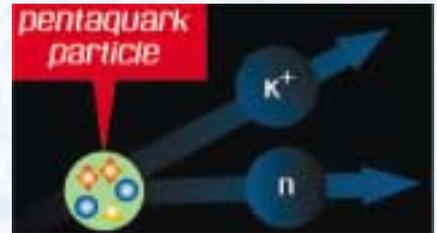


INFLATION, FLÈCHES ET FRONDES AU DAPNIA

Bien que la recherche traverse une forte zone de turbulences, ce numéro n'évoque ni l'inflation des départs non remplacés du Dapnia, ni les flèches que décochent à leurs tutelles les chercheurs traumatisés, ni la fronde de notre département qu'angoissent les visées à moyen ou à long terme de nos dirigeants.

L'inflation qui nous intéresse ici est celle du nombre des quarks dans un nouveau type de baryon, le pentaquark, annoncé dans le précédent numéro. Michel Garçon (SPhN) nous narre la possible irruption de cet étrange hadron à cinq quarks dans le bestiaire des particules (page 2).



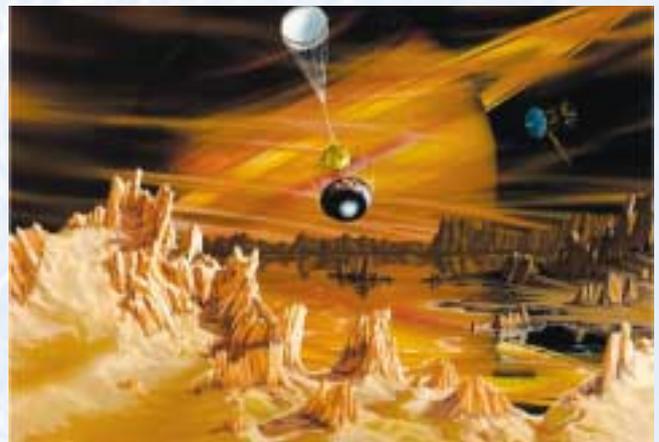
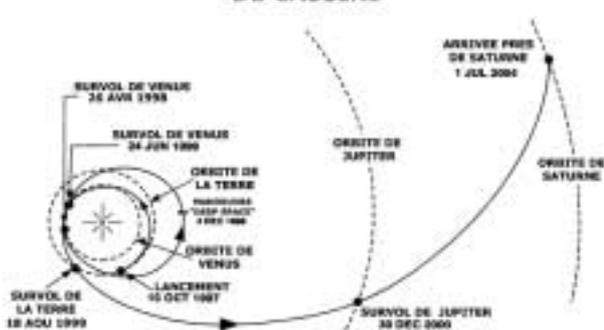
Les flèches présentées céans ne piquent que la curiosité des traqueurs du boson de Higgs : ce sont celles reliées à la courbure des trajectoires des muons que produit un « Higgs » en se désintégrant. Ces muons (voir l'encadré page 4) sillonnent l'énorme détecteur Atlas, en cours de montage dans une des cavernes souterraines du futur LHC. Ils y décrivent des arcs de cercle de plus d'une dizaine de mètres de long, mais dont la flèche est de l'ordre du millimètre. Autant dire que mesurer

l'énergie des muons par la courbure de leur trajet exige une précision pharamineuse dans le positionnement des détecteurs. On vise quelques centièmes de millimètre. Pour un monstre de la taille d'Atlas, c'est une véritable gageure. On y parvient, pourtant et le Dapnia y est pour beaucoup (page 4).

Quant aux frondes, ce sont deux planètes, Vénus et notre Terre qui jouent ce rôle en aidant à propulser vers Saturne la sonde Cassini-Huygens lancée il y a plus de six ans. Cet engin spatial, le plus imposant jamais lancé par des terriens en direction d'une autre planète, a tourné deux fois autour de Vénus, est revenue dire un petit bonjour à la Terre¹ (graphique), avant de s'en aller tester ses instruments (dont certains signés Dapnia) en survolant Jupiter, puis filer vers Saturne, ses anneaux, ses satellites. Sur le plus grand, Titan, se posera la partie « Huygens » de la sonde (vue d'artiste). La mission va durer au moins quatre ans (Page 6). Et le Dapnia ?

Joël Martin (SPhNS et ScintillationS)

TRAJECTOIRE INTERPLANETAIRE DE CASSINI



(1) Pourquoi un trajet si compliqué ? Pour bénéficier de l'assistance gravitationnelle des planètes que la sonde frôle à vitesse assez grande pour ne pas y tomber ni rester en orbite. Lors de chaque passage, la sonde est déviée et propulsée comme par une fronde dans une autre direction avec une vitesse accrue. Le voyage est plus long mais bien plus économique en carburant..

L'étrange pentaquark

Comme rappelé dans l'édito du n° 63 de *ScintillationS*, une nouvelle particule prédite par des Russes aurait été mise en évidence en mars 2003 par des chercheurs japonais, puis confirmée par d'autres collaborations. Contrairement à tous les baryons connus (figure 1), cette particule ne peut être considérée comme un assemblage de trois quarks. Il en faut au moins cinq pour la former, d'où son nom de pentaquark.



Fig. 1 : mésons (paire quark-antiquark) et baryons (trois quarks) sont des hadrons, particules soumises à l'interaction forte.

ils demeurent confinés à l'intérieur de particules qu'on nomme hadrons. Jusqu'à présent, on croyait que les hadrons se divisaient en deux familles : les baryons (exemple : protons et neutrons), formés de trois quarks, et les mésons (exemple : pions et kaons), formés d'un quark et d'un antiquark. On envisagea des combinaisons plus « exotiques », qu'on chercha activement, mais en vain. Le succès de la classification des particules existantes fit que ces expériences furent mises en veilleuse, mais des théoriciens continuèrent de former diverses

Saveur	Masse(GeV/c)	Charge élec.
u (up)	0,005	+2/3
d (down)	0,01	-1/3
c (charm)	1,5	+2/3
s (strange)	0,2	-1/3
t (top)	180	+2/3
b (bottom)	4,7	-1/3

