

## Filiation, modernité et raffinement

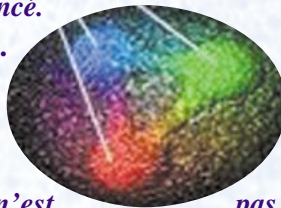
*Lors de rencontres avec nos hauts responsables, on nous a dit, entre autres, que les chercheurs du Dapnia raffinaient trop, n'étaient pas modernes, faisaient de la « physique de papa »... Répondons en scientifiques en donnant des informations scientifiques.*



*Il y a effectivement une débauche de raffinements au Dapnia. Un théoricien du SPhN, Pierre Guichon (voir ScintillationS n° 62), s'est attelé avec Tony Thomas, directeur scientifique du laboratoire Jefferson (États-Unis), à un calcul sur ces petits machins fort éloignés des préoccupations de « l'homme de la rue » : les noyaux atomiques, leurs entrailles nucléoniques, protons et neutrons, eux-mêmes remplis de quarks et de gluons. Mais sans ces petits machins, pas plus l'homme de la rue que les centres d'études (nucléaires) comme Saclay, n'existeraient. Ce calcul, d'un raffinement inédit, vient de lever un sacré lièvre : le ballet des nucléons qui conditionne les propriétés du noyau, serait lui-même conditionné par des échanges « transfrontaliers » entre les quarks de différents nucléons. Comment est-ce possible, alors que les quarks sont confinés sans évasion possible dans leur cage-proton ou leur cage-neutron ? Ces prisonniers condamnés à la réclusion perpétuelle arrivent pourtant à faire passer des messages particuliers à leurs codétenus des nucléons voisins, dès lors que tous ces nucléons sont plongés dans le même bain, celui d'une goutte de matière nucléaire qu'est un noyau. Pierre Guichon donne l'image des cerises qui prennent une autre saveur et la transmettent dès lors qu'elles sont à l'eau de vie.*

*Ce calcul va permettre de mieux comprendre comment s'est édifiée la matière dont nous sommes faits (page 2). De cette matière, on connaît de mieux en mieux les constituants actuellement ultimes et leurs interactions. On mesure de mieux en mieux la structure et les propriétés de constituants déjà fort élaborés, les noyaux. Mais on en sait extrêmement peu sur la façon dont la nature est passée des premiers aux seconds. Il y a là un véritable no man's land, un trou béant dans nos connaissances, que ce genre de calcul, épaulant des expériences « étudiées pour », contribue à combler. C'est cela, la physique hadronique. Née à la fin des années 60 à Saclay (cocorico !), elle se pratique maintenant dans le monde entier auprès d'accélérateurs de nouvelle génération. Elle est à la pointe du modernisme en matière de recherche sur les énigmes de la matière. Le Dapnia poursuit ce qu'il a si bien commencé.*

*Vous avez dit « constituants ultimes »... le noyau, et pour nos papas, c'était le aux gluons, aux leptons. Nos enfants, si être les raffinements permettant de plonger En attendant, le boson de Higgs (n° 64) n'est*



*Pour nos grands-papas physiciens, c'était nucléon. Nous en sommes aux quarks, on les laisse chercher, trouveront peut-être encore plus profond dans l'élémentarité. pas encore au rendez-vous. Il a posé un lapin*

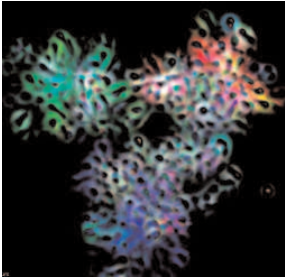
*aux gens du LEP (n° 49, 60), à moins que ce ne soit l'inverse. Mais le LHC arrive, avec ses monstres de détecteurs. On ne le tient pas encore, ce « higgs », mais il n'a qu'à bien se tenir. Les chambres à muons d'Atlas (n° 64) vont bientôt participer à sa traque. Encore faut-il qu'elles ne confondent pas les traces. Celles issues du higgs sont noyées dans des milliards d'autres. Les chambres n'ont pas droit à l'erreur. Le prix à payer est un luxe de raffinements dans le positionnement et dans l'alignement de centaines de ces chambres. La précision exigée est d'une dizaine de micromètres, le quart de l'épaisseur d'un cheveu, cela sur quelques dizaines de mètres. Là encore, le Dapnia innove. Les dispositifs qu'il concocte avec amour sont à la pointe de la technologie. Les modules que décrit Valérie Gautard, du SIS (page 5) sont des bijoux d'astuce et d'innovation.*

*La « physique de Papa » peut être fière des modernes raffinements qu'elle engendre aujourd'hui. Et si les dieux de notre Olympe lui prêtent vie, la physique d'aujourd'hui, celle du Dapnia, notre physique, engendrera peut-être des technologies du futur que développeront nos enfants.*

*On est toujours le « papa » (ou la maman) de quelqu'un...*

Joël Martin (SPhN et ScintillationS)

# A quoi servent les quarks dans les noyaux ?



Pour la majorité des physiciens nucléaires la question ne se pose pas car plusieurs

décennies d'expériences les ont convaincus que le noyau se comporte comme s'il était constitué de nucléons, protons et neutrons, dont la structure interne ne joue aucun rôle. Que les nucléons soient faits de quarks est bien sûr admis, mais l'idée sous-jacente est que cette structure ne change pas quand on assemble les nucléons dans un noyau. La structure en quarks serait en quelque sorte gelée et ne servirait qu'à engendrer des grandeurs caractéristiques, comme la masse ou le moment magnétique des nucléons. En suivant la même idée on suppose aussi que la force nucléaire est la superposition des forces qui existent entre chaque paire de nucléons, lesquelles ont été mesurées par les expériences de diffusion nucléon-nucléon auprès d'accélérateurs comme Saturne, à Saclay.

Vu comme ça, le noyau n'est qu'un système de particules sans structure qui interagissent selon des forces connues. *Exit* les quarks !

Deux petits nuages survolent néanmoins cet univers tranquille...

