

## HERA ET LA QUÊTE DU GLUON

**Pour sonder le cœur du proton,** on peut utiliser un super-microscope dont la sonde n'est pas de la lumière mais un faisceau de *leptons* (\*) comme l'électron, le muon ou le neutrino. Dans les premières expériences de ce type, on bombardait d'électrons une cible de protons (sous forme d'hydrogène liquide). La mesure de l'énergie et de l'angle des électrons diffusés permettait de reconstituer l'image du proton « vue » par les électrons.

En 1967, à Stanford, en Californie, une expérience montre pour la première fois que la charge électrique du proton n'est pas répartie uniformément au sein du proton, mais divisée en un certain nombre de sources ponctuelles appelées *quarks* (\*). La sonde était assez fine (un faisceau d'électrons de 20 GeV) pour qu'un électron diffuse sur un seul quark. En mesurant la fraction d'énergie du proton portée par ce quark, on détermina que les quarks ne se partagent qu'environ la moitié de l'impulsion (produit de la masse et de la vitesse) du proton cible, l'autre moitié est portée par les *gluons*.

**Les gluons sont les particules que s'échangent les quarks. Elles portent une charge de couleur, qui est à la force d'attraction entre quarks (ou interaction forte) ce que la charge électrique est à la force électromagnétique. Le parallélisme est loin d'être complet : il existe deux charges électriques, + ou -, et trois couleurs par exemple bleu, jaune et rouge. Autre différence : le photon qui véhicule la force électromagnétique ne porte pas de charge électrique, tandis que le gluon, vecteur de l'interaction forte, est porteur de couleur. Il peut donc interagir avec d'autres gluons. On observe en outre que l'intensité de la force électromagnétique décroît quand la distance d'interaction augmente, alors que la force d'attraction (on dit aussi « le couplage ») entre deux quarks très proches est très faible — c'est la**

**« liberté asymptotique » — et devient extrêmement forte lorsque les quarks s'éloignent. Ils ne peuvent donc s'éloigner bien loin les uns des autres et restent groupés à l'intérieur de leurs hadrons. C'est le confinement. Comment, à partir des observations, remonter au mécanisme d'interaction des charges de couleur, tel est l'objet des recherches théoriques et expérimentales**



Photo 1 : l'équipe de H1, l'un des grands détecteurs d'HERA.

Dans ce numéro, on présente « l'énigme du gluon » en indiquant quelques propriétés de cette particule, invisible ciment de la matière. Puis on décrira dans le prochain numéro, comment traquer les gluons au cœur du proton que l'on sonde à l'aide d'une sorte de gigantesque microscope électronique : le collisionneur électrons-protons « HERA »

**Le gluon, particule fondamentale ... et néanmoins énigmatique.**

Le gluon, est une particule fondamentale au même titre que le photon,

les bosons Z et W<sup>±</sup>, et le graviton (\*). Il est le « vecteur » (ou messager) de l'une des quatre interactions fondamentales, l'« interaction forte » à qui l'on attribue en particulier la cohésion et la structure du noyau de l'atome. Cette interaction est aussi responsable des propriétés des particules qui lui sont soumises, les *hadrons* : protons, neutron, mésons etc., telles qu'on les observe au sein du noyau ou dans les collisions entre particules.

Comme tout vecteur d'une interaction fondamentale, le gluon est ambivalent : il est à la fois particule *échangée* lors de l'interaction et particule *produite* dans les réactions élémentaires. Ainsi, une interaction élémentaire entre quarks se décrit par l'échange de gluons. Et des gluons sont produits (sous forme de « jets » de hadrons) dans des réactions avec interaction forte.

Or, le gluon, comme d'ailleurs à des titres divers ses partenaires porteurs des autres interactions, a beaucoup de réticence à dévoiler tous ses mystères. Le photon a donné lieu à un long débat historique entre « onde » et « corpuscule ». Les bosons Z et W n'ont été découverts qu'en 1983 et le graviton nous échappe encore. Le gluon, lui, est une particule qui n'existe qu'au moment et dans le lieu de l'interaction. Ou alors, il « s'habille »

de hadrons lorsqu'il est produit dans un jet. On ne peut donc l'observer isolément.

***Quarks et gluons ne sont libres que lorsqu'ils sont enfermés !***

Cette situation contradictoire est une caractéristique profonde de l'interaction forte ; en somme, le gluon est l'Arlésienne qui peut nous donner la clé du sanctuaire de l'interaction forte : le confinement.

\*\*\*

(\*) - Voir l'article de Brigitte Bloch sur le LEP dans le n° 26, ainsi que le tableau des particules dans les n° 3 ou 19.

Bien qu'inaccessible isolément, le gluon a déjà livré certains de ses mystères. On en connaît quelques propriétés. Propriétés « statiques » : *les nombres quantiques* ( voir le « Comment ça marche » page 3) du gluon, et propriétés « dynamiques » du gluon lorsque des quarks se l'échangent.

### a) - Les nombres quantiques du gluon

Un quark possède un nombre quantique de couleur : bleu, jaune ou rouge qui le caractérise. Lorsque, par exemple, un quark rouge et un quark jaune interagissent, ils échangent de la couleur par l'intermédiaire d'un gluon. Ce gluon annule le rouge du premier quark et lui donne du jaune. Autrement dit, le gluon transfère au quark initialement rouge une combinaison d'antirouge et de jaune. Le quark impliqué perd son rouge et passe au jaune. Le gluon responsable est jaune-antirouge :  $\bar{J}R$ . On peut vérifier facilement qu'il existe, pour trois couleurs, neuf combinaisons couleur-anticouleur. Cependant, on doit soustraire la combinaison ( $BB + \bar{J}\bar{J} + RR$ ) qui rend un gluon incolore, donc inapte à transmettre de la couleur.

