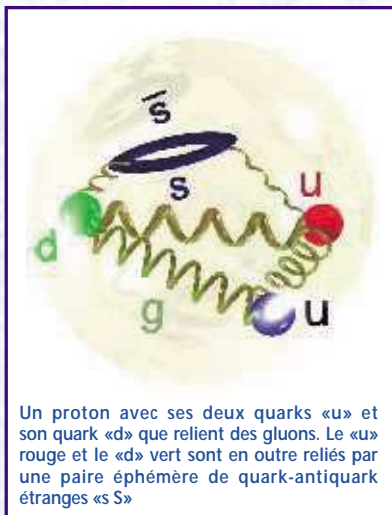


## Cet étrange nucléon..

*La nature est un emboîtement de poupées russes et la structure de la matière se révèle différente selon la poupée que l'on ouvre, autrement dit, selon l'échelle d'observation. Alors que l'on comprend l'organisation des atomes et des molécules, que régit la force électromagnétique extrêmement bien connue, des zones d'ombre subsistent dans notre compréhension de la structure des noyaux d'atomes et de leurs constituants, les nucléons : protons et neutrons faits eux-mêmes de quarks et de gluons. Ces objets minuscules (un noyau est entre dix mille et cent mille fois plus petit que son atome), dont la masse représente pourtant près de 99,95% de celle de l'univers visible, sont gouvernés par une autre interaction fondamentale beaucoup moins bien connue, la force de couleur, qui lie entre eux les quarks par l'échange de gluons.*



Un proton avec ses deux quarks «u» et son quark «d» que relient des gluons. Le «u» rouge et le «d» vert sont en outre reliés par une paire éphémère de quark-antiquark étranges «s S»

*Autre différence notable : ce qui se passe dans le noyau n'influe pratiquement pas sur l'agencement des édifices atomiques, cristaux et molécules menant à la matière que nous connaissons au quotidien. En revanche, la sociologie des constituants d'un nucléon influe de façon déterminante sur son comportement individuel et collectif, donc sur la structure du noyau. Cette différence fondamentale vient de ce que la force électromagnétique n'a, hormis dans les premiers nanopouillièmes de picosecondes de l'univers, rien de commun avec la force de couleur, alors que la force nucléaire, qui assure la cohésion des noyaux, est la manifestation «extérieure» de cette force de couleur, plus profonde, qui régit les nucléons. On peut faire de la physique atomique sans connaître la physique nucléaire ; mais pour faire de la physique du noyau, il est utile de s'y connaître en physique nucléaire hadronique, celle qui explique le comportement des noyaux et de leurs nucléons, via celui des quarks et des gluons – désignés par le terme générique de partons.*

*La physique hadronique suscite de part le monde un intérêt qui croît à mesure que des accélérateurs de nouvelle génération comme Cebaf (voir ScintillationS n° 20, 26, 30, 31, 40, 42, 50, 54), permettent des observations de plus en plus fines. À Cebaf, on mesure des phénomènes beaucoup plus rares (plus que cent fois) que ceux qu'étaient capables d'analyser ses prédécesseurs. Ces phénomènes une fois entrevus révèlent des détails insoupçonnés. C'est la rançon de cette spirale du succès : les édifices de plus en plus petits accessibles à l'observation se révèlent de plus en plus compliqués. Leur compréhension nécessite des théories de plus en plus ardues et des calculs de plus en plus abominables, que seuls les énormes progrès de l'informatique permettent d'aborder. L'image des poupées russes trouve là sa limite, tant l'organisation se complique d'une poupée à sa poupée intérieure. Ainsi, il est beaucoup plus ardu d'étudier un nucléon et ses trois quarks qu'un noyau à trois nucléons, comme le tritium (isotope de l'hydrogène à un proton et deux neutrons), ou l'hélium-3 (deux protons et un neutron), ce qui est déjà extrêmement difficile. Deux raisons parmi beaucoup d'autres : 1) alors que les protons et les neutrons ont des charges électriques bien précises (+1 pour le proton, zéro pour le neutron), chaque quark peut avoir trois «charges de couleur» différentes ; 2) alors que dans un noyau, le nombre de nucléons est constant, il n'en est pas de même pour le nombre des quarks dans un nucléon.*

*De récentes observations laissent entrevoir au sein du nucléon un fascinant microcosme très éloigné de l'image simple de trois quarks échangeant leurs gluons. Ainsi, un nucléon grouille de «paires quark-antiquark» qui se font et se défont sans cesse et sans fin. Il arrive qu'une de ces paires soit faite de quarks «étranges», bien que les trois quarks constituants soient «up» ou «down». Bizarre, vous avez dit bizarre, comme c'est étrange... Il semble de plus en plus que ce zeste d'étrangeté joue un rôle non négligeable dans le comportement du nucléon donc des noyaux. À Cebaf, où est fortement engagé le Dapnia, on se penche sur l'étrange influence de ces quarks fantomatiques qu'évoque Jean-Marc Laget (SPhN), dans ce numéro.*

Joël Martin (SPhN et ScintillationS)

(1) Continuous electron beam accelerator facility (Cebaf) : accélérateur supraconducteur à faisceau continu d'électrons de 6 GeV, du Jefferson Laboratory (Jlab), en Virginie, aux États-Unis.

(2) La charge de couleur est à la force de couleur ce que la charge électrique est à la force électromagnétique.

(3) Antiquark : antiparticule du quark (c'est un quark d'antimatière).