Le premier est l'effet « EMC », du nom de la collaboration du Cern (European Muon Collaboration) qui a montré, en 1981, que la diffusion profondément inélastique<sup>1</sup> de muons sur le fer ne peut s'expliquer que par une modification de la structure en quarks du nucléon lorsqu'il est plongé dans un noyau. Second petit nuage : la force déterminée par les expériences de diffusion n'est pas suffisante pour interpréter les propriétés de la matière. Il faut « ajouter à la main » une force d'un type nouveau, qui n'existe que s'il y a au moins 3 nucléons en jeu. Cela est particulièrement important pour expliquer le phénomène de *saturation* : dans un noyau, le nombre de nucléons par unité de volume est une constante indépendante du noyau.

De ce point de vue, le noyau est donc un système de particules complexes dont la structure change dès qu'ils sont plongés dans le noyau et qui interagissent selon des forces en partie inconnues !

Il ne faut pas pour autant voir le noyau comme une soupe de quarks inextricable. Les faits expérimentaux indiquent clairement que, dans un noyau, les nucléons gardent bien leur individualité. Ils ne fondent pas comme un sucre dans le café mais réagissent plutôt comme les cerises qu'on met dans l'eau de vie : elles changent de goût. Miam ! Il faut donc accepter que les nucléons dans les noyaux ne sont plus tout à fait eux-mêmes et pour décrire cet état de fait on ne peut évidemment

plus les considérer comme élémentaires. C'est là qu'intervient la structure en quarks.

Pour décrire cette structure, Tony Thomas, du laboratoire Jefferson<sup>2</sup>, et moi-même utilisons le modèle du sac de quarks dit « du MIT<sup>3</sup> », dans lequel les quarks sont confinés dans une cavité. Sans être parfait, ce modèle a l'avantage d'être très simple du point de vue mathématique tout en respectant les traits importants de la structure interne du nucléon. D'une part, comme le suggère la liberté asymptotique de QCD<sup>4</sup>, les quarks sont libres à l'intérieur du sac. D'autre part, ils peuvent avoir une masse presque nulle, comme les quarks *u* et *d* qui composent le nucléon. C'est très important pour la suite (*voir l'encadré*).

L'idée la plus simple est alors de décrire le noyau comme un ensemble de sacs (les nucléons) qui, en moyenne, ne se chevauchent pas. Pour représenter l'effet du milieu nucléaire, on suppose que les quarks de deux nucléons différents interagissent par l'échange de mésons. Sous l'influence des mésons envoyés par ses voisins, les trajectoires des quarks dans chaque nucléon sont perturbées, ce qui explique en partie l'effet EMC. Mais la bonne surprise a été de réaliser que cette perturbation des trajectoires des quarks entraîne l'existence de la force à trois corps dont la physique nucléaire a besoin (*encadré*).



## Mésons, force à trois corps et « saturation »

Sans entrer dans les détails techniques on peut résumer l'affaire ainsi : deux sortes de mésons sont échangés : un méson scalaire, dont l'échange produit une force attractive, et un méson vectoriel, dont l'échange produit une force répulsive. En première approximation, ce dernier n'a pas d'influence sur la structure interne. En revanche, l'effet d'un méson scalaire est d'accélérer le quark qui l'absorbe, et l'on peut montrer que cela diminue sa capacité à émettre à son tour un méson scalaire. Cet effet n'existe que si la masse du quark est très petite. Supposons alors que le nucléon A envoie un méson scalaire pour attirer le nucléon B. Si A vient de recevoir un méson

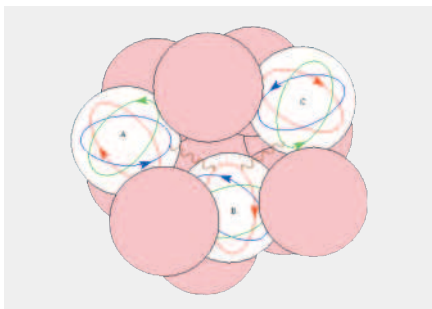
de la part du nucléon C, qui passait par là, l'attraction entre A et B sera moins forte que prévu : l'effet du milieu, ici le nucléon C, est donc équivalent à une force répulsive. Comme elle n'existe que si A, B et C sont en présence, c'est bien une force à 3 corps, dont la figure de la page 3 illustre le mécanisme. Cette force est cruciale car elle permet d'interpréter simplement le phénomène de *saturation*, le fait que la densité de nucléons (leur nombre par unité de volume) à l'intérieur d'un noyau est constante et indépendante du noyau. En effet, quand la densité augmente, la probabilité qu'il y ait 3 nucléons en présence augmente et donc la force attractive diminue. Comme la force répulsive, due à l'échange de mésons vecteurs ne change pas, il y a une densité où les forces attractives et répulsives s'équilibrent : c'est la densité des noyaux ordinaires. P. G.

(1) Voir l'édition et le glossaire du n° 42 de *ScintillationS*.

(2) Voir *ScintillationS* n° 20, 26, 30, 31, 40, 42, 50, 54, 55, 62 et 64.

(3) MIT, sigle du Massachusetts Institut of Technology (États-Unis).

(4) QCD, sigle anglais pour la chromodynamique quantique, l'actuelle théorie de la force *de couleur* qui s'exerce entre quarks et gluons. Cette force est d'autant plus intense que les quarks s'éloignent l'un de l'autre. Ainsi tenus par une laisse d'autant plus forte qu'ils cherchent à s'échapper, les quarks restent *confinés* dans leur cage, le nucléon. *A contrario*, plus les quarks se rapprochent, plus la force diminue et tend à s'annuler, comme tend à s'annuler la distance entre une branche d'hyperbole et la droite, dite *asymptote*. Bref, lorsque la distance entre deux quarks tend *asymptotiquement* vers zéro, la force qui les lie fait de même, et c'est comme si les quarks se retrouvaient libres. C'est cela, la *liberté asymptotique*. David Gross, David Politzer et Frank Wilczek, qui, en 1973 ont démontré cette propriété des quarks comme conséquence de QCD, viennent de recevoir le Prix Nobel de Physique 2004. Dans le prochain numéro, Jean Zinn-Justin, orfèvre en la matière, reviendra sur la liberté asymptotique et sur ces travaux théoriques.