Fig. 2 : tableau des quarks. Un pentaquark de charge électrique +1 et d'étrangeté positive est forcément l'assemblage de deux quarks u, deux quarks d et un antiquark s (de charge $[-1/3] = +1/3$) dont la charge électrique est : $(2/3+2/3) - (1/3+1/3) + (1/3) = +1$

hypothèses. Et voilà qu'en 1997, les théoriciens russes Dimitri Diakonov, Victor Petrov et Maxim Polyakov, de l'Institut de physique nucléaire de Saint-Pétersbourg, prédisent l'existence d'une particule de masse environ 1,5 fois celle du proton (soit environ 1,5 GeV), formée de deux quarks up, deux quarks down et d'un quark anti étrange (ou antiquark étrange). Aucune loi de la nature

ne l'interdit son existence. Pourtant, ce présumé « pentaquark » a échappé à toutes les traques. Gros soucis chez les théoriciens : s'il n'existe pas, c'est qu'il manque à la théorie un volet expliquant pourquoi la nature interdirait son existence.

Soulagement six ans plus tard : l'équipe du physicien japonais Takashi Nakano, de l'université d'Osaka, a peut-être découvert un nouveau baryon qui n'entre dans aucune classification connue, produit par un faisceau de photons de haute énergie frappant une cible de carbone. Parmi toutes les réactions possibles, on a isolé celles qui passent par la création d'une paire de kaons sur les neutrons des noyaux de carbone. Dans certaines, le neutron et le kaon positif produits semblent provenir en majorité de la désintégration d'une particule de masse déterminée, autour de 1,5 GeV, celle que prédisaient les Russes (fig. 3).

oulagement six ans plus tard : l'équipe du physicien japonais Takashi Nakano, de l'université d'Osaka, a peut-être découvert un nouveau baryon qui n'entre dans aucune classification connue, produit par un faisceau de photons de haute énergie frappant une cible de carbone. Parmi toutes les réactions possibles, on a isolé celles qui passent par la création d'une paire de kaons sur les neutrons des noyaux de carbone. Dans certaines, le neutron et le kaon positif produits semblent provenir en majorité de la désintégration d'une particule de masse déterminée, autour de 1,5 GeV, celle que prédisaient les Russes (fig. 3).

oulagement six ans plus tard : l'équipe du physicien japonais Takashi Nakano, de l'université d'Osaka, a peut-être découvert un nouveau baryon qui n'entre dans aucune classification connue, produit par un faisceau de photons de haute énergie frappant une cible de carbone. Parmi toutes les réactions possibles, on a isolé celles qui passent par la création d'une paire de kaons sur les neutrons des noyaux de carbone. Dans certaines, le neutron et le kaon positif produits semblent provenir en majorité de la désintégration d'une particule de masse déterminée, autour de 1,5 GeV, celle que prédisaient les Russes (fig. 3).

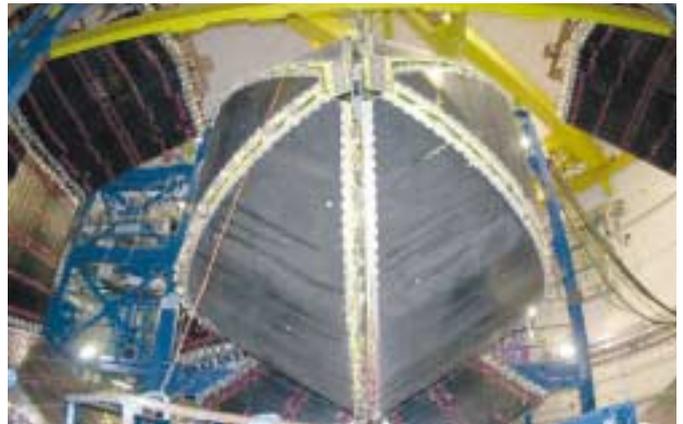


Fig. 4 : Clas (Cebaf Large Acceptance Spectrometer) dans le Hall B du Laboratoire Jefferson

La collaboration Clas (photo fig. 4) et *ScintillationS* n° 50 et 55) du laboratoire Jefferson¹ aux États-Unis, dans deux publications récentes, confirme cette observation sur des bases plus solides et des données plus abondantes. Au sein de cette collaboration, les physiciens du Service de physique nucléaire du Dapnia ont contribué à la construction du détecteur, à la cible cryogénique et à la mise au point du faisceau de photons envoyé successivement sur des cibles de deutérium et d'hydrogène. Ces noyaux très simples ont été choisis comme cible car ils permettent d'identifier toutes les particules produites et de s'affranchir d'effets subtils et indirects dus à la structure nucléaire des cibles composées de noyaux plus lourds. Le résultat de ces expériences met en évidence un « pic » caractéristique dû à la nouvelle particule avec une plus grande précision statistique que la mesure des pionniers japonais (graphique fig. 5).

La nouvelle particule a été baptisée Θ^+ (thêta-plus). Sa masse, environ 1,530 GeV, implique qu'elle ne peut être

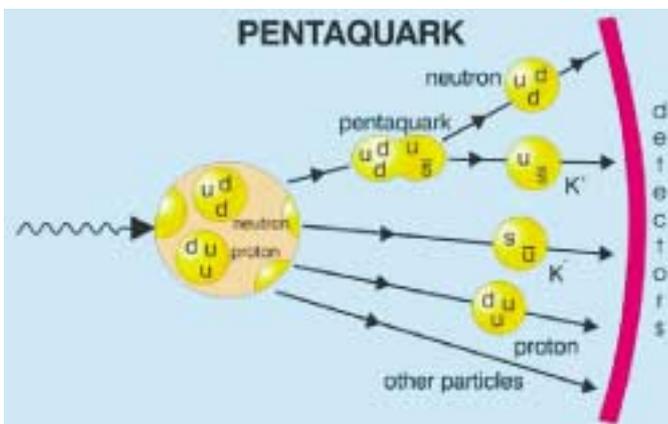


Fig. 3 : processus de formation et de désintégration du pentaquark Θ^+ ($\Theta^+ \rightarrow nK^+$) dans l'expérience japonaise.

