

Le millénaire nouveau est arrivé

Higgs ou pas Higgs ? Sursis pour le LEP ou fermeture ? Le suspense aura duré jusqu'à la fin du millénaire et votre journal du DAPNIA favori ne paraît qu'en 2001. Montage du LHC, respect des engagements industriels et souci des deniers publics obligent, les hautes autorités du CERN ont joué l'orthodoxie du planning et arrêté définitivement le LEP. Mais pour les milliers de chercheurs qui « y ont cru », le tunnel désormais du LHC demeure hanté par le souvenir du Graal un instant entrevu. Quels qu'en soient les découvreurs définitifs, ils seront à jamais redevables aux pionniers du Large Electron-Positron collisionneur (en français dans le texte)

ScintillationS

Une brève histoire du LEP

Du Z au Higgs

Le LEP, une usine à physique

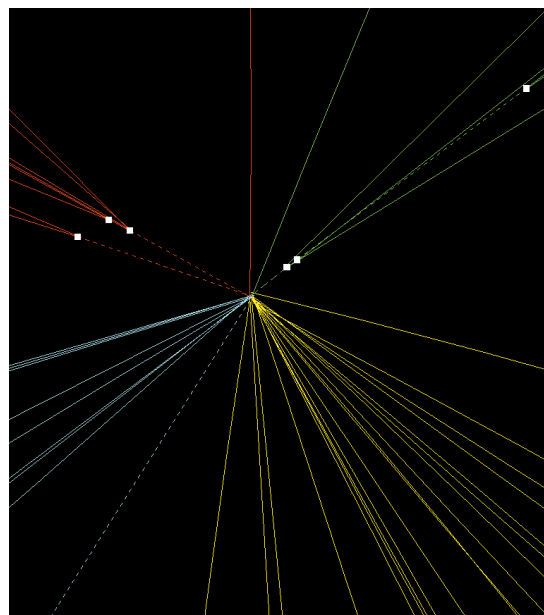
Qui n'a pas entendu parler du LEP, ce tunnel en forme d'anneau de 27 km de circonférence rempli d'aimants et de cavités accélératrices ?

Ou, plus scientifiquement, ce collisionneur d'électrons et de positons à des énergies de 45 à 105 GeV par faisceau. Imaginé dans les années 70 pour découvrir et étudier le Z, le boson intermédiaire neutre de l'interaction faible, construit entre 1984 et 1989, il voit son premier faisceau faire un tour complet exactement à la date prévue, le 14 juillet 1989. Un mois plus tard, dans la nuit du 13 au 14 août, les premières collisions sont enregistrées dans les quatre détecteurs ALEPH, DELPHI, L3 et OPAL. De nombreux laboratoires, principalement européens, mais aussi américains, japonais, et chinois, ont contribué pendant une décennie à la conception et à la construction de ces énormes masses métalliques (plusieurs milliers de tonnes) truffées d'électronique ultra-rapide (des millions de canaux), dont les éléments les plus délicats

sont positionnés à une dizaine de microns près.

Le DAPNIA a largement contribué à cette réalisation, en construisant l'aimant d'ALEPH, un des plus grands solénoïdes supraconducteurs du monde, SICAL, le calorimètre de luminosité d'ALEPH (voir *ScintillationS* n° 13), et en participant à la construction de la TPC de DELPHI, du calorimètre électromagnétique d'ALEPH et d'éléments de l'acquisition d'OPAL ainsi que du détecteur « temps de vol » de cette expérience. Les mérites respectifs de ces détecteurs ont été décrits par André Roussarie (voir *ScintillationS* n° 12).

Il était prévu que le LEP prendrait des données jusqu'en 1999, avant d'être démantelé pour laisser la place au LHC dans lequel les électrons et positons de 100 GeV sont remplacés par des protons de 7000 GeV. Canaliser ces protons nécessite des aimants 70 fois plus



Agrandissement à l'échelle 2 de la zone d'interaction d'un des événements « Higgs » possibles d'ALEPH pour lequel les trajectoires des particules chargées ont été reconstruites et extrapolées jusqu'au centre du détecteur. Les quatre couleurs correspondent à quatre jets issus des désintégrations (supposées) du Higgs (bleu et vert) et du Z (jaune et rouge) en quatre quarks beaux. On voit clairement certains des points d'origine des particules secondaires, signatures de la présence de quarks lourds (beaux et charmés).