Origine de la force à 3 corps : l'attraction entre A et B diminue parce que C perturbe la trajectoire du quark dans B.

Qu'un phénomène typiquement nucléaire comme la saturation (*encadré page 2*) puisse s'expliquer par la structure en quarks des nucléons est si surprenant que ce modèle a longtemps été considéré comme exotique. De plus, comme sa version initiale ne faisait pas appel à la notion de force entre nucléon, le lien avec la physique nucléaire traditionnelle n'était pas évident. C'est pourquoi nous avons récemment proposé une formulation où la modification de la structure en quarks se

manifeste sous la forme de forces à 2,3...N corps. Toute la difficulté a été ensuite de trouver et de justifier les approximations qui permettent de comparer notre modèle aux approches traditionnelles de la physique du noyau. Parmi ces dernières nous avons choisi la plus simple, la *force de Skyrme*.

La force de Skyrme est un modèle de la force nucléaire dont les paramètres, ajustés sur l'expérience, tiennent compte du fait que le nucléon est plongé dans le noyau. Elle est donc de même nature que la force que nous déduisons de notre modèle. Comme les calculs de structure nucléaire basés sur cette force reproduisent de façon satisfaisante un grand nombre de données nucléaires, on peut dire que Skyrme est une sorte de juge de paix : *les paramètres de la force de Skyrme jouent pour nous le rôle de quantités expérimentales*. L'avantage de cette approche est de nous affranchir des lourds calculs de structure nucléaire. Le résultat est assez spectaculaire : malgré sa rusti-

cité par rapport à ces calculs sophistiqués, notre modèle reproduit la force de Skyrme à 20 % près. En physique nucléaire, c'est un accord plus que satisfaisant, et même inespéré.

Ce résultat est une étape importante dans la compréhension du noyau. D'une part, nous avons montré que les quarks jouent peut-être un rôle essentiel dans l'existence même des noyaux puisqu'ils permettent d'expliquer simplement le phénomène de saturation. D'autre part, le modèle que nous avons construit à partir de cette idée permet d'interpréter quantitativement les paramètres empiriques de la force de Skyrme, l'une des pierres angulaires de la physique nucléaire.

Les quarks détenus dans le nucléon sont pourtant libres à l'intérieur de leur cage. A travers les barreaux, ils envoient les messages qui permettent de bâtir la matière telle qu'on la connaît. Le monde édifié sur la liberté, même asymptotique, joli symbole !

Pierre Guichon (SPhN)

## L'hommage en Sorbonne à René Turley

Le 24 septembre 2004, dans l'amphithéâtre Richelieu, à la Sorbonne, la famille, les amis et les collègues de



Des membres de la famille de René.

René Turley se sont unis dans l'hommage au grand physicien et à l'homme de cœur.

James Cronin, l'un des deux prix Nobel (l'autre fut Val Fitch), qui, avec René et James Christenson, découvrirent la violation de CP (*ScintillationS* n° 48) avait traversé l'Atlantique pour

s'associer à cet hommage. Étaient aussi venus entourer la famille de René, Bernard Bigot, Haut-commissaire à l'énergie atomique, Robert Aymar, directeur du Cern, François Gounand, directeur de la DSM et les organisateurs, dont Bernard Peyaud. On notait aussi la présence de nombreux compagnons de physique du fondateur du Dapnia, parmi lesquels Brigitte Bloch-Devaux, qui fut étudiante de René. Jean Zinn-Justin, Jacques Haïssinski et Michel Spiro, actuel et anciens chefs de notre département, témoignaient de la pérennité du Dapnia.

L'émotion était au rendez-vous. Après une chaleureuse présentation de Bernard Bigot, Catherine Turley avec des mots simples et justes, exprima de façon poignante ce que tous nous ressentions.

Puis, comme sans doute René l'aurait souhaité, la physique prit le relais. Du LHC au fond cosmologique, de la théorie des cordes à l'impressionnant bilan du LEP, des neutrinos aux kaons en passant bien sûr

par la violation de CP, cette journée d'hommage fut aussi celle de la physique qui nous passionne tant, au Dapnia.

René, tu peux être fier de ton bébé. Merci d'avoir été avec nous ce jour-là.

ScintillationS

Photos Guy Le Roux (SIS)



Robert Aymar

James Cronin et Bernard Peyaud à Saclay (23 septembre 2004).



Bernard Bigot.



Catherine Turley.



Brigitte Bloch-Devaux, avec ses souvenirs...

# Chercher le micron pour trouver le boson

L'un des objectifs du détecteur ATLAS (voir *ScintillationS* n° 64) est de prouver l'existence du boson de Higgs. Cette particule très éphémère se désintègre entre autres en plusieurs muons, que l'on souhaite détecter car ils constituent une « signature » du higgs. Le détecteur ATLAS est constitué de plusieurs parties, dont le détecteur de muons, assemblage de 600 chambres à fils et à dérive. Pour identifier les muons, il faut déterminer leur trajectoire. Lorsqu'un muon traverse une chambre, celle-ci émet un signal électrique. Connaissant la position des différentes chambres traversées, on peut reconstruire la trajectoire du muon. C'est pourquoi, il faut connaître la position des chambres avec la meilleure précision possible, de l'ordre de 20 micromètres – la moitié de l'épaisseur d'un cheveu – en translation, et de 200 microradians (1  $\mu$ rad vaut 2/3 de minute d'angle), en rotation. Dans ce but, différents systèmes d'alignement ont été mis au

point. Nous abordons ici l'un d'eux : le *système de proximité du capteur praxial*.

Ce système est basé sur une combinaison de dispositifs *Rasnik*<sup>®</sup>, conçus et développés par l'institut néerlandais Nikhef. Le *Rasnik* est constitué d'une lentille, d'un appareil photo numérique à CMOS<sup>1</sup>, et d'un masque (*fig. 1*). Le masque est un damier très spécial dont plusieurs cases noires et blanches peuvent ne pas être alternées. Cela permet de définir un repère sur le masque. L'appareil prend une photo du masque. Un logiciel permettant d'analyser cette dernière fournit 4 données : les coordonnées x et y du centre du masque avec une précision de 1 micromètre, le grandissement de l'image, et l'angle de rotation du masque et de l'appareil photo l'un par rapport à l'autre<sup>2</sup>. Ainsi, en analysant deux photographies du masque, il est possible de déduire la translation en x et en y du masque par rapport à le CMOS (*fig. 2*).