Huit combinaisons, donc. Les physiciens parlent d'un « octet de couleur ». Reliée à des propriétés d'invariance et de symétrie, cette propriété d'octet de couleur donne au gluon son caractère de vecteur de l'interaction de couleur car elle lui confère la palette complète des couleurs et des anticouleurs. Le gluon est un caméléon qui s'adapte à la couleur des objets sur lesquels il se pose.

À part ce nombre quantique de couleur, le gluon a, comme toutes les autres particules élémentaires, les nombres quantiques qui caractérisent son mouvement dans l'espace et le temps : sa masse et son spin. Les propriétés d'invariance les fixent irrévocablement : le gluon est une particule de masse nulle et de spin égal à 1. Exactement comme le photon. Ce qui pose une énigme majeure. Toute particule de masse nulle se propage à la vitesse de la lumière et est a priori responsable d'interactions à grandes distances. C'est le cas du photon avec la force électromagnétique et du graviton avec la force gravitationnelle, qui portent jusqu'àux infinis cosmiques. Mais le rayon d'action de la force de couleur c'est grosso modo la

taille du hadron. En gros, 1 fermi ( $10^{-15}$  mètre). Au photon les grands espaces, au gluon sa minuscule cellule hadronique! Pourquoi ? Cette question nous amène à nous pencher sur les propriétés dynamiques du gluon.

### b) - L'interaction quantique des quarks et des gluons.

Lorsqu'un électron, porteur d'une charge électrique, se meut, il rayonne en général des photons. De même, un quark porteur de couleur rayonne des gluons dans son mouvement.

A chaque interaction, on associe une grandeur qui reflète l'intensité avec laquelle une particule soumise à l'interaction la subit ou l'exerce : la « constante de couplage ». On associe ainsi à l'interaction électron-photon la constante de couplage électromagnétique  $\alpha_{e.m.}$ . De même est associée aux interactions quark-gluon la constante de couplage de couleur  $\alpha_c$ .

Là s'arrête l'analogie. En effet,  $\alpha_{e.m.}$  augmente faiblement alors que  $\alpha_c$  diminue quand croît l'énergie de la sonde d'observation. Et surtout, les deux « constantes » ont des valeurs très différentes. Pour fixer les idées, avec une sonde de 10 GeV, on trou-

ve que  $\alpha_c$  est égale à une vingtaine de fois  $\alpha_{e.m.}$  (respectivement 0,158 et 1/137), alors qu'à l'énergie de production du  $Z^0$  (83 GeV), le rapport est d'environ 15 (0,117 et 1/128).

### c) - Vers la «liberté asymptotique».

Autre différence fondamentale : contrairement aux photons qui ne se couplent pas entre eux car ils ne portent pas de charge électrique, les gluons, porteurs de cette charge « chromoélectrique » qu'est la couleur se couplent entre eux. Le nom de *gluon* est bien adapté à cette propriété puisque ces particules peuvent se coller.

Cet « auto-couplage » des gluons est vraisemblablement la clé de l'interaction forte et du confinement. Il a pour conséquence directe le fait que les quarks et les gluons sont d'autant plus fortement liés qu'ils sont éloignés. C'est comme s'ils étaient attachés par des élastiques. Ils ne sont libres de leurs liens que lorsqu'ils sont les uns sur les autres. On appelle cette propriété fondamentale la « *liberté asymptotique à courte distance* ». Ces vingt dernières années ont été marquées par de nombreuses indications expérimentales de cette liberté asymptotique, au point que (presque)



Photo. 2 : Une vue du tunnel du collisionneur Héra (6,3 km de tour). On distingue les deux anneaux superposés : les protons tournent dans celui du haut (en cours de montage), et les électrons dans celui du bas, en sens inverse.

personne ne doute de cette remarquable propriété prédite par la théorie. On entrevoit alors pourquoi quarks et gluons se pressent à l'intérieur du hadron dans une zone de *couplage faible* extrêmement ténue.

Cependant, le mystère demeure, il est même avivé par la découverte de la liberté asymptotique : comment « voir » un quark ou un gluon libre avec des détecteurs qui, de par leur taille, sont forcément distants de bien plus d'un fermi de l'interaction ? Lorsque quarks et gluons parviennent au détecteur, ils sont évidemment sortis de leur zone de couplage faible et se sont agglomérés en hadrons.

**Pour voir malgré tout des gluons, l'expérimentateur doit ménager une zone d'interaction dont la taille approche celle de la zone de couplage faible des gluons, leur minuscule boule de liberté. Il lui faut donc une sonde extrêmement pointue, donc énergétique. Mais il ne doit pas se conduire en éléphant dans un magasin**

**de porcelaine : on accède mieux aux couplages faibles avec une sonde qui se couple faiblement à l'objet étudié et d'une manière parfaitement connue. De plus, il vaut mieux étudier d'abord les phénomènes les plus simples : un projectile sans structure (un lepton, par exemple) est préférable à un projectile composite et la « cible » idéale est celle qui ne contient qu'une sorte de hadrons.**

**Voilà pourquoi on a construit HERA.** Cette machine répond au « cahier des charges » ci dessus : un faisceau d'électrons frappe des protons et l'énergie est telle que la résolution spatiale est de l'ordre d'un millième de fermi ( $10^{-18}$  mètre), nécessaire pour révéler la structure fine en quarks et gluons du proton.

Joël Feltesse (DAPNIA/SPP) et Robi Peschanski (SPHT)

Avec quelques grains de sel de Joël Martin (« ScintillationS »), entre autres les inserts en petits caractères gras.

Pour en savoir plus, on lira avec profit le chapitre « L'exploration de la matière avec des sondes ponctuelles », pages 29 à 36 du rapport de l'ex-DPhPE 1986-1990. Également, la synthèse de Gilles Cohen-Tannoudji au paragraphe « A l'intérieur du proton », pages 18 et 19 de la brochure de la DSM, récemment distribuée.