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

formée que des trois quarks les plus légers (voir leur tableau, fig. 2). Le Θ^+ est le seul baryon connu dont l'étrangeté - une caractéristique des hadrons - est positive. On peut montrer que la combinaison la plus simple de quarks et d'antiquarks conduisant à une étrangeté positive et une charge électrique entière contient nécessairement au moins cinq composants, quatre quarks et un antiquark ; d'où le nom de pentaquark. Malgré sa désintégration, le pentaquark vit suffisamment longtemps (10^{-20} seconde) par rapport à la durée d'une réaction relevant de l'interaction forte pour mériter le statut de particule. Son existence n'infirme pas les théories admises. Mieux, elle apporte un éclairage nouveau à la « zoologie » des hadrons, qui se révèle plus diverse que ce qui était communément admis. On est ainsi amené à considérer l'existence d'autres pentaquarks (figure 6 dans l'encadré). D'autres laboratoires ont également observé le Θ^+ et on recherche activement de nouveaux pentaquarks ou d'autres particules exotiques. Pour autant, certaines expériences, en particulier à des énergies élevées, n'observent pas le Θ^+ . En outre, il n'y a pas consensus quant au mécanisme exact d'interaction qui donne naissance à cette configuration particulière. Des expériences plus complètes, dont la plupart

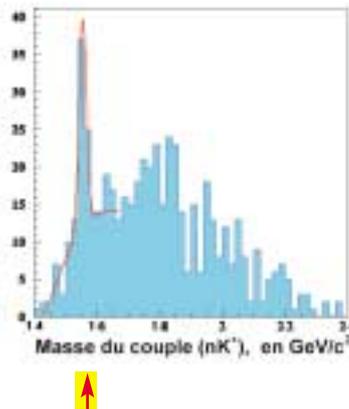


Fig. 5 : étude de la production, au JLab, de θ^+ par choc de photons sur des noyaux d'hydrogène (protons). C'est la réaction : $\gamma p \rightarrow \pi^+ \theta^+ K^+$. Elle est suivie de la désintégration du θ^+ en un neutron et un kaon positif ($\theta^+ \rightarrow n K^+$). L'accumulation des événements correspondant à une masse particulière du système nK^+ édifie un « pic » (signalé par la flèche rouge sur fond jaune) caractéristique de l'existence de la nouvelle particule θ^+ (thêta plus). On observe une structure similaire dans la réaction sur le deutérium, dont le noyau est un couple proton-neutron.

auprès du détecteur Clas, devraient d'ici peu apporter une réponse définitive quant à l'existence de cette particule et en préciser la nature. La connaissance de tels états de la matière permettra de savoir de mieux en mieux comment les quarks et les gluons sont organisés pour former les hadrons, et en particulier les protons et les neutrons qui constituent la quasi-totalité de la matière connue.

Michel Garçon (SPhN)

Nouveaux Mendeleïev et poupées russes

Les physiciens pénètrent toujours plus profondément au cœur de la matière comme dans des poupées gigognes, mais les raisonnements pour mieux la comprendre se reproduisent souvent.

En 1868, Dmitri Mendeleïev classe les 63 éléments chimiques connus dans un tableau qui le rendra universellement célèbre. Il range les éléments par masse atomique croissante, sur plusieurs lignes, d'une façon telle que des éléments ayant des propriétés chimiques très semblables se retrouvent sur une même colonne. Chaque élément connu trouve sa niche dans cet édifice, mais certaines restent vides. En 1875, on découvre un nouvel élément, le gallium, puis deux autres peu après, le germanium et le scandium. Chacun des trois s'imbrique dans la niche qui l'attendait, à la place prévue par Mendeleïev. Après les découvertes de l'électron (1898), du noyau atomique (1908-1911), puis du proton (1919) et du neutron (1932), on établit que le numéro d'ordre de chaque élément, son *numéro atomique* (Z), est égal au nombre d'électrons qui entoure chaque atome de l'élément. Z est également le nombre de protons dans le noyau de l'atome dont est ainsi assurée la neutralité électrique.

En 1964, Murray Gell-Mann et Yuval Ne'eman proposent un classement des particules élémentaires basé sur des arguments de symétrie. Ce classement aboutit à des groupes de 8 (octuplets) ou 10 (décuplets) baryons. De même pour des mésons. Mais certains groupes sont incomplets. En particulier, une niche d'un des octuplets reste vide. En 1964 une équipe de Brookhaven, aux États-Unis, découvre la particule que les nouveaux Mendeleïev avaient prévue. Cette particule, l'*oméga-moins* (Ω^-), complète le puzzle en se logeant dans la niche qui l'attendait. La démarche du chimiste russe s'est reproduite : 1) on classe une collection désordonnée d'éléments suivant leurs propriétés ; 2) ce classement fait apparaître une structure d'accueil où chaque élément trouve son logement, dont certains restent inoccupés ; 3) les caractéristiques de chaque niche vide permettent de prévoir les propriétés de l'élément susceptible de s'y insérer ; 4) on découvre tout ou partie des éléments manquants.

Jamais deux sans trois : en 1997, trois théoriciens russes prédisent l'existence d'un baryon qui échappe à toutes les classifications connues, le pentaquark. Ils en calculent les propriétés (masse, composition). Ce pentaquark aurait été débusqué en 2003 à l'université d'Osaka, au Japon, puis confirmé à JLab, aux États-Unis, et dans d'autres laboratoires. Il a les caractéristiques prévues. Le Mendeleïev qui sommeille en tout physicien se réveille. Le pentaquark serait le membre le moins massif d'une nouvelle famille de dix membres (Fig. 6).

Joël Martin (SPhN)

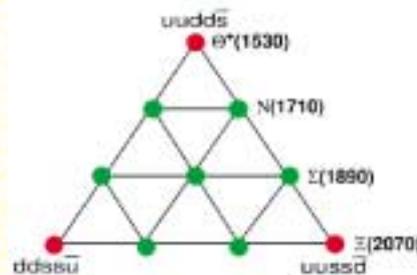


Fig. 2 : le Θ^+ serait membre d'un nouveau groupe de 10 pentaquarks, illustré par ce triangle dont les 3 sommets, en rouge, sont les seuls à renfermer un antiquark sans le quark correspondant. Les points verts représentent des particules déjà connues comme baryons à trois quarks, mais ils pourraient être en fait des pentaquarks possédant, en plus des trois quarks, une paire composée d'un quark et de son antiquark. De haut en bas, l'étrangeté diminue de +1 à -2 (on passe de la présence d'un antiquark étrange d'étrangeté +1 à celle de deux quarks étranges, chacun d'étrangeté -1), et la masse augmente. Chaque palier d'étrangeté décroissante contient un nombre croissant de particules.