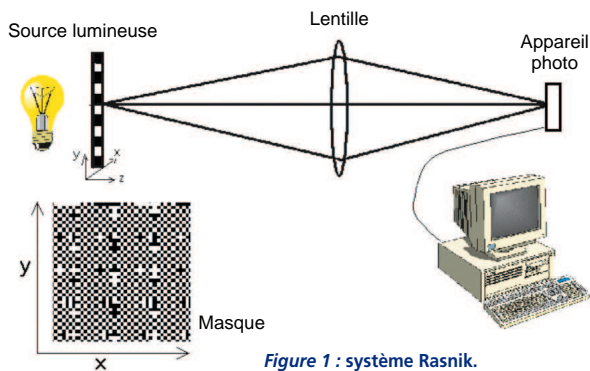


Figure 1 : système Rasnik.

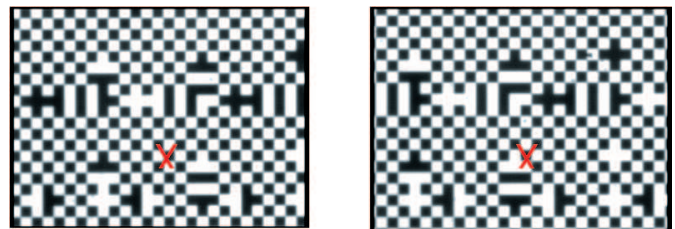


Figure 2 : Centre du masque vu par le CMOS.

Le « X » rouge marque le centre du masque. Ce repère permet, en comparant les deux photos, de voir que les motifs du damier se sont décalés de 4 carreaux vers la gauche le long d'une parallèle au grand côté du rectangle. Cela révèle une translation, que l'on peut évaluer si l'on sait à quel déplacement réel correspond un décalage de 1 carreau.

Venons-en au capteur praxial lui-même. Il regroupe deux systèmes d'alignement : le système de proximité annoncé plus haut, et l'axial qui ne sera pas abordé dans cet article. Le système de proximité est une combinaison de deux *Rasnik* croisés (*figure 3*). Il est composé de deux platines positionnées sur deux chambres

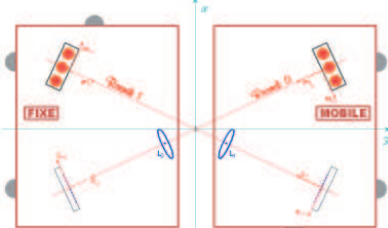


Figure 3 : Système de Proximité.

La première platine comporte le masque (en rouge) du *Rasnik 0*, la lentille (en bleu) et le CMOS du *Rasnik 1*. La seconde réunit le masque du *Rasnik 1*, la lentille et le CMOS du *Rasnik 0*. On dit alors que les *Rasnik* sont croisés.

La précision recherchée sur le calcul du mouvement dépend de l'écartement entre deux chambres consécutives. Pour la majorité des chambres, séparées par un intervalle de 232,8 mm, la précision requise est de 100  $\mu$ m en translation suivant l'axe des x, de 10  $\mu$ m en translation suivant ceux de y et de z, et de 100  $\mu$ rad en rotation x et de 500  $\mu$ rad en rotation y et z.

Devant le grand nombre de systèmes différents et la complexité de chacun d'eux, il s'est avéré indispensable d'écrire un logiciel qui gère tous les types d'alignements et, en parti-

culier, le système de proximité. C'est à la fois un soutien aux utilisateurs et un gage de qualité. Ce logiciel décrit chaque étape de l'utilisation du système de proximité. L'utilisateur clique d'abord sur « Approvisionnement », et peut imprimer une liste des composants nécessaires à

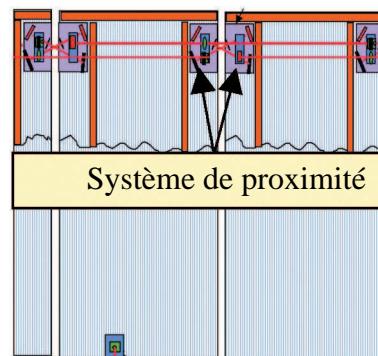


Figure 4 : Trois systèmes de proximité positionnés sur les chambres à muons.

la construction de ce système. Une fois l'approvisionnement effectué et validé, la case montage est alors activée. Une notice de montage apparaît. Il en est ainsi pour chaque étape : l'utilisateur est guidé de façon à minimiser le nombre d'erreurs possibles. Ce logiciel a donc un rôle de supervision. Il gère aussi le matériel. Par exemple, chaque platine est identifiée par un code barre. Ce code barre est lu comme au supermarché, géré par le logiciel et sauvegardé dans une base de données sous « Access<sup>®</sup> », dans laquelle les informations circulent dans les deux sens (en « écriture » et en « lecture »). Ce logiciel interagit aussi avec d'autres logiciels comme celui

(1) CMOS: *Complementary Metal-Oxide Semiconductor*. Les appareils à CMOS fonctionnent à plus basse tension que ceux à CCD, donc consomment moins d'énergie. C'est plus pratique pour les applications « portables ».

(2) L'axe de cette rotation est la droite reliant les centres du masque, de la lentille et de la caméra. On l'appelle l'axe optique.

qui gère le banc d'étalonnage *Caliprax* (fig. 5). Ce banc a été construit car les systèmes d'alignement et, en particulier, le système de proximité, doivent être impérativement étalonnés compte tenu de la précision requise.

### Principe du banc Caliprax

Rappelons que le système de proximité sert à mesurer le mouvement d'une chambre par rapport à sa voisine. Ce mouvement est calculé grâce à une *matrice de transfert* (voir l'encadré). Pour déterminer cette matrice, on effectue un premier ensemble de 64 mouvements. Une platine reste fixe tandis que l'autre est positionnée sur un plateau mobile. À chaque mouvement, les données « Rasnik » sont enregistrées. Un module d'analyse détermine ensuite la matrice de transfert. Une nouvelle série de mouvements aléatoires mais connus est réalisée. On compare alors les mouvements calculés (grâce à la matrice de transfert) et les mouvements mesurés (grâce à des palpeurs de position). On valide ou non l'étalonnage en fonction de ces résultats.