## La structure en «partons» de la lumière

### Comment naît un nucléon ?

Les quarks s'attirent par échange de gluons. Cette attraction est faible lorsque la distance entre les quarks est très petite (bien inférieure au dixième du rayon d'un nucléon), mais devient très forte lorsque les quarks sont séparés par une distance comparable à la taille d'un nucléon. C'est un peu comme si deux quarks étaient aux deux bouts d'une corde (voir l'encadré de Pierre Guichon) qui les empêche de s'éloigner l'un de l'autre de plus d'un diamètre de nucléon. L'énergie requise pour «casser la corde» et séparer deux quarks est plus élevée que celle qui permet de matérialiser les particules les plus légères. Économe, la nature préfère créer ces «particules-cages» où restent confinés les quarks plutôt que les séparer à grands frais.

Des questions brûlantes alors se posent : comment ce confinement se déroule-t-il ? Comment quarks et gluons s'organisent-ils pour former les nucléons ? Quels sont, en définitive, les constituants du nucléon (qu'on appelle partons) que révèle l'observation à cette échelle ?

### Tirez pas sur l'élastique, ça va casser mon string !

L'image assez répandue de l'élastique liant les quarks, que reprenait *ScintillationS* n° 54, n'est pas tout à fait correcte. En effet, lorsqu'on étire un élastique, il faut exercer une force proportionnelle à l'allongement. Si une force allonge l'élastique de 1 cm, alors une force deux fois plus grande l'allonge de 2 cm. Or pour expliquer les propriétés des particules élémentaires, on doit plutôt supposer – c'est confirmé par les calculs théoriques actuellement les plus pointus – que la force qui agit entre les quarks est indépendante de «l'étirement», donc de leur

Penchés depuis longtemps sur ces énigmes, les physiciens ont édifié la chromodynamique quantique (CDQ), théorie de la force de couleur qui lie entre eux quarks et gluons et se manifeste à l'échelle du noyau par l'interaction forte entre nucléons. Pour comprendre les mécanismes du confinement, il faut résoudre les équations de la CDQ. Ce n'est pas encore trop ardu lorsque les quarks sont proches car leur interaction est assez faible pour être traitée comme une petite perturbation.

Cela permet des approximations qui simplifient considérablement les calculs<sup>1</sup>. Ces calculs ont été faits et confirmés par des expériences comme celles du Cern ou d'Hera (voir *ScintillationS* n° 27 et 28).

Les choses se gâtent lorsque les quarks sont distants d'un diamètre de nucléon, car seules sont valables les équations pures et dures, effroyables à résoudre. Il existe néanmoins des méthodes de calcul où l'on quadrille en quelque sorte le nucléon et l'on résout le problème sur des tous petits domaines. Ces techniques de numérisation des phénomènes, grandes dévoreuses de temps de calcul et de mémoires d'ordinateurs, sont maintenant à la portée des moyens informatiques actuels. Ce sont les «calculs sur réseaux». Mais l'expérience reste un test irremplaçable et de grandes collaborations internationales s'y sont attelées.

### Comment sont répartis les partons dans leur nucléon ?

Les premières expériences ont consisté à faire diffuser des leptons (électrons,

électrons). Une analogie classique serait l'effort que l'on produit pour élever une charge avec une corde et une poulie. La force à exercer ne dépend pas de la hauteur de la charge.

Bien sûr, il peut arriver que la corde fasse comme la peau de mériau et qu'on se retrouve avec deux bouts de corde. Cela ne libère pas un quark pour autant car le quark est le bout de la corde. Comme dit Raymond Devos, il y a toujours deux bouts au bout d'un bout. Le quark isolé ne peut donc exister.

Pierre Guichon (SPHN)

positons ou muons) de grande énergie sur des nucléons (voir *ScintillationS* n° 42), en ne détectant que les électrons diffusés sans examiner l'état des constituants du proton après le choc. Or, plus la quantité de mouvement transférée par l'électron au proton est élevée, plus la frappe est «chirurgicale» : l'électron n'interagit qu'avec un seul quark. On peut de la sorte mesurer la répartition des quarks, mais aussi des gluons, donc des «partons», au sein du nucléon. Grâce à ces mesures, on sait que les gluons sont

responsables de la moitié de la quantité de mouvement du proton. En faisant diffuser des électrons ou des muons polarisés sur des nucléons polarisés (voir n° 42), on a mesuré la répartition de la polarisation (voir *ScintillationS* n° 54) des quarks dans le nucléon. On a appris que les quarks ne sont responsables que de la moitié du spin du nucléon. L'expérience Compass (n° 54 et le Pan ! sur le Becquerel de ce numéro) au Cern, à laquelle le Dapnia participe activement, vise à déterminer la contribution des gluons au spin du nucléon.

### Réactions «exclusives»

Mais ces mesures n'examinent pas le devenir du parton frappé. Pour sonder les nucléons plus en détail, on a besoin de mesures plus précises où l'on détecte, en plus de l'électron diffusé, les particules issues de la recombinaison des partons éjectés. Au lieu de regarder tous les électrons diffusés, on regarde exclusivement ceux dont la diffusion s'accompagne de l'éjection d'une particule précise, sous un angle et avec une énergie bien précis, le reste de «l'état final» étant entièrement déterminé. D'où l'appellation de réactions exclusives. Comme l'eût dit monsieur de la Palice, chacune des réactions exclusives est plus rare que l'ensemble de ces réactions. La précision se paie par une moindre probabilité d'observation. Pour mesurer ces réactions exclusives rares, il faut disposer d'une nouvelle génération de faisceaux très intenses (à très haut débit). C'est comme pour le microscope optique : quand on utilise le grossissement le plus élevé, il faut éclairer

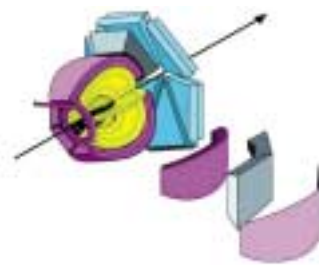


Figure 1 : Schéma du dispositif de détection du Cebaf Large Acceptance Spectrometer (Clas) comprenant une bobine toroidale (en jaune), des chambres à fils (en fushia), des calorimètres électromagnétiques (en bleu), des compteurs Tcherenkov (en gris) et enfin des scintillateurs pour la mesure du temps de vol (en lavande).