Pour en savoir plus, on peut lire avec intérêt

- dans « Le Figaro » du 3 juillet 2003 : *Le pentaquark, nouveau venu dans la matière,*
- dans « La Recherche » de septembre 2003 : *Les quarks vont aussi par cinq,*
- et dans « Pour la Science » d'avril 2004 : *À la découverte du pentaquark.*

Chercher le micron pour traquer le boson

Un des objectifs du détecteur Atlas est de prouver l'existence du *boson de Higgs* (voir page 5), et si possible de mesurer sa masse. Le boson de Higgs a une durée de vie extrêmement brève. En se désintégrant, il émet entre autres des muons (encadré) dont il faut déterminer l'énergie, directement liée à leur trajectoire. Pour bien connaître cette trajectoire, il faut au préalable avoir positionné les détecteurs le plus précisément possible les uns par rapport aux autres. Tâche cruciale dont le Dapnia est l'une des chevilles ouvrières.

Atlas (A Toroidal LHC ApparatuS) est l'un des grands ensembles de détection du futur LHC, du Cern, à Genève. Il est constitué de plusieurs éléments, dont le détecteur de muons (en bleu sur l'« éclaté »). Ce dernier comporte entre autres 600 *chambres à dérives* disposées en trois couches. Ces chambres doivent être parfaitement alignées les unes par rapport aux autres et leurs plans doivent être parallèles. Il est donc crucial de connaître la position de chacune avec la plus grande précision. On vise 30 micromètres « en translation » et 100 microradians, environ 20 secondes d'angle, « en rotation ». Le Dapnia et l'institut néerlandais de Nikhef se sont vus confier la tâche essentielle de concevoir et de réaliser le système d'alignement optique des 660 chambres de la partie centrale - le baril - du spectromètre, et de le valider par des tests auprès d'un faisceau de muons au Cern. Dans le prochain numéro, Valérie Gautard (SIS) détaillera le système d'alignement *Praxial* dont les performances vont au delà de la précision requise.

Le trajectographe à muons (en bleu) est formé de trois cylindres de diamètres 9, 14 et 20 mètres et de longueur 26 mètres. Il contient 300 000 fils d'une longueur qui peut aller jusqu'à 6 mètres. On ambitionne de connaître la position de chaque fil par rapport à son support avec une précision meilleure que 0,02 mm. Ce n'est pas un raffinement superflu car la flèche des trajectoires de muons courbées par le champ magnétique du toroïde d'Atlas n'est, pour les plus énergiques (de l'ordre du téraélectronvolt - le TeV vaut mille milliards d'électronvolts) que de l'ordre du millimètre sur plusieurs mètres.

Contacts au Dapnia : Claude GUYOT (SPP, 01 69 08 55 74)

Patrick PONSOT (SIS, 01 69 08 79 30)

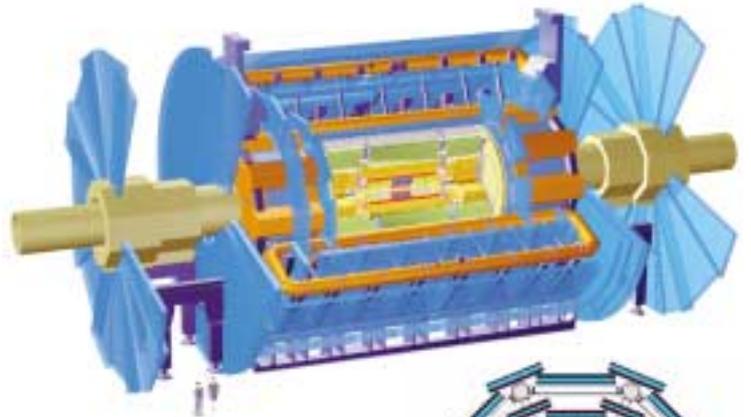
Philippe SCHUNE (SPP, 01 69 08 70 61)

Muons en flèche

LEPTONS	
électron	neutrino électron
muon	neutrino muon
tau	neutrino tau

Les muons sont des cousins éphémères et lourds des électrons. Avec les taus, encore plus éphémères et plus lourds, électrons, muons et leurs neutrinos associés sont les six *leptons* qui, avec les six quarks constituent le matériau de base de toute la matière connue.

Si l'on parvient à créer un boson de Higgs, on s'attend à ce que sa désintégration produise entre autres des muons dont on mesurera l'énergie en évaluant la courbure de leur trajectoire dans l'énorme champ magnétique de l'aimant toroïdal d'Atlas (voir n°17). Cette trajectoire est un arc de cercle dont la courbure est d'autant plus faible que le muon est énergétique. Ceux produits dans le LHC auront une énergie allant de quelques GeV (milliards d'électronvolts) de l'ordre du TeV (téraélectronvolt, soit mille milliards d'eV). Aux plus hautes énergies, l'arc de cercle que décrit le muon se confond presque avec sa corde, et la flèche est de l'ordre du millimètre pour des trajectoires qui dépassent la dizaine de mètres⁽¹⁾.



Eclaté d'Atlas



Pour en savoir plus :

http://www-dapniai2.cea.fr:82/Faits_marquants/55/ ou <http://www-dapnia.cea.fr>

<http://marwww.in2p3.fr/~kbernard/devel/atlascpmm/Calo/Publis/jjc03.pdf>

<http://bulletin.cern.ch/fre/articles.php?bullno=29/2001&base=art&artno=BUL-NA-2001-036>

(1) Un arc est une portion limitée de courbe quelconque. La corde, c'est la droite qui joint les deux extrémités de l'arc. La flèche est portée par la perpendiculaire abaissée sur la corde, du point de l'arc qui en est le plus éloigné ; dans le cas d'un arc de cercle, la flèche joint le milieu de l'arc au milieu de la corde.