Vue d'artiste représentant la production d'un Z « gonflé » qui donne un Z et un Higgs. Le Z et le Higgs se désintègrent à leur tour presque instantanément en respectivement une paire quark anti-quark et une paire quark anti-quark beaux. Dans le détecteur, ces quatre quarks se manifestent sous la forme de quatre jets de particules (Illustration de Boris Tuchming)

puissants que ceux du LEP, ce qui condamne ce dernier à faire place nette. Mais, vu leur puissance, les aimants de LHC ne peuvent qu'être supraconducteurs. Il a donc fallu mettre sur pied une énorme usine cryogénique pour refroidir ces aimants à une température proche du zéro absolu. Retombée bénéfique pour le LEP : le surcroît de refroidissement qu'apporte cette usine a pu être utilisé pour faire fonctionner plus efficacement les cavités accélératrices. Aussi, la décision a été prise, fin 1998, de laisser le LEP tourner en l'an 2000 à une énergie sans précédent, peut-être suffisante pour produire le fameux boson de Higgs, qui avait jusqu'ici échappé à toutes les tentatives de le débusquer. Selon le plan prévu en début d'année, l'accélérateur devait être arrêté le 11 septembre 2000. Mais en août, alors que les résultats concoctés pour la grande conférence internationale d'Osaka concluaient à une exclusion du boson de Higgs jusqu'à la limite de sensibilité du LEP, quelques événements présentant toutes les caractéristiques de la production d'un boson de Higgs d'environ 114 GeV sont apparus. L'un d'eux avait d'ailleurs été déjà présenté à la conférence d'Osaka. L'espoir renaissant, il a été décidé de continuer à accumuler des données jusqu'au 2 novembre.

Nous allons vous conter cette aventure

plus loin, mais avant, retraçons les grandes lignes de ce que le LEP a apporté.

Les années Z

Le premier but du LEP était de produire des millions de Z, sortes de photons lourds, porteurs de l'interaction faible au même titre que les photons sont porteurs de l'interaction élec-

tromagnétique. Ces Z, prédits par la théorie pour rendre compte de certaines interactions des neutrinos, avaient été découverts au CERN en 1983 dans les expériences du SPS, le collisionneur de protons et d'antiprotons. Quelques milliers avaient été produits au Tevatron, l'équivalent américain, à plus haute énergie, de la machine européenne. Le LEP allait en produire 16 millions de 1990 à 1995, avec une énergie d'environ 91 GeV.

Cette masse de données accumulées a permis de vérifier dans ses moindres détails de nombreux aspects du modèle standard. La comparaison des taux de désintégration des Z en différents leptons (voir le tableau des particules, n° 5, 19 ou 47) a permis de vérifier avec une précision d'un pour mille que la seule différence entre électron, muon et tau est qu'ils ont des masses différentes. En outre, en comparant le nombre de Z produits au nombre de désintégrations observées dans le détecteur, on a obtenu la probabilité pour que le Z se désintègre en particules indétectables, essentiellement des neutrinos. Cela a permis de déterminer qu'il existe trois espèces de neutrinos, avec une précision de 3 pour mille ! Cela rend extrêmement improbable l'existence d'une quatrième famille de leptons et de quarks. Autre résultat d'importance : en comparant la masse du Z que prédit la théorie et la valeur obtenue au LEP, précise à 2 pour 100 000, on a pu mettre en évidence les corrections quantiques (voir « *Comment ça marche* ») à cette masse. La forte dépendance de ces corrections avec la masse du top a permis de mesurer celle-ci avant

la mise en évidence directe au Tevatron en 1995. Ce faisant, le LEP a établi que la théorie électrofaible était compatible avec la théorie quantique des champs. C'est d'ailleurs ce qui a valu le prix Nobel l'année dernière aux physiciens M. Veltman et G. 'tHooft qui avaient les premiers calculé ces corrections quantiques. Cerise sur le gâteau, on a déterminé que la masse du Higgs était inférieure à 210 GeV, alors qu'avant les mesures du LEP, toute valeur de 0 à un millier de GeV était acceptable.