**HERA est une star de cinéma. Un film d'André Claudet (SGPI), texte de Marie-Antoinette Jabiol, (SPP), présente HERA et décortique H1 par de savantes animations. Un autre film « Partie d'atomes » de Jean-Marc Serelle, de la Cité des Sciences de la Villette, parle de la fructueuse émulation entre H1 et ZEUS, autre détecteur d'HERA. Les deux films sont disponibles en cassette au laboratoire photo-vidéo, Bât. 198D, tél. 2.48 92.**

Dans le prochain numéro : HERA, ses détecteurs, ses découvertes sur quarks et gluons.

## COMMENT ÇA MARCHE

### Les nombres quantiques

Si vous regardez à la loupe une photo de « ScintillationS », vous voyez une mosaïque de petits points. De même, une image sur la console de votre ordinateur est faite de *pixels*. Ce qui paraît continu à l'œil nu peut très bien avoir une structure discontinue. C'est ainsi que les Grecs Leucippe et Démocrite (*Leucippe n'était ni Démocrite ni Hippocrate, NDLR*) eurent voici plus de 2000 ans l'intuition que tout bloc de matière aussi lisse soit-il était fait de minuscules grains : les atomes. Il faudra attendre le vingtième siècle pour confirmer leur existence. Pas des Grecs, des atomes.

On découvrit alors que l'atome est un minisystème solaire : des électrons tournent autour d'un noyau composé de protons et de neutrons. On mit ainsi en évidence non seulement la discontinuité de la matière, disons plutôt sa *granularité*, mais aussi celle de l'électricité : chaque électron porte une charge électrique, la même pour tous, véritable grain élémentaire d'électricité. Chaque proton porte la même charge élémentaire. Mais les deux électricités sont différentes. Par convention, celle du proton fut dite *positive*, celle de l'électron, *negative* (un atome possède autant de protons que d'électrons ; les charges s'annulent et le système est globalement neutre).

La charge électrique d'un objet ne

peut varier que par quantités multiples de cette quantité élémentaire qui vaut  $1,6 \cdot 10^{-19}$  coulomb et que les physiciens désignent par la lettre « *e* ». Et ils remplacent « quantité élémentaire » par « *quantum* » (au pluriel : *quanta*). Ainsi, le proton porte un quantum de charge égal à  $+e$  et celui de l'électron est  $-e$ . Chacune des ces particules porte 1 charge élémentaire, positive pour le premier, négative pour le second.

**On dit du proton que son nombre quantique de charge est  $+1$ . Pour l'électron, c'est  $-1$ .**

Chaque particule possède ainsi un ensemble de nombres quantiques qui la catalogue sans ambiguïté en chiffrant ses caractéristiques intrinsèques : charge, spin, étrangeté, charme, parité etc., toutes grandeurs physiques qui varient de façon discontinue par « *sauts quantiques* ».

\*\*\*

Ces nombres quantiques intrinsèques reflètent ce qu'on appelle des propriétés statiques de la particule, lorsqu'elle est isolée. Lorsqu'elle interagit avec d'autres dans une collision ou dans un système physique tel qu'un noyau ou un atome, la particule acquiert d'autres nombres quantiques.

Prenons l'exemple assez familier d'un atome avec son cortège d'électrons autour de son noyau. Chaque électron possède une énergie bien

précise. On dit qu'il se meut sur son *niveau d'énergie*, ou sur sa *couche*. Il est chez lui, il est stable. Son énergie reste immuable. Sauf s'il en reçoit de l'extérieur. Il est alors bouté hors de sa couche, et, au minimum, forcé de sauter sur la couche immédiatement supérieure de son atome (chaque atome en possède une ou plusieurs, selon grosseur). *L'électron ne peut demeurer entre deux couches*. Son énergie ne peut varier que par sauts quantiques (un peu comme dans un escalier-non mécanique — : on grimpe au minimum marche par marche ; essayez un peu de monter par demi-marches...). Chaque couche atomique a son numéro d'ordre, du centre vers la périphérie de l'atome : 1, 2, ... *n*, etc. On dit d'un électron de la couche *n* que son *nombre quantique principal* est *n*.

Un électron atomique possède d'autres nombres quantiques, chacun lié à une grandeur physique particulière. Citons le *moment angulaire*, qui caractérise en (très) gros le mode de rotation de l'électron autour du noyau. Cette grandeur est elle aussi « quantifiée ».

\*\*\*

Les nombres quantiques ne sont pas l'apanage des seules particules de matière. Les particules d'interaction, appelées aussi *bosons*, qui

transmettent les interactions fondamentales, par exemple le photon, vecteur de la force électromagnétique, les Z et  $W^\pm$ , vecteurs de la force faible, en possèdent aussi. Et, bien-sûr, le gluon, vecteur de l'interaction forte.

L'interaction entre particules de

matière (*fermions*) peut s'accompagner du changement de leurs nombres quantiques. Par exemple le retournement de spin (*spin-flip*) des protagonistes. Le ou les bosons ont non seulement transmis la force, mais transféré du spin. Les caractéristiques intrinsèques du boson,

ses nombres quantiques, sont donc déterminants dans l'interaction.

Ainsi en est-il du gluon qui transfère la couleur, comme l'écrivent Robi Peschanski et Joël Feltesse dans ce numéro.