Le boson de Higgs, ou comment la masse vient aux particules (C'est un peu comme lorsqu'une masse de perturbateurs empêche de mieux fendre la presse)

Le photon, messenger de la force électromagnétique, n'a pas de masse. Les bosons Z et W, messagers de la force faible en ont une, très élevée, presque une centaine de fois celle du proton. Pourtant, à très haute énergie, force électromagnétique et force faible ne font qu'une [1]. Pourquoi des masses si différentes pour deux sortes de particules, qui, somme toute, jouent un rôle analogue ? Et au fait, pourquoi le proton est-il 1836 fois plus lourd que l'électron ?

En 1963, Peter Higgs d'un côté, Robert Brout et François Englert, de l'autre, postulent l'existence dans tout l'espace d'un champ (appelé depuis le champ de Higgs) avec lequel toutes les particules interagiraient avec plus ou moins de force. On fête en cette année 2004 le 40^e anniversaire de leur mémorable publication. La masse serait la manifestation mesurable de cette interaction : plus l'interaction est forte, plus la masse serait grande (cf. la BD ci-dessous [2]). En fait, le champ de Higgs serait quantifié, comme d'autres « champs de forces ». (Par exemple, le grain de champ électromagnétique, son quantum, c'est le photon). Le quantum du champ de Higgs serait le *boson de Higgs* [3]. Serait, car on ne l'a pas encore débusqué, ce Higgs, pierre angulaire du « modèle standard » (voir *ScintillationS* n° 49), quoique des chercheurs du LEP l'aient peut-être entrevu [4]. Mais par quel mécanisme, le « Higgs » apporterait-il leur masse aux particules ? Une jolie bande dessinée du Cern [5] en donne ci-dessous une petite idée.



Une représentation (très) imagée du *mécanisme de Higgs* : imaginez une salle bourdonnante de physiciens devisant, par exemple, sur le boson de Higgs. Cette salle symbolise un espace où règne le *champ de Higgs* [a]. Les scientifiques sont grégaires et cancaniers. Si une rumeur franchit le seuil de la salle [b] un essaim de physiciens proches de la porte s'agglutine pour en discuter. La rumeur se propage aux physiciens voisins qui s'agrègent à leur tour pour la commenter. Ainsi, de proche en proche, dans le sillage de la rumeur, se forme et se propage un agrégat de physiciens [c]. Ce sont donc les physiciens eux-mêmes qui, en propageant la rumeur, créent les conditions de la formation et de la propagation de pâtés de physiciens. Dans cette image, ces pâtés jouent le rôle des *particules de Higgs*.

Surgit alors Einstein (dans le scénario original, c'était Margaret Thatcher) [d] autour duquel immédiatement se collapse un essaim compact d'admirateurs. La progression du grand homme va s'en trouver contrariée car à chacun de ses pas s'agglutine un nouvel essaim [e]. Cette résistance au mouvement rappelle l'inertie [6] d'un mobile massif. Autrement dit, l'interaction du savant avec le milieu des physiciens au sein duquel il se propage lui confère une « masse » d'autant plus élevée qu'il peine à se frayer un chemin. C'est l'image de ce qui se produit pour une particule baignant dans le champ de Higgs, et dont la masse est directement reliée à l'intensité du couplage particule-champ.

Commentaire de la BD traduit très librement de l'anglais, texte et notes, par Joël Martin (SPhN)

Pour la petite histoire : en 1993, le ministre britannique de la science met au défi les physiciens de raconter le Higgs en une page, bouteilles de champagne à la clé. Vainqueur du concours : David Miller, de l'University College, à Londres, auteur de ce scénario.

[1] La force *électrofaible*. Voir *ScintillationS* n° 42, pages 2 et 4, et n° 62, page 3.

[2] Le Cern est exempt de pédants qui ne veulent pas des BD (*ndlr*).

[3] Il y en aurait peut-être même plusieurs. Pour en savoir plus, on peut lire l'excellent article de Paul Colas et Boris Tuchming, tous deux du SPP, dans *La Recherche* n° 364 (mai 2003)

[4] D'après leurs dires, ils auraient bien traqué (*ndlr*). LEP : « Large Electron Positron » collisionneur, du Cern (*ScintillationS* n° 12, 26, 28, 43, 49).

[5] <http://www.exploratorium.edu/origins/cern/ideas/higgs.html>

[6] L'inertie d'un corps massif est la résistance qu'il oppose à sa mise en mouvement par une force extérieure. À force motrice égale, un corps de masse m accélère deux fois plus qu'un corps de masse $2m$. Un gros lourd est plus dur à bouger qu'un petit mince. Et le petit mince se glisse plus facilement que le gros dans une foule molle. Le « couplage » du petit avec la foule est plus faible que celui du gros qui a une plus grosse masse : en scrutant les réactions d'un corps couplé, on constate que, plus intense est l'interaction, moins on perd la masse dans la foule.

(Pour cet encadré) 7 !

La Daphnia voit (infra)rouge

Après un périple de plus de six ans et demi, la sonde internationale Cassini-Huygens vient d'être mise en orbite autour de Saturne. Cette sonde est équipée de nombreux instruments, dont le spectromètre infrarouge *Cirs* (Composite InfraRed Spectrometer) auquel le *Daphnia* a fortement œuvré. Retour sur l'odyssée de la plus grosse sonde spatiale jamais lancée, et sur la contribution du CEA (*Daphnia* et *Léti*) à des éléments-clés de ce spectromètre infrarouge doué d'une sensibilité et d'une finesse d'observation sans précédent

Contacts SAP : Cécile Ferrari (01 69 08 78 29)
et Louis Rodriguez (01 69 69 08 48)



Fig. 1 : La sonde allume sa rétrofusée

Vue d'artiste

La sonde Cassini-Huygens

Projet mobilisant 260 scientifiques, Cassini-Huygens se compose d'un « orbiteur » américain (Cassini) doté de douze instruments et d'une sonde européenne (Huygens), portant six instruments. Avec ses 5,6 tonnes, sa hauteur de 6,8 mètres et sa largeur de 4 mètres, c'est le plus lourd et imposant vaisseau spatial jamais satellisé autour d'une autre planète que la Terre. Il a été lancé le 15 octobre 1997 par une fusée américaine Titan IV B.