### Description du banc

Il est constitué de 5 composants principaux (figure 5) :

1. Une pièce mécanique appelée *Zéroprax*, qui permet de définir un repère commun à tous les systèmes de proximité. Cette pièce est usinée avec une précision de 5  $\mu\text{m}$ .
2. Six moteurs permettent le déplacement de la platine mobile.
3. Les moteurs étant peu précis, 9 palpeurs précis au micromètre près permettent de déterminer le déplacement réalisé. Six palpeurs suffisent mais on en utilise 3 de plus pour pallier d'éventuelles pannes.
4. Un enregistreur de température bien que le hall soit climatisé, compte tenu de la précision requise.
5. La mécanique du banc, très complexe, qui a été dessinée par des projeteurs experts.

### Contrôle informatique du banc

Il s'effectue par un logiciel développé sous « Visual C++ ».

Il fait intervenir 6 domaines :

1. Une interface homme-machine conviviale aide les utilisateurs et minimise les risques d'erreurs. L'utilisateur lance la séquence, qui se déroule alors automatiquement.

2. Le matériel, comme les moteurs ou encore les palpeurs, est contrôlé par des liaisons informatiques pilotées par un PC muni de différentes « cartes d'acquisitions ».
3. Chaque étape est informatiquement minutée. Par exemple, dès que les moteurs ont fini leur mouvement, la lecture des palpeurs s'effectue.
4. Plusieurs logiciels travaillent ensemble : logiciel de supervision, logiciel d'acquisition de données, logiciel d'analyse, etc.
5. Plusieurs modules d'analyse ont été réalisés pour déterminer, par exemple, le mouvement. Le module le plus complexe est celui qui détermine la matrice de transfert recherchée.
6. Enfin, ce logiciel interagit avec la base de données générale. Cette base étant en réseau, tous les membres de l'expérience peuvent la consulter.

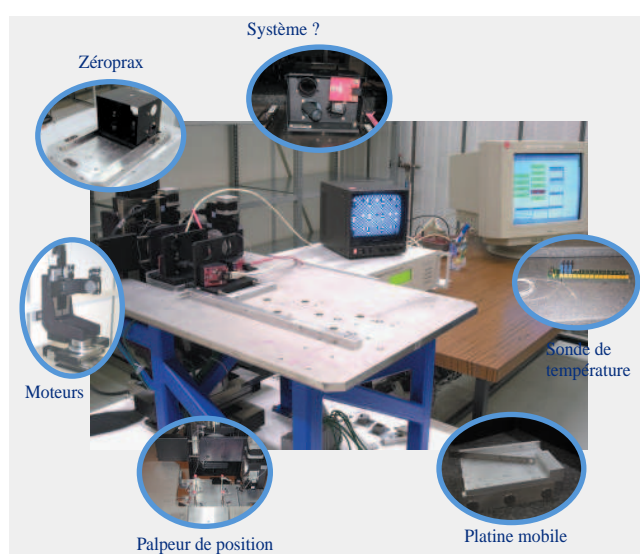


Figure 5 : Banc Caliprax.

Actuellement 40% des systèmes ont été étalonnés. Les résultats actuels sont meilleurs que les spécifications. Lorsque la totalité aura été étalonnée, l'ensemble des résultats sera publié dans un prochain numéro de *ScintillationS*.

Valérie Gautard (SIS)

### La matrice de transfert (alias matrice de passage)

Retournons un moment sur les bancs du lycée : en maths, on faisait des « changements de coordonnées », lorsqu'on changeait par exemple l'origine des axes. Ainsi, un point de coordonnées  $x_1$  et  $y_1$  dans l'ancien système avait dans le nouveau les coordonnées  $x_2$  et  $y_2$ . On passait d'un système à l'autre avec des équations (ou relations) du type :

$$x_2 = a_{11} x_1 + a_{12} y_1$$

$$y_2 = a_{21} x_1 + a_{22} y_1$$

Puis on « condensait » l'écriture ainsi :

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \end{pmatrix}$$

Le tableau des 4 coefficients  $a_{ij}$  s'appelait la *matrice* du changement d'axe. Et s'appelle toujours...

Dans l'espace à 3 dimensions, on fait pareil et on a une matrice 3x3, à 9 coefficients, etc.

Le système praxial ne procède pas autrement. Les deux Rasnik fournissent 8 données (voir plus haut). Ces données correspondent à 6 grandeurs réelles caractérisant le mouvement de deux chambres l'une par rapport à l'autre (3 translations et 3 rotations). Pour connaître exactement la correspondance entre l'ensemble des 8 données et celui des 6 grandeurs réelles, il faut 6 relations très semblables aux deux équations écrites plus haut, mais avec chacune 8 termes au lieu de 2. Dans l'écriture « matricielle », on passe donc des 8 données « Rasnik » aux 6 grandeurs « chambres » via une matrice 6x8, donc à 48 coefficients qu'il faut déterminer un à un. Voilà pourquoi l'on simule des déplacements en faisant exécuter autant de mouvements (que l'on mesure grâce aux palpeurs) qu'il y a de relations. Il faut donc arriver au moins à 6 positions différentes. En fait, on exécute 64 mouvements pour avoir plus de précision. Le tableau 6 sur 8 des 48 coefficients ainsi obtenu, c'est cette fameuse *matrice de passage* appelée aussi *matrice de transfert*. Cette matrice, établie une fois pour toutes, caractérise le système.

Joël Martin (SPhN)

## Georges Valladas (1920-2004)

Notre journal est heureux de publier cet hommage rempli d'émotion. Physicien complet, capable autant d'explorer la théorie que de fabriquer un détecteur de A jusqu'à Z, Georges Valladas, fut à lui seul un Dapnia avant la lettre. Sa modestie légendaire en aurait sans doute souffert, mais il fait irrésistiblement penser à Faraday, fils de forgeron, pratiquement autodidacte jusqu'à sa rencontre avec Davy dont il suivit les cours et qui l'embaucha à la Royal Institution de Londres comme assistant de laboratoire. On connaît la suite...

