 GeV) est dans la fourchette prédite par le LEP.

A quand une "usine à top" ?

Les quarks, avons nous dit, participent à toutes les interactions fondamentales. L'interaction chromodynamique les confine dans les mésons et les baryons dont ils sont les constituants. Dans les interactions électromagnétique et faible ils se comportent de la même façon que les leptons. C'est l'interaction faible qui est responsable de la désintégration des quarks les plus lourds. Comme le quark top est plus lourd que le boson de l'interaction faible W , il peut se désintégrer en un boson W et un quark de "beauté". Cette désintégration par interaction faible intervient avant que le quark top ait eu le temps d'être confiné dans un méson ou un baryon.

Ces propriétés permettent de comprendre pourquoi la recherche du quark top est si difficile. Comme il est vraisemblablement très lourd, il faut beaucoup d'énergie dans l'état initial : le quark top étant nécessairement produit en association avec l'antiquark top, la réaction de production quark-antiquark donne top-antitop ne peut se produire que si l'énergie totale des deux faisceaux entrant en collision est au moins égale à deux fois la masse du top. Concrètement, pour produire un top et un antitop, chacun ayant une masse d'au moins 150 GeV, il faut que le quark et l'antiquark se ruent l'un sur l'autre animés chacun d'une énergie d'au moins 150 GeV. Les quarks d'un proton n'ayant en moyenne que 15% de l'énergie du proton, les faisceaux de protons et d'antiprotons doivent approcher chacun l'énergie de 1000 GeV, soit 1 TeV. La production du top est ainsi à la limite des possibilités du TEVATRON, collisionneur proton-antiproton de deux fois 900 GeV. De plus les quarks top ne sont détectables que par les produits de leur désintégration, en l'occurrence un boson W et un quark de beauté. Un événement de production top-antitop se verra sous la forme de deux W et une paire quark-antiquark de "beauté". Autant dire qu'il s'agit d'événement extrêmement complexes. Il n'est pas étonnant que l'analyse de ces événements soit très délicate, et demande beaucoup de prudence.

En tous les cas, s'il se confirme que le quark top existe et a bien cette masse, l'énergie du LHC permettra sûrement de le produire en quantité suffisante pour que l'on puisse étudier les propriétés de cette particule fascinante.

Gilles Coben-Tannoudji (SPP)

UN CONCENTRÉ DE SOLEIL ARTIFICIEL POUR GALLEX



Le 13 avril 1994, ont été livrés au CEN Grenoble 36 kilogrammes de grains de chrome enrichi à 38% de ^{50}Cr entrant dans la composition de la source de neutrinos nécessaire à l'étalonnage du détecteur GALLEX (voir "Scintillation" n° 5, NDLR).

Après 18 mois d'études, une station d'électrolyse répondant aux exigences de pureté et de sécurité a été construite au SIG. Il a fallu un an à cette station pour produire les 36 kg de chrome.

Le traitement a consisté à transformer par électrolyse l'oxyde de chrome enrichi (par centrifugation gazeuse en Russie) en chrome métal que l'on a concassé en grains et dégazé pour en extraire l'hydrogène piégé pendant l'électrolyse.

Toutes ces opérations ont été réalisées avec d'innombrables précautions afin de ne pas introduire d'impuretés. Les analyses effectuées tout au long du cycle de production ont montré que le chrome obtenu était de très bonne qualité.

L'étape suivante est l'irradiation pendant plus de trois semaines de ce chrome dans le réacteur "Siloé" à Grenoble et le transport le plus rapide possible dans le tunnel du Gran Sasso de ce concentré de soleil artificiel et éphémère ainsi créé.

Patrick Lamare (SIG)

GLOSSAIRE. — GALLEX détecte des neutrinos émis par le cœur du Soleil. Comme tout détecteur, il doit être étalonné. Pour cela, on lui envoie un nombre de neutrinos connu à l'avance