(1) C'est un peu comme ces formules mathématiques approchées dont on peut user lorsque certains paramètres sont très petits par rapport à d'autres.

beaucoup plus l'objet. Voilà pourquoi on a construit Cebaf dont le faisceau d'électrons de 6 GeV est mille fois plus intense que celui des machines concurrentes, depuis 1996. Les cinq premières années de moisson ont ramené quelques bijoux, comme la mesure avec une précision inégalée du facteur de forme du proton (n° 54) ou la confirmation de violation de la parité dans la diffusion d'électrons polarisés sur le proton, qui a permis de préciser la contribution du quark étrange (expérience Happex, n° 42).

Outre ces confirmations, grâce à des mesures dans des domaines d'énergie (ou plutôt de quantité de mouvement) jusqu'alors inexplorés, Cebaf a ouvert des domaines entièrement vierges, comme la photoproduction de mésons vecteurs «à grand angle» (Voir «Un résultat de Clas», n° 50).

### Photoproduction de mésons vecteurs

Les mésons, particules de masse intermédiaire entre celle des baryons (particules lourdes comme les nucléons) et les leptons (particules légères comme électrons, muons, neutrinos) sont constitués d'une paire quark-antiquark. Certains de ces mésons, les mésons vecteurs, ont certaines propriétés analogues à celles du photon.

Cette parenté fait qu'un photon peut subir une mutation temporaire en un méson vecteur. Ce phénomène purement quantique, soumis à la relation d'incertitude temps-énergie de Heisenberg, n'est pas sans rappeler les oscillations de neutrinos (voir *Scintillations* n° 18, 19, 22, 29, 33, 38) ou celles des kaons neutres (n° 48). Cette mutation très temporaire passe par un stade intermédiaire : la création d'une paire quark-antiquark. Dès que l'énergie d'un photon dépasse quelques GeV, le temps de vie de cette paire lui permet un parcours comparable à la taille d'un nucléon. D'où l'idée de bombarder des protons par un faisceau de photons de quelques GeV, en réglant convenablement le dispositif pour que la paire quark-antiquark passe le plus près possible d'un proton et qu'il se produise une interaction très localisée entre les quarks du nucléon et ceux de la paire avant qu'elle ne se combine en un méson vecteur que l'on pourra détecter. On dispose ainsi, sur une distance de l'ordre de la taille d'un nucléon, d'un véritable mini faisceau de paires quark-antiquark dont on peut étudier les interactions avec le nucléon. Cette étude sera d'autant plus fine que le volume d'interaction est petit.

Or, le volume d'interaction est inversement proportionnel à la quantité de mouvement transférée. Pour réduire le volume d'interaction, on détecte les mésons produits à «grand angle». C'est un peu comme au billard quand on tape «pleine bille» : les deux billes partent dans des directions très différentes, et lors du choc, une bille transfère à l'autre une grande quantité d'énergie et de quantité de mouvement. Le fait que le méson produit soit catapulté dans une direction très différente de celle du photon incident indique que le proton a été frappé de plein fouet, «avec un petit paramètre d'impact», disent les physiciens. La quantité de mouvement transférée lors du choc est alors assez élevée pour que le volume d'interaction soit plus petit que celui du proton. Ainsi, grâce à la précision que permet la réaction exclusive, (on sélectionne un «état final» bien précis) on est certain que tous les quarks et les gluons qui ont interagi se sont trouvés

au même moment dans ce minuscule volume. Ce type de processus extrêmement rare ne peut être étudié que par des accélérateurs de type Cebaf. On teste ainsi la structure du nucléon avec une finesse sans précédent.

L'un de ces mésons vecteurs, le méson est formé d'un quark étrange et d'un antiquark étrange (voir le tableau des particules n° 5, 19 ou 47)

Or le rôle de l'étrangeté dans le nucléon suscite une grande curiosité. Un moyen de préciser ce rôle est justement de choisir comme méson vecteur éjecté du nucléon le méson  $\phi$ . On étudie ainsi l'interaction d'une paire formée d'un quark et d'un antiquark étranges avec les quarks d'un nucléon par l'échange de deux gluons (figure 2).

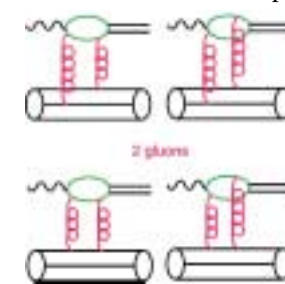


Figure 2 : Quatre «diagrammes» symbolisant les différents processus d'interaction entre la paire quark-antiquark (ovale vert) issue du photon (sinusoïde noire), paire qui se combine en un méson  $\phi$  (le double trait noir), et les quarks d'un nucléon (que représentent les deux ovales noirs reliés par les trois traits symbolisant chacun l'un des trois quarks du nucléon). Les tortillons rouges symbolisent les gluons qui véhiculent l'interaction de couleur. Le temps s'écoule de gauche à droite. Les quatre processus se distinguent par le nombre de quarks acteurs au sein du nucléon comme de la paire. De gauche à droite et de haut en bas : a) deux quarks ( $q_i$ ) du nucléon interagissent avec un quark ( $q_j$ ) de la paire ; b) deux ( $q_i$ ) interagissent avec deux ( $q_j$ ) ; c) un ( $q_i$ ) interagit avec un ( $q_j$ ) ; d) un ( $q_i$ ) interagit avec deux ( $q_j$ ).

où les deux gluons se couplent à deux quarks du proton. On est alors sensible à ce que les physiciens appellent les corrélations entre quarks dont ils ont établi un modèle théorique. Verdict de l'expérience : le modèle est en bon accord avec les résultats expérimentaux.