Georges Valladas, entré au CEA dès 1946, nous a quittés le 4 février 2004. Il était bien connu pour ses nombreux travaux sur les détecteurs, pour ses expériences auprès de l'accélérateur Saturne et ensuite pour le perfectionnement de la mesure de la thermoluminescence appliquée à la datation.

Né le 10 janvier 1920 à Paris, Georges Valladas était issu d'un milieu modeste. Sorti premier de l'École Diderot, il fut embauché en 1938 comme ajusteur « précisionniste » au Collège de France dans le laboratoire de physique expérimentale dirigé par Paul Langevin. Dès cette époque la recherche scientifique exerça sur lui un attrait profond qui l'amena à se consacrer entièrement à la vocation scientifique. Elle dominera toute sa carrière.

Très rapidement, son entourage et en particulier Maurice Surdin décelèrent en lui une grande curiosité scientifique alliée à un réel talent d'expérimentateur. Ils l'aiderent tout d'abord à passer son bac, lui qui n'avait que son certificat d'études. Il l'obtint aisément, ce qui donna lieu à un article dans la presse (l'*Excelsior* du 14 juillet 1939) avec pour titre « *Après quelques mois d'études un jeune mécanicien est devenu bachelier* ». Ensuite, parallèlement à son activité professionnelle, il prépara une licence ès-sciences mathématiques qu'il obtint en 1942.

La guerre et l'occupation ne lui facilitèrent pas la tâche. Rapidement démobilisé en 1941, il revint à Paris et entra comme ingénieur dans l'équipe de la « Radio-diffusion nationale » chargée du développement technique des installations de télévision de l'époque. La guerre finie, après

un bref service dans la marine où il obtint le grade d'enseigne de vaisseau, il fût l'un des premiers ingénieurs à être embauchés au CEA (laisser-passer n° 115) en 1946, au fort de Châtillon, dans le Service des constructions électriques dirigé par Maurice Surdin (photo 1). Il contribua à l'équipement de la première pile atomique française Zoé qui divergea le 15 décembre 1948. Lew Kowarski l'avait chargé de fabriquer des compteurs destinés à mesu-



Photo 1 : L'équipe Zoé en 1948, avec Georges Valladas à droite au 2<sup>e</sup> rang.

rer l'intensité du flux de neutrons émis par Zoé. Aucun équipement de ce type n'existait en France à cette époque, mais il réussit à mettre au point des compteurs au trifluorure de bore (BF<sub>3</sub>) grâce à des revues américaines.

S'orientant désormais vers la physique nucléaire, il participa à l'élaboration de l'appareillage électronique nécessaire aux expériences, notamment à la construction des chambres d'ionisation sensibles aux neutrons pour le contrôle de pureté de l'uranium et la mesure des flux au voisinage du cœur de Zoé. Rejoignant en 1949 le groupe de physique nucléaire fondé par André Berthelot, il réalisa une chambre d'ionisation à impulsions pour mesurer l'émission alpha<sup>1</sup> dite « de structure fine » de noyaux lourds ; ceci lui permit d'observer une série de niveaux d'énergie d'excitation de noyaux « pairs-pairs<sup>2</sup> »

(<sup>234</sup>Th, <sup>230</sup>Th, <sup>226</sup>Ra), niveaux dont l'existence était postulée par Niels Bohr.

En 1952, André Berthelot, devenu chef du Service de physique nucléaire installé depuis peu au nouveau centre de Saclay, charge Georges Valladas de former avec Paul Falk-Vairant le groupe des compteurs pour préparer l'exploitation des faisceaux de l'accélérateur Saturne. Il s'occupe de la conception et de la mise en œuvre de l'appareillage nécessaire qui, à

l'époque, n'était pas fabriqué par l'industrie. Dans la lignée de ces appareils figurera notamment le circuit de coïncidences à temps de résolution court et à haut taux de comptage réalisé plus tard avec Jean-Claude Brisson (photo 2).

Il joue également un rôle important dans la formation des jeunes physiciens expérimentateurs qui rejoignaient le laboratoire. Les nouvelles

équipes ainsi créées réalisèrent de très belles expériences qui firent, entre autres, grandement avancer nos connaissances sur ce qu'on appelait alors la « force nucléaire », celle qui assure la cohésion des noyaux *via* l'échange de mésons . Ces particules, appelées familièrement

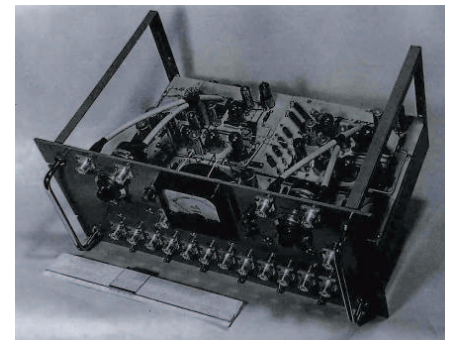


Photo 2 : Circuit de coïncidences du début des années 60 réalisé par Jean-Claude Brisson sous la direction de Georges Valladas.

(1) Noyaux qui émettent des noyaux d'hélium-4 (particules  $\alpha$ ), composés de deux protons et de deux neutrons.

(2) Noyaux contenant un nombre pair de protons et un nombre pair de neutrons. Cette configuration influe sur les caractéristiques de tels noyaux *via* le phénomène d'« appariement » des nucléons entre eux. Dans la formation de ces couples, il n'y a pas de laissés pour compte, pas de « nucléons célibataires », qui, comme dans une discothèque pourraient influencer sur la stabilité de l'ensemble ou sur son « énergie d'excitation »...

« pions », sont en quelque sorte un des ciment qui lie les protons et les neutrons à l'intérieur du noyau. Les travaux de Valladas et de son équipe ont permis d'étudier comment « prend » ce ciment en étudiant des processus d'interactions individuelles entre pions et protons (*encadré*).