La grande énergie du LEP a été mise à profit pour tester d'autres particules : les leptons « superlourds » tau et les quarks porteurs de beauté ont pu être étudiés en détail, en tirant parti de l'allongement relativiste de leur durée de vie (voir « *Comment ça marche* »). Cela a permis de découvrir une particule porteuse à la fois de beauté et d'étrangeté, le B_s^0 , et de mesurer sa masse et sa durée de vie. Les durées de vies des autres particules ont été mesurées plus précisément qu'auparavant, permettant de tester des modèles théoriques. Les B neutres sont capables de se transformer en leurs antiparticules une ou plusieurs fois avant de se désintégrer. Ce phénomène avait été observé dans les expériences UA1 et ARGUS à la fin des années 80, mais il a pu être étudié beaucoup plus précisément au LEP.

Les années W

En 1995, le LEP atteint ses capacités maximales de production de Z, et on ne peut espérer beaucoup d'amélioration des résultats en continuant dans ce mode de fonctionnement. On augmente alors progressivement l'énergie du LEP, pour atteindre 161 GeV en 1996 (voir *Scintillation* n° 26), ce qui permet de produire pour la première fois des W par paires et d'entamer la mesure très précise de la masse de ce boson. Cette mesure contribue au cocktail de mesures précises qui permet de mieux déterminer les paramètres du modèle standard, en particulier la masse du Higgs. Très important également, la probabilité de production des W va être mesurée au cours des trois années qui suivent. Après révision soignée des calculs, on trouve une valeur en excellent accord avec les prédictions théoriques. Si

le Higgs n'était pas là, on s'attendait à ce que cette probabilité augmente démesurément avec l'énergie. Ce n'a pas été le cas. Autre conséquence importante de cet accord, on vérifie que la force de couplage du Z avec le W est conforme à la prédiction du modèle standard.

Comme on le voit, le tableau de chasse au LEP est excellent et dépasse toutes les espérances. Les résultats sont consignés dans près de 2000 articles. Près d'un millier de thèses ont été soutenues grâce aux données du LEP ou des tests de ses détecteurs. Mais, malgré tout ses succès, le Higgs manquait encore dans la gibelière des physiciens du LEP.

Les années Higgs

Juillet 2000. Toutes les cases du modèle standard sont occupées. Toutes ? Non, une particule résiste encore aux expérimentateurs : le Graal de la physique des particules, le Higgs.

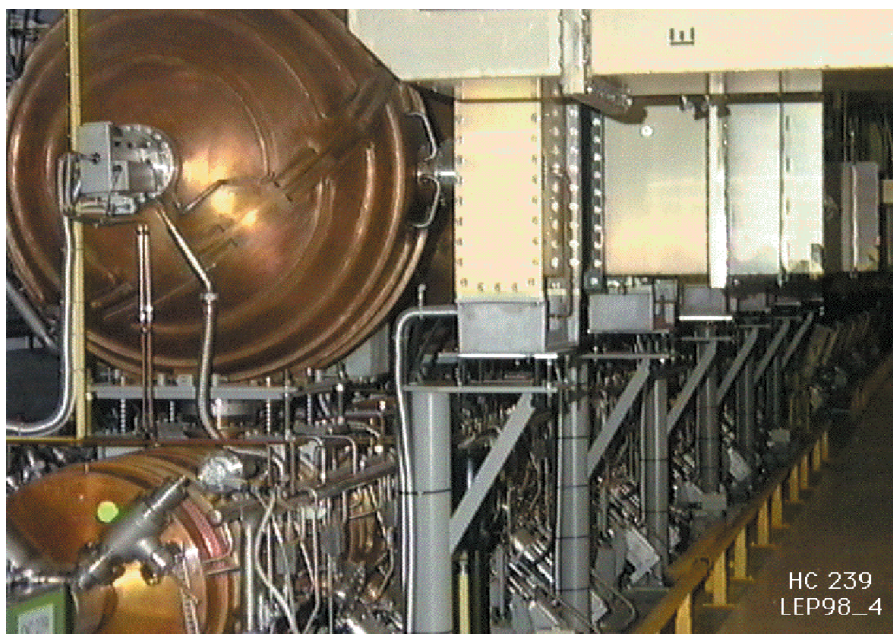
Depuis 1989 ou 1990, on a la certitude que toute la matière est composée de trois familles de quarks et de leptons. Du moins, on prouve qu'il existe trois sortes de neutrinos suffisamment légers pour être produits dans les désintégrations de Z, et il ne manque que le quark top au tableau (il manque aussi la preuve de l'existence du neutrino tau, preuve qui sera fournie par une expérience à Fermilab au printemps 2000). Le top est découvert en 1995 à Fermilab. Toutes les forces auxquelles les quarks et les leptons répondent sont identifiées, leurs intensités et leurs portées bien déterminées, la structure profonde de la théorie électrofaible solidement confirmée. Le LEP a plus que rempli son contrat. Cependant, la cohérence même de cette théorie demanderait que les particules W et Z soient sans masse et que les interactions faibles soient de portée infinie (*encadré*). Or, il est évident que ce n'est pas le cas. Pourquoi en est-il ainsi ? Pourquoi la symétrie entre le photon, le W et le Z est-elle brisée, et pourquoi les W et Z ne se propagent-ils pas à la vitesse de la lumière, comme le photon ?