Autre retombée : les chercheurs sont capables de régler leur «microscope» de façon à observer l'échange des gluons entre des quarks distants de l'ordre d'un dixième du diamètre du nucléon. Sur ce bref parcours, les gluons n'ont pas le temps d'agir entre eux. Mais au delà de cette distance, un gluon perd son identité (on dit qu'il s'hadronise). Ces avatars font qu'on ne peut traiter la propagation d'un gluon comme s'il était seul. Il faut tenir compte de la présence éventuelle d'un cortège de paires quarks antiquarks. Or les calculs actuels les plus pointus de chromodynamique quantique (calculs QCD sur réseaux) sont capable de traiter ces mécanismes et de reproduire la propagation du gluon dans différentes conditions. Cette analyse montre que l'on peut isoler un constituant particulier du nucléon et d'en comparer les propriétés aux prévisions de la QCD, la théorie générale de la force de couleur.

La photoproduction de mésons à Clas est un exemple d'une nouvelle génération d'expériences que permettent les accélérateurs de type Cebaf. En choisissant le type de méson détecté, on détermine à l'avance le contenu partonique du photon incident (une paire quark étrange-antiquark étrange dans le cas de la photoproduction de mésons  $\phi$ ). On peut ainsi délabrynter d'une manière originale le rôle respectif des quarks et des gluons dans la structure et les propriétés du nucléon.

Jean-Marc Laget (SPhN).

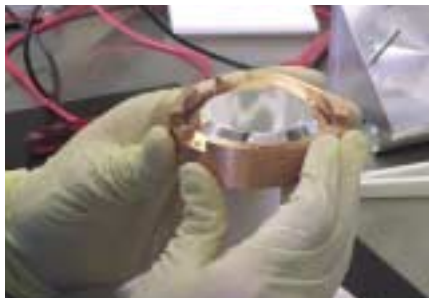
Avec le grain de sel de Joël Martin (SPhN et ScintillationS)

## Brèves... Brèves... Brèves... Brèves...

### Edelweiss traque les mauviettes

(De nouvelles indications sur la nature de la matière noire)

La matière visible ne représente que 1% de la masse de l'univers. Le reste est fait d'une matière «noire» (voir *ScintillationS* n° 16 et 43) dont la nature reste un mystère. Pour faire la lumière sur cette matière sombre, l'expérience française Edelweiss, fruit d'une collaboration CNRS/CEA (Dapnia et Drecam, voir n° 33) cherche de possibles composants de cette matière cachée, des particules lourdes interagissant faiblement, en anglais : weakly interacting massive particles, en abrégé : wimps. Détail amusant, cet acronyme est un vrai mot anglais qui signifie «mauviette». Ces wimps pourraient être des particules supersymétriques (voir n° 24) de particules existantes. Outre son intérêt cosmologique, la découverte de telles particules appuierait les théories de la super-



Vue d'un détecteur de 320 grammes de germanium, construit au Dapnia/Sédi, capable de rejeter plus de 99,9% du bruit de fond radioactif. Edelweiss a ainsi pu tester une première région de modèles de supersymétrie, avec la meilleure sensibilité mondiale.

symétrie, visant à l'unification des quatre forces fondamentales de la nature. Mais les wimps seraient encore plus furtives que les neutrinos. Edelweiss (Expérience pour détecter les wimps en site souterrain) est

un ensemble de bolomètres, détecteurs ultrasensibles fonctionnant à  $10^{-2}$  K (un centième de degrés au dessus du zéro absolu, soit  $-273,14^{\circ}$  Celsius<sup>1</sup>), capables de détecter la trace infime que pourrait laisser une wimp en la distinguant d'un «fond radioactif» rendu le plus ténu possible en enterrant le tout sous des kilomètres de roches. Les récentes mesures d'Edelweiss viennent d'infirmer un résultat italien proposant l'existence d'une wimp 60 fois plus massive que le proton. La sensibilité d'Edelweiss lui permet d'explorer pour la première fois des régions vierges où les modèles supersymétriques sont compatibles avec des résultats obtenus auprès d'accélérateurs. Une version prochaine cent fois plus sensible donne l'espoir d'en capturer enfin quelques spécimens.

Contact : Gabriel Chardin (SPP)  
01 69 08 24 25

### L'antimatière n'est pas le pur «négatif-miroir» de la matière

(NA48 mesure pour la première fois la violation directe de CP)

Une particule de matière a une jumelle d'antimatière, son antiparticule. Jumelle, pas clone : sa charge électrique a la même valeur mais change de signe. Mais aussi, «droite» et «gauche» sont inversées. L'antiparticule est comme le reflet de charge opposée de la particule dans un miroir. On a longtemps cru qu'à part ces différences, les deux jumelles avaient un comportement identique. Les physiciens parlaient de la symétrie C (comme conjugaison de

charge), de la symétrie P (comme parité), et de la combinaison de ces deux symétries en la symétrie CP. Le comportement présumé identique des jumelles était la conséquence du respect de cette symétrie CP. Or on a observé dès 1963-1964, en étudiant la propagation de kaons neutres, une différence subtile entre le kaon et l'antikaon. (voir *ScintillationS* n° 48). Les physiciens appellent cela la violation indirecte de CP.

L'expérience NA48, au Cern (voir n° 7,

13, 22 et 48) vient d'observer la violation directe en établissant avec une précision inégalée que le méson  $K^0$  se désintègre en deux pions à une cadence très légèrement différente de celle de son antiparticule.