Joël Martin (SPHn)

## L'ÉPOPÉE DES CHAMBRES À BULLES EN EUROPE

(suite et fin)

« ScintillationS » publie la suite de l'article de Jean-Pierre Baton commencé dans le précédent numéro

**A Saclay, sous la direction d'André Berthelot**, au SPSCHE (Service de la Physique Corpusculaire à Haute Énergie), se constituèrent deux groupes. L'un autour de Rogozinski pour les chambres à liquides lourds, l'autre animé par Vilain puis Meyer pour les chambres à hydrogène. Un groupe technique dirigé par Prugne était chargé d'étudier et de maîtriser la technique des basses températures pour les chambres à hydrogène.

En 1958, la première chambre à propane de 20 litres fonctionne auprès de SATURNE pour étudier la réaction  $\pi^+p \rightarrow \Sigma^+K^+$  pour l'étude des particules étranges (Voir glossaire).

Rapidement les efforts techniques du groupe de Prugne produisent leurs fruits. Tour à tour, deux chambres à hydrogène de 20 cm, puis de 35 cm de diamètre entrent en exploitation également à SATURNE et permettent au groupe de Meyer d'étudier l'interaction  $\pi^+p$  à basse énergie à la fin des années 50. La mise en service d'une chambre à hydrogène d'un diamètre de 50 cm est le départ d'une étude systématique de la réaction  $\pi^+p \rightarrow \pi\pi N$  par le groupe Rogozinski. Le volume de cette chambre sera ensuite porté à 180 litres et des tractations rondement menées aboutissent à son installation auprès de NIMROD, l'accélérateur à protons de 8 GeV du Laboratoire Rutherford.

**Toujours à Saclay, mais au département de SATURNE**, s'installe en 1958 un autre groupe de construction de chambres à bulles, réunissant les compétences de Saclay et celles du Laboratoire de l'École Polytechnique, à l'époque le premier laboratoire de physique des particules en France, mais qui ne disposait pas des moyens techniques nécessaires.

Le groupe de André Lagarrigue construit à SATURNE entre 1957 et 1963 trois chambres à liquide lourd : BP1 et BP2, installées à SATURNE même, et BP3 (300 litres), transportée en 1963 au CERN et exploitée jusqu'en 1969 auprès du faisceau de 28 GeV du «PS» (Proton

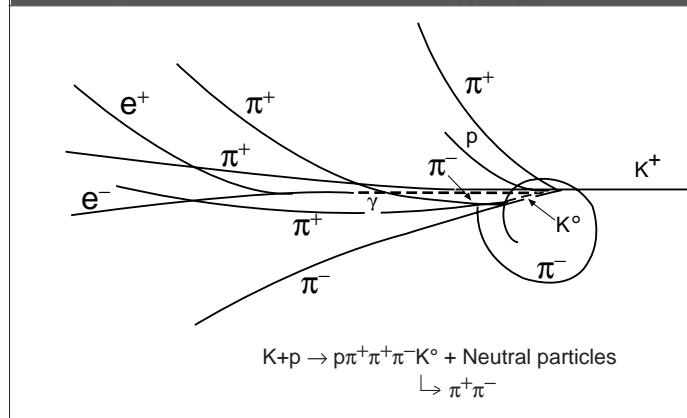
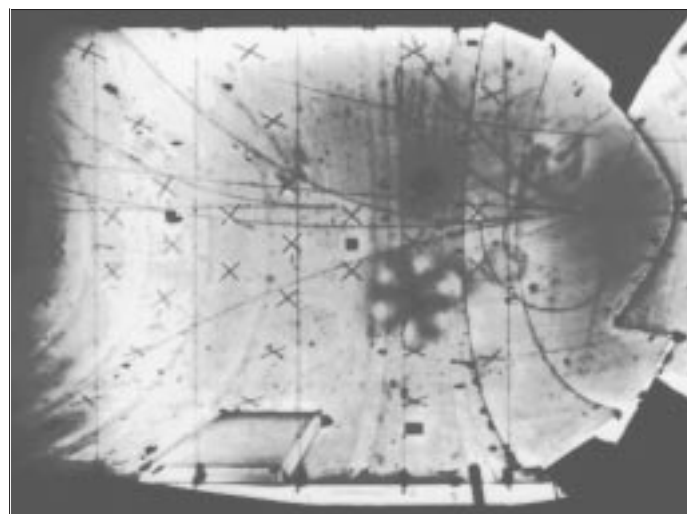
Synchrotron).

Grégory, autre responsable du laboratoire de Polytechnique eut une autre démarche : il demanda aux services techniques de SATURNE de s'inspirer très étroitement de la chambre à bulles de l'américain Shutt qui donnait satisfaction. Baptisée finement «La 81 cm», car c'était sa longueur, cette chambre fut installée dans le hall Sud du même PS et fut utilisée par un grand nombre de laboratoires européens.

**Au CERN, on réalise aussi des chambres, dès 1960.**

Une chambre à liquide lourd de un mètre de diamètre est construite et exploitée par Rahan. Mais c'est vers les chambres à hydrogène que se portent les principaux efforts sous la direction de Peyrou. Une première chambre de 30 cm de diamètre est opérationnelle dès 1960, mais c'est essentiellement la construction d'une chambre de 2 mètres de long et d'un volume de 1 m<sup>3</sup> qui retient l'attention de tous. Elle fonctionnera dans le hall Est du PS de 1964 à 1977. On peut dire que ce fut la chambre européenne par excellence. D'une qualité et d'une fiabilité inégalée, elle a pris en 13 ans pour tous les laboratoires européens quelques 40 millions de photos, ce qui représente 20.000 kilomètres de film. De quoi faire la moitié du tour de la Terre!