Le physicien Peter Higgs, et, en même temps Robert Brout et François Englert, ont suggéré dès 1963 une explication :

selon eux, les W et les Z ont une masse apparente due au fait qu'il règne dans tout l'espace un champ avec lequel ils interagissent sans cesse. De manière imagée, les W et les Z heurtent sans cesse des particules, cela gêne leur mouvement ce qui leur donne une masse apparente d'autant plus grande qu'est grande l'intensité de leur interaction avec cet environnement (un peu comme dans une foule : un gros attiré peine plus qu'un petit pour fendre la presse). On peut expliquer de la même

175 GeV, mais il faudrait 350 GeV pour en produire une paire, ce qui est trop pour un Higgs de 115 GeV) On recherche donc des événements avec un Z qui peut se désintégrer en une paire de quarks (ce qui donne des jets) ou une paire de leptons (deux traces bien identifiées) ou une paire de neutrinos (de l'énergie non détectée), accompagnée d'une paire de jets de *b* ou de τ .

A la grande conférence internationale d'Osaka (juillet 2000), il ne manque donc



L'une des 48 cavités accélératrices en cuivre du LEP. L'essentiel de la puissance accélératrice est en fait donnée par 288 cavités supraconductrices en niobium.

façon la masse de tous les quarks et leptons, en supposant qu'ils se couplent au Higgs avec des intensités différentes. Ainsi, le top aurait un couplage maximal avec le champ de Higgs, ce qui lui donnerait sa masse très grande. Le bottom (ou beau) serait un peu moins couplé, et ainsi de suite... Puisqu'un Z peut rebondir contre un Higgs, un Z préalablement « gonflé » avec une énergie suffisante peut se transformer en un Z normal et un Higgs. C'est ainsi que l'on pensait produire des Higgs au LEP2 (le LEP avec 105 GeV par faisceaux) car LEP 2 peut produire de ces Z « gonflés ». Ensuite, signature caractéristique, le Higgs se désintégrerait en une paire de quarks beaux, ou de leptons tau, puisque ce sont les particules les plus lourdes, donc couplées au Higgs avec les plus grandes intensités (le top est encore plus lourd,

plus que le Higgs pour compléter le tableau. Les quatre expériences LEP ont combiné leurs résultats et n'obtiennent - cela deviendrait presque lassant - qu'un accord parfait avec les prédictions, sans manifestation de la particule de Higgs.

Il y a quand même, dans ALEPH, un événement candidat compatible avec un Higgs de masse 114 GeV qui pourrait s'interpréter comme la production d'un Z donnant à son tour deux jets légers accompagné d'un Higgs qui donne deux jets de *b*. Mais les simulations détaillées de tous les processus connus montrent qu'il pourrait s'agir d'une configuration particulière d'un processus beaucoup plus courant. Or, même en prenant en compte cet événement, la combinaison des résultats conclut à une exclusion (avec une quasi-certitude de 95%) du Higgs pour toute masse inférieure à 113,4 GeV.