Cette dissymétrie de comportement pourrait en partie expliquer la disparition de l'antimatière.

Contact : Edoardo Mazzucato (SPP)  
01 69 08 44 76

### L'œil de Micromegas scrute l'invisible

Les axions sont d'hypothétiques particules légères et neutres qui pourraient expliquer pourquoi, contrairement à l'interaction faible, l'interaction forte ne viole pas la symétrie CP<sup>2</sup>. Ces particules, qui nous échappent encore tant elles interagissent faiblement avec la matière, seraient de possibles constituants de la matière obscure de l'Univers<sup>3</sup>.

Un dispositif expérimental nouveau : le Cern Axion Solar Telescope (Cast, voir schéma) va peut-être prouver leur existence en détectant d'éventuels axions produits au cœur du Soleil.

Le principe consiste à orienter vers le Soleil un aimant du futur LHC (champ magnétique : 9,4 teslas<sup>4</sup>, longueur : 10 mètres). Si le Soleil émet des axions, ces



Schéma du dispositif

(1) A cette température extrêmement basse, le bruit thermique est si faible qu'il permet d'entendre le passage d'une seule wimp. Si elle rentre en collision avec un noyau du détecteur, la wimp engendre une élévation de température d'environ un millionième de degré, que l'on sait détecter.

(2) Voir *ScintillationS* n° 42 et 48, ainsi que la «brève» sur NA48, plus haut.

(3) En concurrence avec les «wimps». Voir *ScintillationS* n° 16, 31 et 38, ainsi que la «brève» sur Edelweiss, plus haut.

(4) C'est un champ énorme, environ 200 000 fois le champ magnétique terrestre. Laissez vos montres et vos clés dans votre bureau, et ne portez pas trop de breloques en fer !

particules interagissent sur le champ magnétique de l'aimant qui, comme tout «champ de force», est quantifié en sortes de grains, en quanta. Ces quanta transmettent à distance la force qui s'exerce au sein de ce champ, l'interaction électromagnétique, l'une des quatre forces fondamentales de la nature, véhiculée par des photons.

Ces photons messagers n'éclairent pas. Ils sont en fait dans un état tout à fait particulier : on dit que ce sont des photons virtuels. Pour parler très imagé, leur statut de messager leur donne une sorte de fil à la patte qui les cantonne dans ce rôle et leur interdit de s'exprimer autrement. Or si un axion parvient dans un tel champ magnétique, il peut se «coupler» avec un photon

virtuel du champ. Le petit grain d'énergie que porte l'axion peut suffire à casser le fil à la patte du photon, qui devient alors réel et détectable. Des calculs théoriques prévoient que l'énergie des photons ainsi libérés se situe vers 3 500 électronvolts (3,5 keV).

Pour les «voir», il faut un détecteur très sensible à ces photons, et très peu sensible à ces rayons cosmiques ainsi qu'à la radioactivité naturelle ou artificielle. C'est le cas de Micromegas<sup>5</sup> qui, dans le domaine d'énergie autour de 3,5 keV, rejette cinq fois mieux le «bruit de fond» que ses prédécesseurs. Cette performance devrait être améliorée dans le futur proche et dans une nouvelle configuration récemment testée à l'institut Max Planck à Munich dans l'ap-

pareillage Panther où un faisceau parallèle de photons X est focalisé par un dispositif développé pour l'astrophysique spatiale. Le couple Micromegas-miroir focalisant s'est avéré d'une sensibilité sans précédent.

Test très encourageant. Micromegas a détecté efficacement les rayons X et a bien «cartographié<sup>6</sup>» la tache du faisceau.

L'ensemble va être transporté au Cern et installé dans sa position définitive. Les premières expériences pourraient débiter dans quelques mois.

Devant ces résultats prometteurs, on espère qu'il y aura de l'axion !

*Ioannis Giomataris (Sédi)*

## La résurrection de RMN 530

RMN pour résonance magnétique nucléaire, 530 pour le diamètre intérieur, en millimètres, de ce solénoïde supraconducteur conçu et construit, au début des années 80, par le Stipe du DPhPE, l'un des ancêtres des services techniques du Dapnia.

La RMN est une technique qui permet de détecter les atomes d'hydrogène en les faisant tourner comme des toupies autour de l'axe d'un puissant champ magnétique et en mesurant le rayonnement émis par l'aimantation qui en résulte. Elle permet de découvrir et de localiser des tumeurs<sup>7</sup>, même internes. 530 mm, c'est en gros la carrure d'un patient qu'on enfourne dans l'aimant.

Cet aimant était capable de produire, dans un volume d'environ 500 cm<sup>3</sup>, un champ de 2 teslas homogène au millionième près, et au cent millionième près sur un volume de 1 cm<sup>3</sup>, ce que requiert la RMN. Il a rendu de bons et loyaux services à l'hôpital d'Orsay (91) pendant une dizaine d'années (voir *ScintillationS* n° 21), puis il a été mis à la réforme, dans le bâtiment appelé «Niece» en jargon saclaysien.

Après moult hésitations, on a décidé de réutiliser cet aimant en vue de différentes R&D :

- test d'une TPC (chambre à projection



Denis Thomas (SACM) ressuscitant froidement RMN530

temporelle) d'un nouveau type, lue par des chambres Micromegas, pour un futur grand collisionneur linéaire

- étude de l'effet d'un champ magnétique sur des chambres Micromegas
- étude du vieillissement des sondes d'alignement d'Atlas
- test d'un nouveau type de quadripôle supraconducteur destiné à Tesla (voir plus bas).