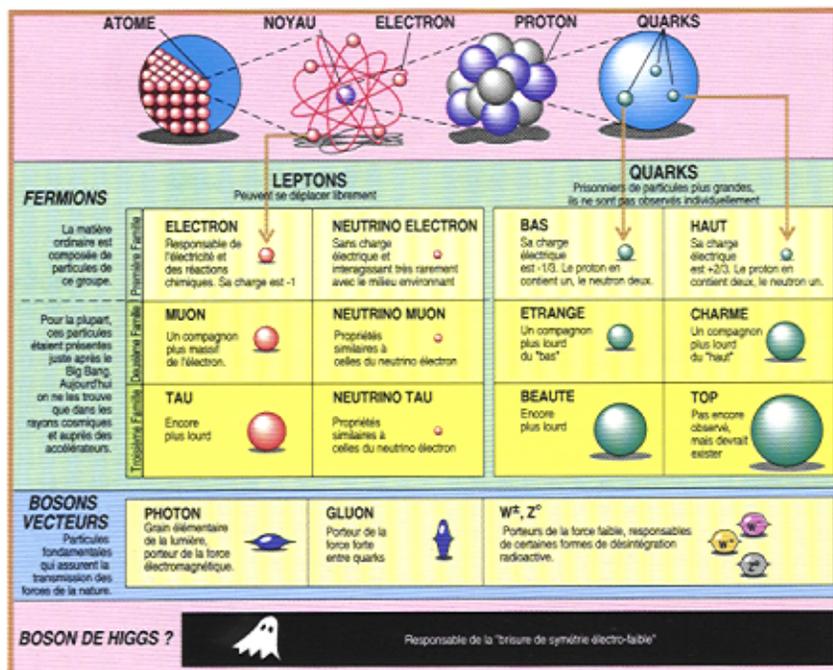
et on mesure sa réponse. Le principe est simple. La difficulté, c'est de fabriquer une fontaine à neutrinos dont on maîtrise le débit et l'énergie qui doit être proche de celle des neutrinos solaires. Par chance, un isotope (noyau ayant le même nombre de protons mais un nombre différent de neutrons) radioactif du chrome, le ^{51}Cr , émet de tels neutrinos. Pour que l'étalonnage soit significatif, il faut que ces neutrinos artificiels soient beaucoup plus nombreux que les neutrinos solaires que capte le détecteur pendant le même temps. On doit donc fabriquer une masse très importante de cet isotope. De plus, la source ne doit contenir aucun autre noyau radioactif, sinon des rayonnements indésirables se mêlent aux neutrinos. D'où les draconiennes exigences de pureté dont parle Patrick Lamare, malgré lesquelles des photons gamma de quelques centaines de keV se mêlent aux neutrinos. Un blindage absorbe ce rayonnement parasite et dangereux tout en étant transparent aux quelques quarante millions de milliards de neutrinos qui jaillissent à chaque seconde de la source. C'est la plus puissante à ce jour. Mais, dormez en paix, bonnes gens, les neutrinos sont des particules particulièrement inoffensives : sans charge électrique et quasiment sans masse, ils n'ont pratiquement pas d'interaction avec la matière (un blindage de plomb épais de plus de 5000 années-lumière n'en arrêterait que la moitié!). C'est ce qui rend si difficile leur détection. Mais on si comprend les "innombrables précautions"...



NE COUPEZ PAS !

Deux personnes ont subi de fâcheuses autant qu'accidentelles amputations dans le n° 18 de ScintillationS. Notre mystérieux nouvel équipier, "Jean-Claude", qu'annonçait la note de "NOS VCEUX" n'est autre que l'ami Scheuer de DAPNIA/DIR, dont le patronyme a disparu dans la tourmente compositionnelle du journal. Et dans la photo (à grosse trame) des champions du gradient, page 7, la personne la plus à droite (géographiquement) a été quasi-annihilée par un cadrage trop serré. Aussi proposons-nous la même photo, en haute résolution et cadrage normal, afin que tous les membres de cette brillante équipe se reconnaissent et soient reconnus.

Toutes nos excuses aux victimes de ces involontaires ostracismes!



ENTRE GENS DE QUALITE...

Le 20 Janvier dernier, Yannick Descatha, administrateur général adjoint a lancé la politique qualité du CEA en présence des directeurs et des chefs de département. A cette occasion, il a présenté un "manuel qualité". Les chefs de département ont maintenant pour mission de présenter cette politique à leurs services. Jacques Haissinski, pour le DAPNIA, nous invitera à cette présentation dans le courant du mois de Juin.

J. Pierre Taguet, correspondant qualité au CEA

DISTINCTION

Qualité et distinction vont de pair. Nous sommes heureux et fiers d'apprendre qu'en février 1994 les Palmes Académiques ont été DÉCERNÉES à un membre du DAPNIA. Toutes nos félicitations au nouveau Chevalier Gilles Cohen-Tannoudji du SPP du DAPNIA de la DSM. Encore trois nouvelles particules...

OUBLI INFORMATIQUE

Toutes nos excuses à Didier LEBCEUF (SGPI) : il n'a pas été cité dans la liste des membres de la coordination informatique du DAPNIA (n° 18 de "ScintillationS"). Il y représente la CAO mécanique.

VA-ET-VIENT

1er Mars 1993 - Jean-Marc Brand est muté du SED au SIG et Jean-Claude Courtois du SAP part en retraite.

7 mars 1994 - David Lachartre est recruté au SEI.

9 mars 1994 - Jean-Luc Dominique est recruté au SED.

1er avril 1994 - Les événements qui suivent ne sont pas des poissons : Christophe Bouchand (SEI) est promu annexe 1, Jacques Blons (SPhN) part en retraite. Pierre Didelon est muté du LNS au SAP ; d'un Saturne à l'autre, en quelque sorte... Roger Duthil (STCM) part à la retraite et revient comme conseiller scientifique. Jean Girard (SEA) prend également sa retraite ainsi que Jean Habault (SED) et Claude Thuillant (SIG). Enfin, un recrutement : Nicolas Vignal au SGPI.

CEA - DIRECTION DES SCIENCES DE LA MATIERE

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION :

Jacques Haissinski

COMITÉ ÉDITORIAL :

Joël Martin (porte parole),

Claire Antoine, Françoise Auger, Pierre Besson,

Daniel Bonnerue, Michel Bourdinand,

François Bugeon, Gilles Cohen-Tannoudji,

Bertrand Cordier, Patrick Lamare, Odile Lebey,

Claude Lesmond, Elizabeth Locci,

Marc Sauvage, Jean-Claude Scheuer

RÉDACTION :

Maryline Albera

MAQUETTE ET MISE EN PAGE :

Henry de Lignières

Dépôt légal mai 1994

Nous remontrons ci-dessus le tableau des particules élémentaires, dans le cadre du modèle standard, que nous avons publié dans le numéro 3 de ScintillationS, une figure qui a beaucoup de succès et qui a été reprise dans diverses publications (dont le journal "Le Monde").