**En conclusion de cette première étape**, on peut dire qu'il y avait adéquation parfaite entre les chambres à bulles et les faisceaux délivrés par les accélérateurs de l'époque, SATURNE, NIMROD, PS. L'essentiel de nos connaissances sur les phénomènes régis par l'interaction forte (responsable, entre



Cliché d'un événement observé dans la chambre à bulles MIRABELLE installée à Serpukhov, avec le schéma interprétatif.

autre, de la cohésion du noyau atomique) est due aux résultats obtenus en analysant les clichés des chambres à bulles. Mais la découverte d'un détecteur mille fois plus rapide, la chambre à étincelles qui ouvrait dès 1962 de nouvelles voies d'investigation en physique des particules, allait-elle sonner le glas des chambres à bulles ? Fallait-il abandonner un détecteur aussi efficace ou alors lui faire franchir une nouvelle étape technique ? Dans ce dernier cas, deux voies s'ouvraient : soit réaliser des chambres à cyclage rapide pour pallier la lenteur des chambres et gagner un facteur 10 en efficacité, soit suivre l'évo-

lution prévisible des accélérateurs vers des énergies de plus en plus grandes en construisant des chambres géantes.

### Très vite, la communauté des physiciens des particules choisit la voie des chambres géantes.

Encore fallait-il trouver l'argent. Francis Perrin, alors haut-commissaire du CEA et membre du comité de direction du CERN, joua un rôle essentiel : il réussit à obtenir via le CEA les crédits permettant de construire à Saclay deux chambres de dix mètres cubes. Mirabelle, chambre à hydrogène, sera construite au DPhPE, Département de Physique des Particules Élémentaires (l'ancien SPCHÉ est devenu département, sa taille évoluant comme celle des chambres) et Gargamelle, chambre à liquide lourd, sera en partie construite par le Département de SATURNE sous la direction de Lagarrigue, en collaboration avec les laboratoires de Polytechnique et d'Orsay, et assemblée au CERN. Francis Perrin fut aussi l'un des artisans de construction au CERN de la chambre à hydrogène européenne de 25 m<sup>3</sup> «BEBC» par une collaboration France-Allemagne-CERN.

Mirabelle fit une belle carrière à l'accélérateur de 70 GeV de Serpukhov en ex-URSS, du début des années 70 jusqu'en 1977. Gargamelle fut installée sur un faisceau de neutrinos du CERN. En 1972, elle permit de découvrir l'existence des courants neutres, une des découvertes majeures des trente dernières années. Une fissure sur le corps de chambre mit hélas prématurément fin à sa carrière en 1978.

Le démarrage de BEBC fut plus tardif. Essentiellement consacrée à la phy-

sique du neutrino, elle s'arrêta définitivement en 1984. Signalons qu'aux États-Unis, des physiciens du neutrino exploitèrent eux aussi une chambre géante assez proche de BEBC jusqu'en 1986.

La moisson de résultats des grandes chambres à bulles paraît peut-être moins riche que celle des détecteurs électroniques qui les ont détrônées. Il faut dire que ces chambres ont l'excuse d'avoir été mises en service plus de six ans après la décision de les construire et qu'entre temps, aura été mis au point un nouveau type de détecteur qui va révolutionner la physique des particules : la chambre à fils de Charpak. Sous ses différentes variantes, elle va permettre de mener à bien des expériences irréalisables avec les chambres à bulles. D'autre part l'intérêt des physiciens se déplace vers l'étude systématique des interactions faibles. Enfin, la découverte des particules charmées en 1974 au collisionneur d'électrons de Stanford, en Californie, déplace l'intérêt de la physique des particules vers les anneaux de collision et fait ainsi passer les chambres à bulles au second plan.

Il n'en reste pas moins que Gargamelle a apporté la découverte majeure des courants neutres. Et puis cette belle aventure des chambres, dont on n'a retracé ici que les grandes étapes, a laissé d'autres traces que celle des particules égrenant en leur sein leur chapelet de bulles. C'est à partir de l'exploitation des clichés de chambres à bulles que se sont nouées les premières collaborations européennes en physique des particules. En effet, cette exploitation a offert à des univer-

sités et des petits laboratoires la possibilité de participer à égalité avec les «majors» aux découvertes si nombreuses des années 60. Ainsi se développa en Europe une véritable industrie pour l'exploitation des clichés. Mais cela est une autre histoire.

Jean-Pierre BATON (un ancien du SPP)

## GLOSSAIRE

### La réaction $\pi^+ p \rightarrow \Sigma^+ K^+$

La lettre  $\pi$  désigne le méson «pi», ou *pi*on, l'un des médiateurs de la force nucléaire forte (dite aussi : *interaction forte*), force responsable entre-autres de la cohésion du noyau atomique. Les mésons renferment une paire quark-antiquark. Avec les *baryons* (protons, neutrons, *hypérons* etc.) ils forment la famille des *hadrons*, particules soumises à l'interaction forte. Il existe toute une famille de mésons. Le pion est le plus léger. Sa masse est environ le septième de celle du proton. Il existe un pion neutre et deux pions chargés, un positif, un négatif.

La lettre p est l'abréviation du proton.

$\Sigma^+$  symbolise la particule *Sigma plus*. C'est un *hypéron*, baryon environ 20% plus lourd que le nucléon. Comme le pion, il existe en trois «états de charge» : 0, + et -. Comme tous les baryons, il contient trois quarks. Mais à la différence du nucléon (proton ou neutron), l'un de ses quarks est le *quark étrange* «s» (voir le tableau des particules).

$K^+$  est un méson de masse environ moitié de celle du nucléon. Il renferme une paire quark «up», antiquark «étrange».

En fin de compte, la réaction  $\pi^+ p \rightarrow \Sigma^+ K^+$  fabrique de l'étrangeté et de l'antiétrangeté. En 1958, on parlait déjà de particules étranges (ici le baryon  $\Sigma$  et le méson K), avant même la découverte des quarks.