Et c'est ainsi que, le 28 mars dernier, sous l'œil attentif de Philippe Chesny, Michel Humeau, Lucien Kulbicki, Denis Thomas (photo de dos), les 4 du SACM, et

de Jacques Fabre (du SIS), cet aimant a repris vie. Le vide a été poussé à 10<sup>-6</sup> torr (environ un milliardième de la pression atmosphérique). En quelques jours, la température est descendue à 4 kelvins (-269°C) et, en quelques heures, le champ a atteint sa valeur nominale de 2 teslas.

RMN 530 est donc prêt pour une deuxième vie : après la médecine, la recherche en physique ! On lui souhaite de grandes découvertes.

*Paul Colas (SPP),  
François Kircher (SACM)*

(5) Voir *ScintillationS* n° 38

(6) Une carte de géographie physique met des couleurs en fonction de l'altitude. Micromegas quadrille la tache du faisceau X en tous petits secteurs et donne pour chacun l'énergie moyenne des photons qui y sont tombés.

(7) Les cellules vivantes sont surtout constituées d'eau, dont l'hydrogène est le plus sensible au champ magnétique. Or, la concentration et l'environnement chimique de cette eau, donc de son hydrogène, sont différents dans une cellule saine et une cellule tumorale. Les deux cellules ne réagissent pas au champ magnétique de la même façon. On distingue ainsi les zones tumorales des zones indemnes.

L'appellation contrôlée de la RMN à usage médical est «IRM» : Imagerie par résonance magnétique.

## Ça baigne pour Tesla !

(Un champ accélérateur de 40 MV/m obtenu sans électrochimie)

Sauf bouleversement scientifique majeur, les grands accélérateurs du futur seront supraconducteurs (voir *ScintillationS* n° 3, 17, 34, 39) ou ne seront pas, sous peine de coûts prohibitifs. Pour réduire encore l'addition, on cherche à réduire les dimensions des machines en augmentant l'énergie communiquée aux particules par unité de longueur. Cela s'obtient en augmentant le gradient de champ électrique. Au SACM, on s'y connaît autant en froid (il faut  $-269^{\circ}\text{C}$  pour fonctionner confortablement en «supra») qu'en champs magnétiques et électriques. Et aussi en chimie des surfaces. C'est en traitant de mieux en mieux l'intérieur des cavités accélératrices en niobium que nos virtuoses cryogéniaux ont établi des records du monde successifs de gradient de champ accélérateur. Leur récente meilleure performance : 42 millions de volts par mètre (MV/m) d'accélération pour une cavité prototype à une cellule (sorte de boîte dans laquelle

l'onde électrique qui pousse les particules est considérablement amplifiée), soit un gain d'un facteur cinq en dix ans. Cela augmente l'énergie finale des accélérateurs ou bien réduit en gros du même facteur



Cavité «9 cellules» pour Tesla

leur longueur. Ainsi, à partir d'un projet initial pour le collisionneur linéaire électrons-positons Tesla : 33 km de long et 2 faisceaux de 250 milliards d'électrons-volt (GeV) en collision frontale (voir *ScintillationS* n° 23 et 34) le gain de gradient permet d'envisager, sur la même longueur, deux faisceaux de 400 GeV.

Et voilà que les équipes du SACM viennent de trouver un moyen supplémentaire

de faire des économies : ils ont réussi à obtenir pratiquement les mêmes gradients de champ accélérateur par un traitement de surface beaucoup moins onéreux : un simple bain chimique des cavités. Une cavité monocellule ainsi traitée vient d'atteindre un gradient de 40 MV/m, l'apanage jusqu'alors des cavités

électropolies et l'on espère, avec une cavité de type «Tesla» (photo), une «9 cellules» moins propice aux records, atteindre 35 MV/m après une simple trempette chimique.

Félicitons nos maîtres-baigneurs pour cette brillante première !

Contact : Bernard Visentin (SACM)  
01 69 08 73 25

### Pour en savoir plus...

Vous pouvez retrouver toutes ces belles choses avec moult précisions et développements, sur le site du Dapnia : [http://www-dapnia cea.fr/Faits\\_marquants/index.php](http://www-dapnia cea.fr/Faits_marquants/index.php)

Vous y trouverez d'autres faits marquants tout aussi dignes d'intérêt que ceux qui précèdent, et que seul le manque de place nous empêche de détailler.

Signalons aussi «Les galaxies sont-elles timides?» sur <http://www-dapnia cea.fr/Sap/> Une synthèse des récentes découvertes sur les galaxies et les pouponnières d'étoiles paraîtra dans un prochain numéro de *ScintillationS* sous la plume de Marc Sauvage (SAp).

## Faits marquants

### Une fête soutenue (Le Dapnia a dix ans)

### Allez les jaunes <sup>1</sup>

Le 25 juin 2002 a vu arriver six équipes motivées et concentrées sur les deux terrains improvisés de l'Orme des Merisiers pour disputer le tournoi de football du Dapnia. Il faisait beau et chaud<sup>2</sup>...

Des défis inter services avaient été lancés, mais certains provocateurs ont regretté d'avoir trop réveillé leurs adversaires.

Quatorze jours plus tôt, la France avait quitté prématurément la coupe du monde, par manque d'énergie dans les attaques, de fluidité dans les actions, d'harmonie dans les échanges, et de chance dans les tirs. Lors de notre tournoi, des équipes ont connu ce manque de réussite, perdant progressivement confiance devant les buts ; d'autres ont saisi l'occasion et le ballon d'un coup de pied heureux, propulsant la balle entre les poteaux et leur équipe en demi-finale.

Certains joueurs ont cru pouvoir mar-



Les vainqueurs

(1) Et non : «Allo !, les gènes !» Valérie Lapoux, auteur de cet écho n'est pas coupable du titre, ni d'éventuelles NDLR footballistico-subversives du genre «Foot rugueux de Bleus maniaques qui manquent avec Santini»...