Pour les spécialistes, il s'agit de mesures des sections efficaces totales et différentielles des diffusions de mésons  $\pi^\pm$  sur les protons. Leurs résultats furent utilisés par Pierre Bareyre et ses collaborateurs pour développer une analyse « en ondes partielles » complète de ces diffusions, qui fit autorité et permit la découverte de nouveaux états résonants.

En 1954, Georges Valladas soutient sa thèse de doctorat sur la spectrométrie des émetteurs alpha et ses applications, devant un jury composé de Francis Perrin, Irène Joliot, Edmond Bauer et André Berthelot (*photo 3*).



**Photo 3 :** Georges Valladas (à droite) après sa soutenance de thèse (1954) aux côtés d'André Berthelot.

C'est au cours de son travail de thèse que les qualités de physicien de Georges Valladas se sont clairement manifestées : à une excellente connaissance de l'appareillage et une recherche méticuleuse de son adaptation au problème physique à résoudre, il alliait le souci permanent d'éviter la technique pour la technique. De plus, dès cette époque Georges Valladas s'attache à assimiler les développements théoriques liés aux problèmes de physique nucléaire qu'il abordait sur le plan expérimental. C'est dans cet esprit qu'à la fin des années 60 il se penchera sur les mécanismes de création de « quasi particules » transitoires extrêmement

éphémères<sup>3</sup> formées lorsque le choc d'un pion sur un proton aboutit à la création d'un nouveau pion (*encadré*).

Georges Valladas a développé le *modèle isobarique* appliqué à la réaction  $\pi N \rightarrow \pi \pi N$  en formulant l'hypothèse qu'elle passe par un état intermédiaire à quasi deux corps  $\pi N \rightarrow (\pi N)_{\text{isobare}} + \pi$ . En collaboration avec Bernard Deler, il en explicite une formalisation détaillée et en assume la très lourde programmation. L'exploitation de ce modèle permet à une équipe de physiciens du laboratoire d'effectuer de nouvelles analyses « en ondes partielles » de cette réaction, travaux qui donnèrent lieu à plusieurs thèses.

Toujours passionné par la réalisation de détecteurs performants, Georges Valladas est accueilli en 1972 par Jacques Labeyrie au Centre des faibles radioactivités de Gif, laboratoire mixte CEA-CNRS où il développe la datation par *thermoluminescence*. Cette méthode permet l'évaluation des doses totales de rayonnement reçu par un matériau au cours des siècles à partir d'un fort réchauffement initial (poteries, roches volcaniques, etc.) et donne la mesure du temps écoulé. Il est ainsi possible de remonter jusqu'à 500 000 ans, beaucoup plus loin dans le temps que ne le permet la datation par le carbone-14<sup>4</sup>. Cette méthode eut des applications très variées. La découverte par Pierre-Yves Gillot d'une enclave granitique dans la lave de Laschamp, au nord-ouest de Clermont-Ferrand, permit, sur une suggestion de Jacques Labeyrie, de dater à environ 40 000 ans l'inversion du champ magnétique terrestre (appelée aussi « événement Laschamp »), dont l'âge était mal connu. En équipe avec sa fille Hélène,



**Photo 4 :** Georges Valladas dans son laboratoire de Gif.

il contribua à élucider les âges des sites, situés en Israël, de Kebara (où se trouvent des restes de l'Homo sapiens neanderthalensis, datés à environ 60 000 ans) et de Qafzeh (Homo sapiens sapiens, environ 92 000 ans). Ainsi, grâce à la thermoluminescence on peut penser maintenant que les hommes modernes apparus il y a au moins 100 000 ans proviennent de deux lignées distinctes. Georges continua à s'occuper dans son laboratoire de Gif (*photo 4*) de ces problèmes de datation jusque vers 1995, dix ans après avoir pris sa retraite.

Physicien expérimentateur de grand talent et d'une curiosité toujours en éveil, qui lui fit explorer des domaines très divers, Georges Valladas était très estimé par les milieux scientifiques français et étrangers. Ses collaborateurs et élèves l'aimaient pour son humour, sa courtoisie et sa générosité, sans oublier sa modestie légendaire. Il reçut en 1961 le prix Lacaze de l'Académie des sciences et en 1966 la médaille d'argent du CNRS, ainsi que la médaille du mérite du CEA qui lui fut remise par Francis Perrin (*photo 5*).



**Photo 5 :** Francis Perrin, Haut Commissaire à l'énergie atomique, remet à Georges Valladas la médaille du mérite du CEA.

Cette carrière exemplaire et atypique illustre l'originalité des équipes formées après la guerre de 1940 réunissant des chercheurs de formations très diverses et souvent non conventionnelles.

*Monique Neveu et Georges Cozzika (SPP)*

*Les auteurs souhaitent remercier la famille de Georges Valladas pour les photos, Jacques Labeyrie pour sa contribution et le service des archives du CEA ainsi qu'Angèle Séné (Dir) pour leur aide précieuse.*

Notes de bas de page de Joël Martin (SPhN).

(3) On les appelle *résonances baryoniques* ou *résonances isobariques* ou encore *isobares*. Leur durée de vie est de l'ordre de  $10^{-23}$  seconde.

(4) Très répandu dans notre environnement (gaz carbonique, CO<sub>2</sub>, de l'atmosphère, molécules organiques etc.) le carbone naturel, constitué principalement de carbone 12 (6 protons et 6 neutrons) stable, contient une très faible proportion (environ  $10^{-12}$ ) de carbone 14 (6 protons et 8 neutrons), élément radioactif de demi-vie 5730 ans. Cela veut dire que le nombre de <sup>14</sup>C d'un échantillon est divisé par 2 en 5730 ans, par 4 en 11 460 ans etc.). Le <sup>14</sup>C est produit en permanence dans l'azote de l'air par le rayonnement cosmique, et les échanges (respiration, photosynthèse, alimentation) entre l'atmosphère et le monde vivant en apportent aux organismes. Cet apport compense les pertes par radioactivité. À chaque instant, un organisme reconstitue son stock de <sup>14</sup>C dont la teneur reste ainsi constante. Mais, dès qu'un organisme meurt, son <sup>14</sup>C n'est plus renouvelé et sa teneur décroît. Il en est de même pour des objets comme des amphores, où sont piégées des bulles d'air, dès qu'ils sont enfouis. La mesure du rapport <sup>14</sup>C/<sup>12</sup>C permet donc de connaître la date de la mort et/ou de l'enterrement d'un vestige. Moins il lui reste de <sup>14</sup>C, plus sa mort est ancienne. Mais il faut qu'il en reste assez pour en mesurer le nombre. Or au bout de dix « demi-vies », soit 57 300 ans, il n'en reste plus qu'un petit millième. La datation au <sup>14</sup>C n'est donc plus praticable après quelques dizaines de milliers d'années. D'où l'intérêt d'autres méthodes pour dater des corps plus anciens.