## L'EXPLOITATION DES CLICHÉS DE CHAMBRES À BULLES AU DPhPE

Dans une expérience de physique, deux étapes sont nécessaires avant l'analyse des interactions ou des événements : le tri des clichés contenant des interactions intéressantes (de un sur deux à un sur cent) puis la mesure des trajectoires des particules ayant participé à l'interaction. Les informations sont stockées sur ordinateur. Au DPhPE, ce travail était effectué par du personnel qualifié, en grande majorité des femmes, titulaires à temps plein, mais aussi vacataires à temps partiel dont Monique Neveu a conté la saga dans le N° 26 de «ScintillationS»

Les premières expériences réunissaient une dizaine de physiciens de 2 ou 3 laboratoires analysant quelques dizaines de milliers de clichés. A l'apogée des chambres à bulles, c'était une centaine de physiciens appartenant à plusieurs dizaines de laboratoires du monde entier qui exploitaient plus d'un million de photos. Il fallut constamment adapter les moyens d'analyse à cette inflation.

Au tout début, avant l'arrivée des ordinateurs, on utilisait de simples projecteurs associés à de grandes feuilles de papier millimétré fixées sur des tables de dépouillement. Les événements repérés étaient projetés en vraie grandeur et les informations étaient relevées manuellement à la règle et au compas puis traitées à l'aide de petites calculatrices électriques.

Devant l'abondance des clichés, on remplaça ce système artisanal par une exploitation semi-automatique. On projetait les clichés avec un fort grossissement sur des écrans et on superposait un réticule codé en abscisse et en ordonnée aux différents points des trajectoires des particules intéressantes. Plus de 15 tables de mesures furent utilisées. Le DPhPE fut le premier laboratoire en Europe qui relia ces dispositifs à un ordinateur central au début des années 60.

Mais la mesure restait une étape très lente. Aussi, à partir de 1964, Le DPhPE se tourna vers des mesures complètement automatisées grâce à trois sortes d'appareils fonctionnant sur des techniques différentes, le Spiral Reader d'inspiration américaine, le HPD développé au CERN et le CRT d'inspiration originale. Une fois que l'opératrice en avait défini la stratégie, l'appareil se chargeait de la mesure.

Ces efforts techniques permirent au DPhPE d'être, avec le CERN, le laboratoire européen ayant le plus grand potentiel de mesures et ainsi de jouer un rôle majeur dans les collaborations où il s'impliqua. Plus de dix millions de photos y furent exploitées grâce, certes, aux moyens techniques mis en œuvre, mais aussi, rappelons-le, grâce à la compétence des techniciennes et des vacataires qui inlassablement dépouillaient et mesuraient les clichés.

## RENCONTRES CEA-JEUNES

Comme il y a un an et demi, le CEA a invité des élèves de Troisième dans ses Centres les 21 et 22 mars 1996. Saclay a reçu cinq classes de cinq collèges de l'Essonne et des Yvelines :

- Albert Einstein, à Magny les Hameaux
- Juliette Adam à Gif sur Yvette vallée
- Les Goussons à Gif sur Yvette Chevry
- Mondétour à Orsay
- Pierre de Coubertin à Chevreuse

Par groupes de trois ou quatre, les jeunes ont « manipulé » dans des ateliers sous la houlette de chercheurs de toutes disciplines.



Le DAP-NIA a pris 10 groupes en charge :

- Philippe Galdemard (S A p) a montré comment on traite des images astronomiques
- Philippe Briet (SEI) a «concepté» assisté par ordinateur
- Denis Bouziat (SIG) a programmé un automate
- Bernard Mazeau (SIG) a traité de phé-

nomènes physiques dans le vide et/ou le froid

- Jacques Martino (chef du SIG) a mesuré le temps de vie du muon par scintillation (\*)
- Jean-Paul Jorda (SPhN) a montré comment mesurer la « polarisation » d'un faisceau d'électrons par diffusion de photons piégés dans une cavité laser
- Claire Gautherin (SPhN) a détecté des photons pour étudier des noyaux déformés
- Dominique Marchand (SPhN) ( la deuxième en partant de la gauche sur la photo du haut ) s'est servi d'un théodolite de haute précision en vue de mesurer l'énergie d'un faisceau de particules.

Le tout dans la détente et la bonne humeur.

(\*) Et non par « ScintillationS ». Mais le clin d'œil est délicat...

## BRÈVES ... BRÈVES ...

## VA-ET-VIENT

**Janvier 1996** — Bienvenue à Pascale Chavegrand (mutée du SPAS\* au SAP), Franck Gunsing (recruté au SPhN), Christine Marteau (mutée de la DIST, l'ancienne DOC, au SGPI, voir n° 25), Catherine Nicolleau (mutée du SPAS au STCM) et, pour mémoire, à François Darnieaud (nouveau chef du SEL, voir n° 25). Bonne chance aux vaillant(e)s retraité(e)s : Marie-Noëlle Dodds (SAP), René Ducros (SAP), Agnès Jeannel (SAP), Georges Marquaille (SEA), Arlette de Miniac (SEL) et Xuan-Hô Phan (SPhN).

**Février 1996** — Encore des nouveaux qu'on accueille aussi avec joie : Pascale Deck (recrutée au SIG), Ioannis Giomataris (recruté au SED), Abdallah Hamdi (recruté au SEA) et Christine Katz (mutée de la DRHRS au STCM). Encore des collègues qu'on voit partir avec nostalgie : Laurence Charbonnier (mutée à la DRHRS), Daniel Dangoise (retraité du SIG), Jean Klein (retraité du STCM), Roger Letourneau (retraité du SPhN, bons champignons, Roger!), André Roy (retraité du SAP), Eugène Uro et Henri Vivier (retraités du SEA).

\*SPAS : Service du Personnel et des Affaires Sociales de la Direction du Centre de Saclay.