(2) Celle-là, Valérie l'aime bien.

quer au terme de parcours improbables, et hasardé des tirs comme vu à la télévision. En vain. D'autres marquèrent à leur première tentative, décourageant d'emblée leurs adversaires.

Même les théoriciens pourtant équipés d'effet Magnus, équations de Bernouilli et autre force de viscosité furent incapables d'expliquer certaines trajectoires incurvées et surprenantes menant miraculeusement le ballon au fond des filets – encore virtuels – de nos magnifiques buts en PVC, toujours intacts après dix matches. Conclusion des experts : certains phénomènes échappent à notre compréhension. Lors de la fête du Dapnia, des tirs fantastiques ont montré que la tête n'expliquait pas tout ce que le pied maîtrise.

Dès lors, la force et la confiance habitèrent les joueurs victorieux, tandis qu'un mauvais karma accompagnait des équipes



La foule des supporters

qui n'ont pas démerité, mais joué un ton au-dessous de leurs capacités : surentraînement, fatigue, usure de fin de saison, défaut de stratégie, caprices du vent, décalage horaire, pression des sponsors ?

On notera que l'équipe du SIS-SDA, qui

a remporté la première édition de notre coupe de l'Orme, avait pris soin de revêtir un maillot estampillé du logo du service. Et ces joueurs portaient le jaune vif des Brésiliens. Les autres, SAp+SPP, SACM, Sédi, SPhN, avaient adopté leur couleur habituelle déjà portée lors de matches amicaux (bleu, noir-gris, chasubles rouges, blanc, fuschia-rouge).

Ce tournoi fut une belle journée de début d'été, festive et conviviale. Tous les joueurs de l'édition 2002 appellent le prochain tournoi de leurs vœux : il serait dommage de laisser inemployés

la belle pelouse de l'Orme et les poteaux de buts.

Tous à nos crampons !

Valérie Lapoux (SPhN)

## Les lauriers du DAPNIA

Cette année est faste au «Sédi» dont deux des membres se voient décerner un prix.

Ioannis Giomataris reçoit le prix Jaffé 2002 de l'Académie des Sciences comme deus ex machina de Micromegas (voir *ScintillationS* n° 38, 41, 54, 55). L'illustre phalange académicienne a souligné que ce détecteur adapté aux énergies et aux intensités des nouvelles générations d'accélérateurs était, entre autres, autant promis à la recherche de particules rares comme l'axion (voir ce

numéro) qu'à d'importantes applications dans les domaines de la biologie et de la médecine. Bravo Ioannis pour ce prix de 11 500 euros ! Quand l'arroses-tu ?

Éric Delagnes, pour sa part, est lauréat du deuxième prix ex-aequo d'innovation technologique 2002 de la DSM pour avoir développé, avec Dominique Breton du LAL (CNRS/IN2P3), un circuit microélectronique intégrant une mémoire analogique rapide (plus d'un milliard d'échantillonnages par seconde) et précise, réalisé pour le compte d'une

PME spécialisée en instrumentation. L'utilisation de ce circuit permet de réduire d'un bon ordre de grandeur les coûts de production d'appareils de mesure comme les oscilloscopes, et de réduire aussi leurs dimensions et leur consommation. Cette réalisation, qui a nécessité la mise en œuvre d'idées originales, aura de multiples applications, parmi lesquelles on peut citer des études sur le laser Mégajoule. Elle a débouché sur le dépôt d'un brevet. Félicitations, Éric ! Quand fêtes-tu ça ?

## DAPNIA/DIR a pris la direction du CERN

Il ne s'agit pas d'une prise de pouvoir, mais d'une escapade de l'équipe Dir désireuse de changer d'air du côté des gros instruments du futur LHC, sous l'impulsion de Michel Spiro.

Maria-Luisa Turluer, Jean Erwein (les deux du SPP) Emile Pasquetto (du Sédi), et les équipes du Cern nous ont concocté une visite des «manips» : Atlas, CMS, Compass et NA48, les 23 et 24 mai.

Quelle découverte ! Jamais nous n'au-

rions imaginé que derrière des appellations un peu abstraites pour nous se cachaient ces énormes bobines, ces cryostats, ces aimants, ces écheveaux de fils et de câbles. Que pour comprendre le mécanisme des forces qui s'exercent sur les infimes parties de la matière, il fallait des instruments aussi énormes et des cavernes aussi profondes !

Merci à tous d'avoir passé du temps à nous expliquer le comment du pourquoi.

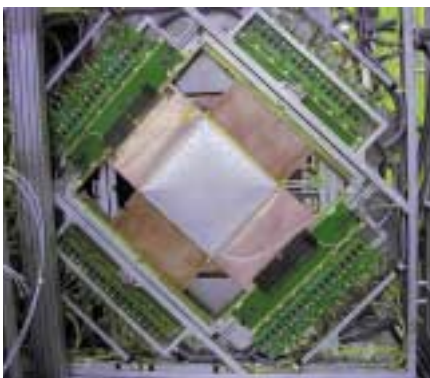
Nous n'avons pas la prétention d'avoir tout compris, mais nous sommes heureux d'avoir apporté du concret à notre travail de tous les jours.

Nous vous souhaitons à tous de réussir dans ces belles aventures au sein de l'infiniment petit et espérons partager à nouveau l'enthousiasme qui vous anime.