## Courses vers le but : le Dapnia gagne grâce à ses thésards



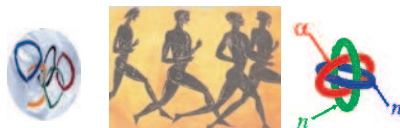
Le 23 septembre 2004, 53 équipes de Saclay ont couru le relais inter services autour du château d'eau. Médaille d'or : l'équipe du SPhN, composée de Audrey Châtillon, Emmanuel Clément, Walid Dridi, Jean-Éric Ducret, Valérie Lapoux, Claude Marchand, Laurent Nalpas et Alexandre Obertelli.

Sur huit coureuses et coureurs, quatre doctorants. Quels que soient les grands mérites (il faut beaucoup de courage pour arriver au but) et la combativité digne de tous les éloges des vaillants permanents, le succès de la formation nucléaire, menée au top de son physique et de sa technique par son entraîneur Antoine Drouart, a été forgé en grande partie par la fraîcheur et la jeunesse encore plus grandes de ses quatre « thésards ».



Photo Jean-Jacques Bigot (SIS)

Au-delà de l'exploit sportif (la compétition fut rude tant le niveau était relevé), la conclusion s'impose et le message est clair : la physique nucléaire n'est pas une disci-



pline en perte de vitesse. Plus généralement, et toutes disciplines confondues, pour rester dans le peloton de tête à la pointe de la physique et « booster » le dynamisme des équipes et de leurs projets, il faut au minimum maintenir, mieux encore, accroître le flux des jeunes recrutés dans les labos.

Cette course était un relais, discipline dans laquelle le passage du témoin est vital. Là encore le message est fort. Le terme « formation nucléaire » ci-dessus employé ne l'a pas été par hasard. Pas plus que ne l'a été le nom de ladite formation : « Les Borroméens », nom donné aux anneaux entrelacés façon anneaux olympiques, du noyau « exotique »

d'hélium-6 (schéma à droite des « coureurs grecs » colonne 2).

C'est un joli symbole de l'unité du Dapnia, ces entrelacs de particules qu'étudient nos trois disciplines. Anneaux solidaires : si l'un se rompt, les autres ne peuvent tenir. Cette unité s'est une fois de plus concrétisée, cette fois au plan sportif, par un joli tir groupé de nos équipes : Sedi (9<sup>e</sup>), SACM (18<sup>e</sup>), SAp, (20<sup>e</sup>), SIS (28<sup>e</sup>).

Le Dapnia est plus que jamais dans la course. Malgré ses actuels handicaps qu'on espère éphémères.

Rémi Chipaux, Valérie Lapoux, Joël Martin, Denis Mougeot, et Pilar Schweisguth (Dapnia)



Photo Jean-Jacques Bigot

Guy Le Roux (SIS).

Photo Daniel Desforge (Sédi)

Laurent (Nalpas) passe le témoin à Alexandre Obertelli.

### L'allègre gluon d'honneur

La pêche miraculeuse se poursuit dans *Un peu de science pour tout le monde* (Fayard, 2003), de Claude Allègre, ouvrage désormais bien connu de nos lecteurs (c'est d'ailleurs l'un d'entre eux qui nous a signalé la perle ci-après, bravo et merci !). Cette fois, notre mammouthologue national dégraisse certaines unités de longueur, comme en témoigne la note du bas de la page 143.

Allègre a raison : l'Unité Astronomique (UA) est bien la distance de la Terre au Soleil et elle est effectivement d'environ 150 millions de kilomètres, distance que la lumière parcourt en un peu plus de huit minutes. Mais l'ancien ministre confond allègrement l'UA et le *parsec*. Un parsec vaut 3,26 années-lumière. La lumière met donc 3,26 années pour franchir cette distance d'environ  $3,1 \times 10^{13}$  kilomètres. L'ami Claude se trompe, cette fois, d'un facteur 206 265. Il réussit donc à battre son record de 180 000, que relevait notre numéro 64. La suite au prochain numéro ?

Joël Martin (ScintillationS)



\* Distance Terre-Soleil = 1 Unité Astronomique (UA).  
UA = 3,262 années-lumière = 146 millions de kilomètres.

### Va-et-vient

**Juillet 2004** – Gilles Dispau (SIS) et Bernard Paul (Sédi) passent annexe 1. Toutes nos félicitations. Gilbert Pichot (Sédi) part en retraite. Bonne route, Gilbert et reviens nous voir !

**Août 2004** – Éric Pantin (SAp) prend un congé sabbatique de sept mois. De quoi bien écouter la musique des étoiles... À plus, Éric !

**Septembre 2004** – Hervé Lafoux (SPP) part en congé sabbatique et Pierre De Girolamo est muté à la DEN, au Département patrimoine et infrastructures. Bonne chance à tous les deux ! Gérard Lazare (SACM) prend sa retraite. On te la souhaite pleine de satisfactions, Gérard !

#### CEA - DIRECTION DES SCIENCES DE LA MATIÈRE

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION : Jean ZINN-JUSTIN  
COMITÉ ÉDITORIAL : Joël MARTIN (porte-parole),  
Claire ANTOINE, François BUGEON, Rémi  
CHIPAUX, Philippe CONVERT, Françoise  
GOUIGNAUD, Christian GOUIFFES, Pierre  
GUICHON, Christophe MAYRI, Alain MILSZTAIN,  
Xavier-François NAVICK, 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 novembre 2004