Six ans et demi et 3,5 milliards de kilomètres plus tard, la sonde est dans les parages de Saturne. Le jeudi 1^{er} juillet 2004, vers 1 h 12 TU, elle allume son moteur principal pendant 96 minutes, pour freiner afin de se laisser capturer par l'attraction de Saturne (Fig. 1, page 5). Dans cette opération, elle se glisse à deux reprises entre ses anneaux G et F (Fig. 2 et encadré page 7). Cassini-Huygens est devenu le premier objet humain en orbite autour de la sixième planète du système solaire et de son cortège de satellites et d'anneaux, prêt à en

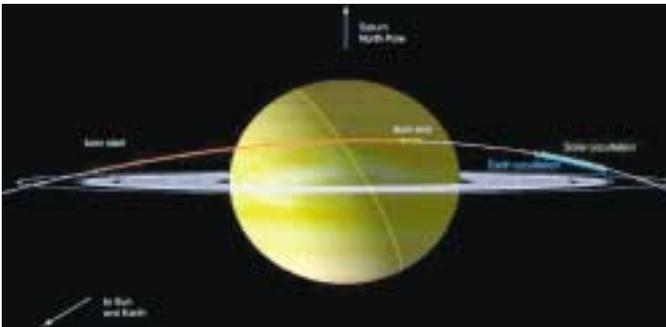


Fig. 2 : La mise en orbite de la sonde Cassini-Huygens autour de Saturne. Vue équatoriale. La sonde a survolé les anneaux à 18000 km d'altitude et traversé deux fois le plan des anneaux entre les anneaux F et G.

percer d'essentiels mystères.

« Le système autour de Saturne représente un laboratoire incomparable, où nous pouvons chercher des réponses à de nombreuses questions fondamentales sur la physique, la chimie, l'évolution des planètes et les conditions ayant permis l'apparition de la vie. » commente Ed Weiler, de la Nasa.

Cassini-Huygens observera Saturne au moins jusqu'en 2008, effectuant 78 révolutions autour de la planète et 54 passages à moins de 50 000 kilomètres de neuf lunes parmi les trente et une connues du système saturnien.

L'étude de la plus grosse lune de Saturne, Titan, est un des temps forts de la mission. Cassini passera 45 fois dans son voisinage, la frôlant même à 950 kilomètres. En outre, le 25 décembre, Cassini libérera la sonde Huygens. Le 14 janvier 2005, après 20 jours de vol en solo, Huygens pénétrera dans l'atmosphère de Titan, déploiera son parachute (illustration page 1) et, si tout s'est bien passé, sera le premier engin terrestre à se poser sur le satellite naturel d'une autre planète.



Cirs dans la sonde Cassini

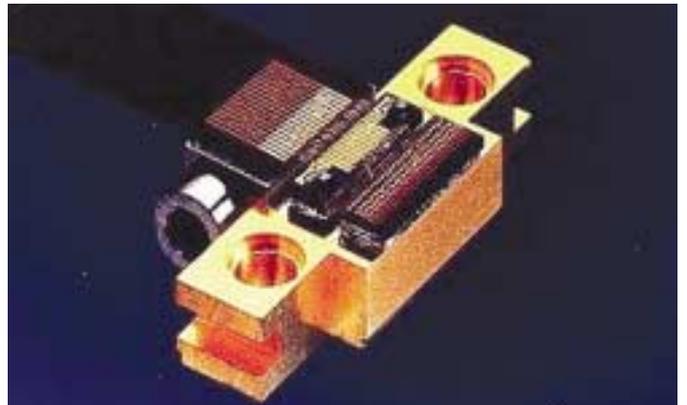
Huygens effectuera deux heures et demie d'observations scientifiques, transmises en direct à Cassini qui relayera vers la Terre (voir vue d'artiste ©Nasa).

Les principales missions de Cassini-Huygens

- déterminer les propriétés thermiques, la composition chimique et la dynamique des anneaux de Saturne
- déterminer la composition de la surface des satellites de Saturne et leur histoire géologique
- mesurer la structure et le comportement dynamique de la magnétosphère de Saturne
- étudier la dynamique de l'atmosphère de Saturne au niveau des nuages
- étudier l'évolution temporelle des nuages et brumes de Titan
- cartographier Titan (principalement en ondes radar qui traversent les nuages).

Le spectromètre Cirs¹

D'un poids total de 40 kilogrammes, Cirs va détecter l'émission infrarouge des corps de toutes tailles composant les anneaux de Saturne (encadré p. 7). Emmagasinant la chaleur des rayons du Soleil, ces objets ont une température qui varie de -220°C à -170°C suivant les saisons et l'heure de la journée saturnienne (voir *ScintillationS* n° 45, page 8). Le CEA a contribué à la réalisation de cet instrument en fournissant un élément-clef : une barrette de 10 détecteurs infrarouges fabriquée par le Léli (Laboratoire d'électronique et des technologies de l'information), ainsi que son électronique associée, fabriquée au Dapnia (SAP et SIS) en partenariat avec le Cnes. Testé lors du survol de Jupiter en janvier 2001, l'instrument fonctionne parfaitement. Sis au foyer d'un télescope d'ouverture 50,8 cm, Cirs est composé de deux interféromètres de Michelson, mus par le même moteur. Le premier couvre le domaine « sub-millimétrique », de longueur d'onde de 17 à 1000 micromètres. L'autre renferme la barrette de détecteurs susmentionnée. Il s'agit de détecteurs semi-conducteurs de tellurure de mercure et de cadmium (HgCdTe, photo ci-dessous) sensibles à l'infrarouge moyen et lointain (de 7 à 17 micromètres). Grâce à sa large couverture du domaine infrarouge, sa très grande sensibilité et sa capacité à distinguer des détails d'une centaine de kilomètres à 300 000 kilomètres de distance (chaque pixel représente environ une minute d'angle au carré), il contribuera ainsi largement à l'avancée des connaissances sur Saturne et l'évolution de ses fascinants anneaux avec lesquels la sonde Cassini-Huygens aura d'abord joué à saute-mouton.