La Dir du Dapnia

## Pan ! sur le Becquerel

Le porte-parole, qui est presbyte (ce n'est pas une NDLR), s'est emmêlé dans les photos de différentes versions de Micromégas, confondant une chambre destinée à Cast (voir le présent numéro) avec une chambre destinée à Compass (voir le n° 54). Voici la photo de la deuxième chambre qui aurait dû figurer dans le précédent numéro à la place de la première. C'est la faute à Micromégas, il a trop d'applications possibles... Le porte-parole présente néanmoins ses vives excuses aux deux appareillages et à leurs géniteurs ainsi permutés par cette NDLR de chambres plus ou moins menues.



micromeg-compass

## Va et vient

**Mars 2002** – Pour mémoire (voir le n° 54), Pierre-Yves Chaffard est nommé chef du SIS. Adrien Forgeas (SACM) est muté au DSM/DRFMC. Cédric Gourdin (SACM) part à la DEN. Pascal Gros (SACM) est détaché à Soleil. Bonne chance à tous.

**Avril 2002** – Christian Chauvin (SIS) s'en va à la DSV. Alain Marcel passe du SDA au Sédi. Stéphane Schanne parcourt une centaine de femtoparsecs du Sédi vers le SAp. Stéphane Pacary (SIS) démissionne. Gérard Audit (SPHN) s'arrache à l'affection de ses collègues et amis par une retraite bien méritée. Gégé, reviens nous voir et nous raconter les bonnes histoires dont tu as le secret...

**Mai 2002** – Pour mémoire, François Darnieaud (ancien chef du SEI) part faire bénéficier la DEN de ses vastes compétences. Laurent Laigo (Sédi) rejoint la

DAM. Bijan Saghaï fait les 400 mètres qui séparent le SPHN de Dapnia/Dir. Il les fait aussi dans l'autre sens pour notre plus grande joie. Jean Fontignie est recruté au SAp. Christian Noël (SACM) s'investit dans une retraite qu'on lui souhaite pleine de joies épanouissantes. Tous nos vœux de réussite à chacun.

**Juin 2002** – Pascale Deck (Sédi) s'en va rayonner à Soleil. Louis Cadéris nous vient de l'UGSC et rejoint le SAp. Trois recrutements : Sylviane Drevet, à la Dir du Dapnia, Frédéric Deliot, au SPP et Michaël Massinger, au SIS. Deux départs en retraite : Christian Barranger (SIS) et René Jouannis (Sédi). Selon le cas, bienvenue, ou bonne continuation.

**Juillet 2002** – Mireille Delafaix part à la retraite. Bonne continuation, Mireille, et écoute bien de la musique ! Dominique Eppelle (SIS) et Jean Le Pennec (SAp) passent Annexe 1. Toutes nos félicitations ! Patrick Bargueden est recruté au SIS, et Thierry Vacher est embauché au SACM. Bienvenue à tous deux.

**Août 2002** – Josseline Gavilan (Dir), Jean-François Cosquer (SAp), Jean-Claude Lugol (Sédi) et Jacques Martin (SIS) partent en retraite. Valérie Poyeton est recrutée à la DIR, Olivier Dubois et Nicolas Pailley, au Sédi, Jérôme Allard et Gildas Thomas, au SIS. Philippe Gommard est muté de la DRT au Sédi, Charles Lyraud va du SAp au DRFC Cadarache et Françoise Louberre quitte le CEA.

## Regrets

René Beurtey nous a quitté le 7 juin dernier. Il avait 69 ans.

Son nom est indissolublement lié au cyclotron de Saclay et au synchrotron

Saturne-2. Sa carrière s'est largement déroulée auprès de ces deux machines.

Il les a marquées de ses idées, de sa personnalité, de sa perception globale de l'expérience, dont il considérait toutes les étapes, de la source au détecteur, comme importantes et inséparables.

Inventif, perspicace, entraînant, visionnaire, René Beurtey avait autant d'aptitude à résoudre des problèmes qu'à en poser, à collaborer activement avec les ingénieurs et les techniciens qu'à concevoir une expérience astucieuse.

Il avait un sujet de prédilection : les faisceaux polarisés et leurs applications en physique nucléaire. Sa thèse portait sur le principe d'une source originale de deutons polarisés et sa réalisation au cyclotron du Service de moyenne énergie du Département de physique nucléaire de Saclay. C'était l'une des toutes premières au monde. Les faisceaux de protons polarisés seront ensuite l'objet et l'outil d'un grand nombre de ses travaux. Dans ce qui le passionnait, il y avait toujours des angles, des vecteurs qui exécutaient des mouvements compliqués, des spins qui tournaient.

Il aimait parler et écrire. Il parlait beaucoup, d'une voix un peu théâtrale, au tableau, dans les couloirs, assis sur un bureau. Il a laissé d'innombrables notes, claires, fortes, débordantes d'idées, imprégnées de cette méthode rigoureuse apprise à l'École polytechnique.

Il aimait la vie, les grands vins, le bridge, les cueillettes de champignons tôt le matin, sur la butte de Saturne avant tout le monde. Il a apporté de la joie de vivre à tous ceux qui l'ont côtoyé. Son amitié et sa bonne humeur nous manquent terriblement aujourd'hui.

*Alain Boudard, Michel Garçon,  
Madeleine Soyeur (SPHN)*

CEA - DIRECTION DES SCIENCES DE LA MATIÈRE

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION : Michel SPIRO

COMITÉ ÉDITORIAL : Joël MARTIN (porte-parole), Claire ANTOINE, Joël BELTRAMELLI, François BUGEON, Rémi CHIPAUX, Philippe CONVERT, Françoise GOUGNAUD, Christian GOUFFES, Christophe MAYRI, Xavier-François NAVICK, Yves SACQUIN, Jean-Luc SIDA, Angèle SÉNÉ, Didier VILANOVA

MAQUETTE : Christine MARTEAU

MISE EN PAGE : GRAPHOTEC

CONTACT : Joël MARTIN - Tél. 01 69 08 73 88 - Fax : 01 69 08 75 84 - E.mail : jmartin@dapnia.cea.fr

<http://www-dapnia.cea.fr/ScintillationS/>

Dépôt légal octobre 2002

5!