## LA DÉCOUVERTE DE L'ÉLÉMENT 112

Le numéro 22 de « ScintillationS » s'est fait l'écho de la découverte des éléments de numéro atomique 110 et 111, respectivement les dix-huitième et dix-neuvième éléments artificiels. Sur Terre, la nature s'arrête au numéro 92, l'uranium. Les éléments plus lourds ont peut-être existé sur notre planète, mais ils ont disparu par radioactivité.

Le 9 février dernier, un laboratoire allemand, le GSI (Gesellschaft für Schwerionenforschung) de Darmstadt a formellement identifié l'élément 112, obtenu à quelques exemplaires par fusion d'un noyau de plomb avec un noyau de Zinc accéléré par la machine à ions lourds UNILAC. Ce nouvel élément, le plus lourd jamais produit par l'homme, possède en son noyau 112 protons et 165 neutrons. Sa masse atomique est donc 277. Il se transmute en une fraction de millième de seconde, par radioactivité  $\alpha$  — émission de noyaux d'hélium 4 (deux protons et deux neutrons) — en l'élément 110 à 273 nucléons. Une nouvelle émission  $\alpha$  le transmute en l'élément 108 à 269 nucléons, puis se produisent

d'autres décroissances alpha.

Va-t-on pouvoir produire des éléments encore plus lourds ? Plus un noyau est gros, plus il a de difficultés à maintenir sa cohésion. Mais d'autres phénomènes entrent en jeu. A l'instar des électrons dans l'atome, protons et neutrons se répartissent dans le noyau selon des niveaux d'énergie ou « couches ». Un noyau dont toutes les couches de protons et/ou de neutrons sont complètes est appelé « magique ». Il est particulièrement stable, tout comme les atomes des gaz « nobles » de l'air (hélium, néon etc.) à couches électroniques complètes, tellement stables qu'ils sont chimiquement inertes. La mesure de l'énergie des particules  $\alpha$  émises quand se déroule la chaîne de décroissance alpha du nouvel élément 112 montre un maximum de stabilité pour les noyaux à 162 neutrons. Sans cette sur-stabilisation, les six éléments les plus lourds découverts au GSI n'existeraient pas. Ce dernier résultat confirme la valeur du modèle théorique de structure nucléaire qu'utilisent en particulier les physiciens du DAPNIA. D'où l'intérêt que suscite ce brillant succès de l'équipe internationale de Darmstadt. Il confirme la possibilité d'explorer plus loin la région des éléments super-lourds.

## PREMIÈRE APPLICATION DU RÉSEAU DE TERRAIN « FIP » AU DAPNIA

*Dans le numéro 23 de « Scintillations », Christian Walter du SIG a présenté le réseau de terrain « FIP », véritable autoroute d'informations numérisées facilitant le contrôle-commande par automate programmable d'appareillages liés aux expériences de physique : faisceaux, cibles cryogéniques, spectromètres etc. Une relecture de cet article vous refamiliarisera avec ce très prometteur dispositif de dimension quasi-industrielle dont la première mise en service a été effectuée fin août 1995 au DAPNIA sur la cible cryogénique « CLAS » de CEBAF (voir le n° 20).*

Quatre appareillages vont être ainsi « fipés » au cours du premier semestre 1996 :

- « Polder » pour CEBAF
- station d'essais pour LHC
- circulateur d'hélium pour ATLAS (voir « ScintillationS » n° 17)

— liquéfacteur d'hélium « 4003 » pour le STCM.

**Informations techniques.**

L'ensemble du système est composé d'un automate CEGELEC C370 raccordé à des modules d'entrée/sorties ainsi qu'à deux postes de conduite ANIBUS sur PC. Une passerelle ETHERNET/FIP a été aussi connectée au réseau pour assurer une communication directe avec une station SUN.

Ce réseau « FIP » à haut débit permet de traiter 1500 états logiques et 256 variables analogiques en 50 millisecondes ou 2500 états logiques et 320 variables analogiques en 300 millisecondes. Grâce à sa capacité de transfert d'information en mode diffusion (chaque « producteur » diffuse régulièrement ses informations à chaque « consommateur »), ce réseau « fipé » peut accueillir jusqu'à 250 postes de visualisation sans dégradation des performances.

Le progiciel ANIBUS (*et non le dieu égyptien Anubis, NDLR*) est mis en œuvre dans l'environnement multi-tâche OS/2 Warp connect sur PC. Cet environnement nous assure les services Client et Serveur FTP et TELNET ainsi qu'un outil WebExplorer mettant ainsi à disposition sur le réseau éthernet tous les fichiers d'acquisition et de configuration. La configuration logicielle et matérielle « fipée » revient à moins de 20.000 francs.

Christian Walter (SIG)

## DISTINCTION



**François Lehar** (SPP), l'un des deux auteurs de l'article « Le DAPNIA à Dubna », paru dans le numéro 24, vient de recevoir le titre de « Docteur Honorable » de l'École Polytechnique de

Prague. La cérémonie s'est déroulée le 23 avril 1996 dans la chapelle de Bethléem à Prague.

Ce titre a été attribué moins de trente fois depuis 1918. Notre collègue se retrouve en compagnie entre-autres de Hoover qui fut président des États-Unis et de Tesla, savant au magnétisme bien connu, cela écrit sans se gausser.

Par ailleurs, François Lehar s'est vu attribuer le « Diplôme Honorable » de l'Institut Unifié pour la Recherche Nucléaire (JINR) de Dubna dont il est membre du Conseil Scientifique (ce n'est pas ce conseil qui attribue les distinctions...), ainsi que le second prix du même Institut en récompense de ses travaux sur la cible de protons polarisés transportable (Movable Polarized Target, MST pour les intimes), prix qu'il a partagé avec Gilles Durand passé du STCM au SAP. Cette cible a permis de mesurer au Synchrotron de Dubna une grandeur fondamentale relative à l'interaction proton-neutron dont on avait besoin pour tester des prédictions de QCD, la théorie de l'interaction forte. Ces honneurs rejaillissent sur

tout le DAPNIA. Nos plus chaleureuses félicitations aux deux lauréats.