Barrette de dix cellules photovoltaïques en HgCdTe réalisée par le Léli/LIR pour Cirs

(1) Collaboration Esa-Nasa : Centre Spatial Goddard (GSFC) de la Nasa à Washington, Université d'Oxford, Queen Mary's College de Londres, Dapnia (SAP et SIS), Leti et Observatoire de Paris-Meudon.

Les anneaux de Saturne

En 1610 Galilée croit observer deux satellites de part et d'autre de Saturne. Vers 1655, Huygens, disposant d'une meilleure optique, voit qu'il s'agit d'anneaux. Vingt ans après, Cassini découvre une division dans leur structure (ainsi que Titan) et suggère qu'ils sont formés d'une multitude de « petits satellites ». Ce qu'en 1785, Laplace corrobore en prouvant qu'un anneau solide serait détruit par les *forces de marée** qu'induit l'attraction de la planète géante. En 1849, un mathématicien, Edouard Roche démontre qu'il existe une distance, appelée depuis limite de Roche, en deçà de laquelle tout objet qui gravite autour d'un astre est brisé par les forces de marée. La *limite de Roche* vaut en gros 2,5 fois le rayon de l'astre attracteur, mais diminue quand augmente la densité du satellite. Pour Saturne, la limite de Roche est d'environ 145 000 kilomètres (distance au centre). La formation des anneaux à l'intérieur de la limite de Roche s'expliquerait ainsi par un double phénomène : la « poussière » de petits objets gravitant autour de l'astre ne pourrait s'agglomérer en satellites plus gros, et un satellite qui serait « tombé » sous cette limite fatidique y serait pulvérisé. Seules les petits corps survivent sans casse en deçà de la limite de Roche. Les anneaux sont poussières, cailloux, rochers, ou astéroïdes.

Hubble, Voyager, maintenant la sonde Cassini-Huygens continuent l'exploration. Les anneaux de Saturne apparaissent composés de corps de toutes tailles, allant de quelques centimètres jusqu'à plusieurs kilomètres.



La dynamique des anneaux de Saturne est mal connue, car c'est un milieu fluide complexe, à mi-chemin entre un sable et un liquide, issu d'interactions diverses entre ses divers constituants : gravitation, collisions, fragmentation, accretion, interactions électromagnétiques, et aussi bombardement par des météorites et des particules énergiques. À grande échelle, les interactions gravitationnelles entre les satellites et le disque sont complexes. L'attraction mutuelle des différents corps de l'anneau a entre autre pour conséquence la

formation d'ondes diverses, ainsi que d'anneaux excentriques.

Les satellites principaux des grosses planètes ont un rôle de « sculpteur » et de « berger » de ces structures annulaires. Leurs outils sont la gravité et les résonances. Il y a résonance quand la période orbitale de la particule est *commensurable* avec la période du satellite, c'est-à-dire quand la particule décrit un nombre entier de révolutions autour de l'astre dans le même temps que le satellite en décrit un autre nombre entier. Le passage d'un satellite induit sur la particule d'un anneau une force de marée répulsive qui la transfère sur une orbite légèrement excentrique. Pour les particules de l'anneau en résonance avec un satellite, les perturbations du satellite se cumulent. L'effet de répulsion assez paradoxal qui en résulte explique l'existence d'anneaux étroits confinés par deux satellites « bergers », comme c'est le cas, pour Saturne, de son anneau F (*photo*), dont la largeur n'atteint que de 500 kilomètres, comparée par exemple à celle de l'anneau G (8 000 kilomètres, supérieure au rayon de la Terre). C'est entre les anneaux F et G que la sonde Cassini s'est glissée deux fois.

Les anneaux, dont Ciris va étudier entre autres les propriétés thermiques, mine d'informations sur la nature des corps qui les composent, sont un remarquable laboratoire d'étude des disques stellaires et permettent d'étudier des mécanismes en jeu dans les galaxies, les disques circumstellaires ou les disques d'accrétion. En particulier, il sera sans doute fructueux d'examiner les phénomènes au voisinage de la limite de Roche (*au-delà de laquelle un corps n'est plus attiré préférentiellement par la planète – ou l'étoile*) pour chercher à comprendre la formation des planètes. En effet, Saturne peut s'apparenter à une étoile, ses anneaux aux disques de poussières stellaires et ses satellites aux exoplanètes. Ciris est, pour ces études, un instrument privilégié**.



L'anneau F de Saturne

Joël Martin (ScintillationS)

* Chaque point de l'objet subit de l'astre une attraction dont l'intensité est différente de celle que subit le point voisin s'il est à une distance différente de l'astre ; dès qu'elle est supérieure aux forces de cohésion de l'objet, cette différence de forces peut le disloquer, ce qui se produit si l'objet est assez gros et se trouve « trop proche » de l'astre. C'est ce qui arriva en juillet 1992 à la comète Shoemaker-Levy 9, pour avoir trop frôlé Jupiter (ScintillationS n° 20).

** C'est en observant en 1999 des émissions infrarouge du disque de poussières entourant l'étoile β -Pictoris (ScintillationS n° 20), que la caméra « Timmi » (Thermal Infrared MultiMode Instrument) réalisée au SAP pour l'ESO (European Southern Observatory) y a décelé un « trou », signalant peut-être la présence d'une planète en formation.

Plumes du Dapnia

À une époque où la science est peu reconnue comme composante de la culture, on peut se pencher sur les albums des aventures de Tintin avec une certaine nostalgie. Pas moins de quatre albums sur vingt-quatre ont pour fil rouge un sujet



Éclipse partielle (celle dans Tintin est totale), du 23/5/03, prise au 1000 mm à Charny (77)

scientifique, principalement astronomique, souvent traité avec un luxe de détails et une exactitude qui nous laissent surpris et admiratifs. Roland Lehoucq (SAP) et Robert Mochkovitch (de l'Institut d'astrophysique de Paris) ont lu et relu ces albums. Ils ont donné de nombreuses conférences sur Tintin et l'astronomie : Tintin, prétexte pour aborder l'astronomie et la physique, en quelque sorte. Ils nous livrent aujourd'hui la substantifique moelle de leurs réflexions dans un livre publié chez Flammarion : *Mais où est donc le temple du soleil ?* (Enquête scientifique au pays d'Hergé).

Les auteurs n'entendent pas décerner des bons ni des mauvais points. Mais on ne peut qu'être étonné par la précision avec

laquelle la plupart du temps – il demeure quelques erreurs, que les auteurs pointent avec bonhomie – Hergé traite son sujet : le plan de vol de la fusée lunaire dans *On a marché sur la Lune*, par exemple, est correct à la minute près, même si la stratégie du professeur Tournesol n'est pas vraiment la même que celle de la Nasa dans les missions Apollo !

La représentation de la science dans *Tintin* n'est pas le seul sujet du livre. Il en est un autre, que je trouve encore plus intéressant. Les auteurs se posent des questions *qui ne font pas partie du récit*, dont l'une sert de titre à l'ouvrage. Peut-on, par exemple, dater le voyage de la fusée lunaire à partir des informations disponibles dans les albums ? Là, les auteurs

adoptent la démarche des archéo-astronomes, mi-historiens mi-astronomes, qui se penchent sur des documents anciens, chinois, babyloniens ou autres, pour tenter d'en tirer des informations historiques (des dates de règne par exemple) ou scientifiques (le ralentissement de la rotation terrestre). En voyant cette méthode à l'œuvre, nous comprenons un peu mieux comment elle fonctionne. Dans cette même veine, je vous laisse découvrir par quels moyens les auteurs ont localisé le temple du Soleil, à moins que la perspective d'inhaler le gaz de la huitième boule de cristal ne vous fasse reculer au dernier moment.

On prend beaucoup de plaisir à lire ce livre plein de science, d'humour et de bandes dessinées.

Alain Milsztajn (SPP)



Ce dessin, pêché sur le site http://perso.club-internet.fr/pinczon/Why/baignoire_d_archimede.html agrémenté un joli texte de Nicolas Witkowski, coauteur de *La Baignoire d'Archimède* (Seuil, 1996)

L'Allègre gluo d'honneur

Merci au fidèle Claude Allègre pour son éminente contribution à notre rubrique. Comme signalé dans le n° 63 de *ScintillationS*, l'ancien ministre, dans son ouvrage¹ *Un peu de science pour tout le monde*, paru chez Fayard en 2003, gratifie ses lecteurs d'une véritable mine de perles.

On est dans le bain dès la deuxième page du premier chapitre (page 12) : « *Il faut des milliards de milliards de milliards d'atomes ou de molécules pour constituer un gramme de n'importe quelle substance* ». Prenons l'exemple de l'eau (H₂O). Une mole (ou molécule gramme) d'eau contient, comme toute mole de n'importe quelle substance, 6,023 10²³ molécules, chacune de ces molécules d'eau renfermant un atome d'oxygène lié à deux atomes d'hydrogène. Cette mole d'eau a une masse de 18 grammes. Posons nous la question de savoir quelle est la

masse de « *milliards de milliards de milliards de milliards de molécules d'eau* ». Pour simplifier le calcul, prenons la quantité suivante : 6,023 milliards de milliards de milliards de molécules d'eau. Cette quantité, que l'on peut écrire ainsi : 6,023x10⁹x10⁹x10⁹, est égale à 6,023 10²⁷ molécules d'eau. C'est à dire 10 000 moles, de 18 grammes chacune. La masse de cette quantité d'eau est donc égale à 180 000 grammes, soit 180 kilogrammes, masse assez éloignée du gramme qu'annonce Allègre. Avec ces 180 litres, on a de quoi remplir la baignoire d'Archimède. Au niveau de la correction des erreurs, Allègre, d'emblée, se montre un peu trop coulant... Et il fait prendre des risques inconsidérés à son illustre ancien car, dans une baignoire avec un seul gramme d'eau, c'est à dire un millilitre, on plonge droit vers l'accident (voir le dessin colonne 1).

Joël Martin (ScintillationS)

Va et vient

Juin 2004 – Inédit en 12 ans de *ScintillationS* : tels sœur Anne, nous n'avons rien vu venir ni aller en ce beau mois de juin de l'an de grâce 2004. Calme plat, en particulier sur le front des départs. Pourvu que ce calme ne précède pas quelque avis de tempête...

Pan ! sur le Becquerel

« *Ô temps, suspend ton vol !* », suppliait le poète Alphonse de Lamartine, peut-être en train de tomber dans son fameux lac peut-être vidé par un Allègre avant la lettre (voir le *Gluon d'Honneur*)... Martine Baldini, annoncée dans le n° 63 comme arrivée de fraîche date, est en réalité des nôtres depuis mars 2003 et non 2004.

Qu'elle trouve ici l'expression des excuses confuses du porte-parole, en proie sans doute à une distorsion temporelle momentanée de ses synapses. La bouteille de rigueur attend la victime à l'Orme des Merisiers.

Les lauriers du Dapnia

Marc Lachièze-Rey (SAp) vient de recevoir un des Grands Prix de l'Académie française 2004 : le Prix Moron de Philosophie pour son livre *Au delà de l'espace et du temps*, paru aux éditions Le Pommier

en 2003 (voir *ScintillationS* n° 58). Les académiciens ont bon goût. Bravo, Marc pour ton beau message spatial et ton temps qui n'est pas toujours à régler...

Le SPHN s'est illustré lors du concours photo 2004 de l'AACCEA Saclay : deux de ses membres ont remporté chacun un deuxième prix du Jury : Valérie Lapoux, en couleur, et Joël Martin, en noir et blanc. Chacun a gagné un superbe bouquin de photos, et mesure ainsi les progrès qu'il lui reste à faire. En attendant, voici les deux photos primées :



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 GOUGNAUD, Christian GOUFFES, Pierre GUICHON, Christophe MAYRI, Alain MILSZTAJN, 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 août 2004

14!

(1) Et dans d'autres, comme *De l'étoile à la pierre* (Fayard, 1985, réédité en 1996, avec toujours beaucoup d'erreurs). Mais l'auteur ne parle pas de « bips » dans la croûte de l'étoile à pierre...