## LES JOURNÉES DU DAPNIA

Sur le thème des métiers (voir le n° 26), ces journées se dérouleront à Seignosse, dans les Landes, du 18 au 20 septembre 1996. Chacun des métiers du DAPNIA étant le plus beau métier du monde, venez toutes et tous nous et vous en convaincre.

Le titre officiel de cette manifestation est :

**« Les journées du DAPNIA : métiers d'aujourd'hui et de demain »**

Merci d'avance aux volontaires qui nous tiendront sous le charme de leur Verbe agile.

## BIENVENUE À « PASSERELLES »

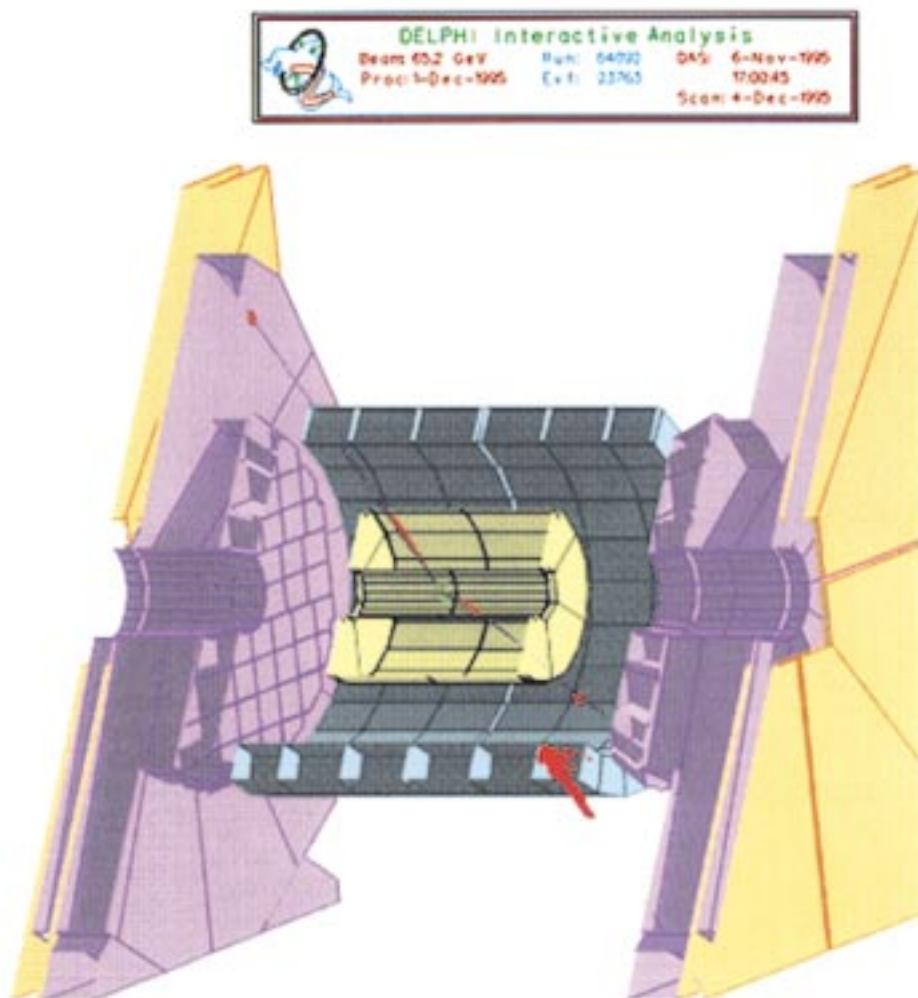
L'un des grands plaisirs des responsables d'une publication interne est de découvrir qu'elle est lue aussi à l'extérieur. Choisir pour le nouveau journal interne de la Direction de Saclay le titre « Passerelles » est donc du meilleur augure.

Du haut de ses quatre ans, « ScintillationS », journal interne du DAPNIA, souhaite longue vie à sa jeune consœur. Et qu'elle reçoive beaucoup de baths missives...

*Le texte ci-dessus a été rédigé à la demande de l'équipe rédactionnelle de « Passerelles », nouveau journal interne de la direction du Centre, pour y être publié avec d'autres textes venant de tous les journaux internes de Saclay, en guise de bienvenue à leur nouveau confrère et d'inauguration de son courrier des lecteurs.*

## PAN! SUR LE BECQUEREL

Le haut de la deuxième figure de l'article de Brigitte Bloch « LEP, phase 1.5 » du numéro 26 s'est retrouvé tronqué. Ont fâcheusement disparu de ce fait le logo et le sigle (un ravissant dauphin) de DELPHI, un des quatre détecteurs du LEP d'où provenait l'événement montré. Nous prions l'équipe de DELPHI d'accepter nos plus plates excuses, et pour nous faire pardonner, voici ci-contre un autre très beau « retour radiatif au Z » observé à DELPHI.



CEA - DIRECTION DES SCIENCES DE LA MATIÈRE

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION :

Jacques HAISSINSKI

COMITÉ ÉDITORIAL :

Joël MARTIN (porte parole),

Claire ANTOINE,

Pierre BORGHAUD

Michel BOURDINAUD,

François BUGEON, Rémi CHIPAUX

Gilles COHEN-TANNOUDJI,

Claude LESMOND, Elizabeth LOCCI,

Marc SAUVAGE, Jean-Claude SCHEUER

Angèle SÈNÈ, Christian VEYSSIERES

RÉDACTION :

Maryline ALBÉRA

MAQUETTE ET MISE EN PAGE :

Christine MARTEAU

Dépôt légal mai 1996