Les physiciens quittent donc Osaka pratiquement convaincus que le Higgs ne sera pas trouvé au LEP. Et puis, début août, un événement vient s'ajouter au premier, puis un autre fin août, tous deux également dans ALEPH. Alors que le LEP devait s'arrêter, bredouille, le 11 septembre, on décide de le prolonger deux semaines de plus. Mais il est déjà clair que ces deux semaines ne suffiront pas.

Le 5 septembre, on présente publiquement les résultats combinés des quatre expériences du LEP. On décide une prolongation jusqu'au 2 novembre dans l'espoir que de nouveaux « candidats »

confirmeront le signal. Quelques jours avant le coup de gong final, L3 enregistre un événement ressemblant à un Higgs flanqué d'un Z^0 se désintégrant en deux neutrinos. Un événement de plus, c'est maigre, mais c'est tout ce qu'on pouvait attendre en si peu de temps. La probabilité pour que l'ensemble de ces candidats Higgs soient en fait des processus « classiques » est estimée à moins de 4 pour mille. Ce n'est pas une preuve, mais une forte indication. Un an de plus aurait permis au LEP de confirmer cette indication et donc d'inscrire le Higgs à son palmarès.

Les hautes sphères en ont décidé

autrement, estimant que tous les plans de construction du LHC en auraient été complètement bousculés, avec des conséquences dommageables en coût et en retard.

Le LEP s'arrête donc définitivement, prématurément pour les passionnés chasseurs du Higgs, mais suscitant le formidable espoir de sa prochaine capture. D'autres collisionneurs sont en préparation pour découvrir et étudier le Higgs, où qu'il se trouve : le Tevatron, le LHC et un collisionneur linéaire électron-positon à plus haute énergie que le LEP.

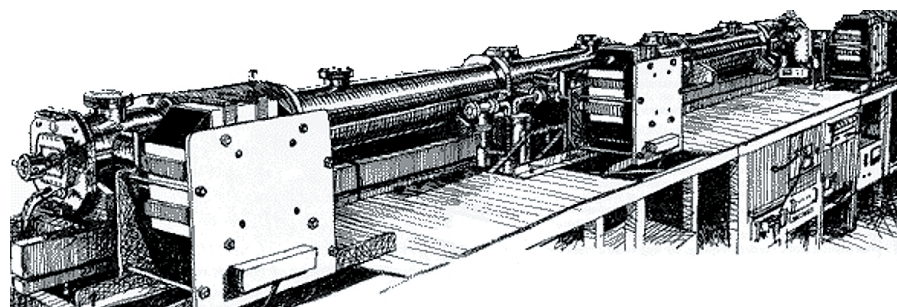
Paul Colas et Boris Tuchming (*) (SPP)

COMMENT ÇA MARCHE ? La vitesse, facteur de longévité ?

Le muon, ce cousin lourd de l'électron (voir le tableau des particules n° 47) a une durée de vie de 2,2 millièmes de secondes (μs). On a mesuré cette valeur en laboratoire sur des muons fabriqués sur place. 2,2 μs , c'est le temps nécessaire à un grain de lumière, un photon, le plus rapide des projectiles actuellement connus, pour faire un six cents mètres. Autrement dit, même si un muon allait aussi vite, il n'aurait pas plus de 600 mètres d'autonomie.

Le hic, c'est que nous autres terriens sur le plancher des vaches sommes à chaque instant criblés de muons cosmiques engendrés au moins à vingt kilomètres au dessus de nos têtes, dans la haute atmosphère terrestre. L'autonomie de tous les muons du ciel est donc égale au moins à cette distance, et leur durée de vie est d'au moins 66 μs . Soit 30 fois plus que leurs collègues terrestres. Et pourtant, ce sont des muons identiques, on l'a vérifié sous toutes les coutures.

La réponse à cette énigme est apportée par Einstein. Sa théorie de la Relativité restreinte montre que plus la vitesse d'un objet



Faisceau de césium atomique qui sert à définir la seconde et le mètre, la vitesse de la lumière étant fixée par convention.

s'approche de la vitesse de la lumière ($c = 299\,792\,458$ m/s), plus le temps semble s'écouler lentement pour cet objet, pour qui le regarde passer. Un corpuscule, quel qu'il soit, qui fonce à la moitié de la vitesse de la lumière, augmente son temps de vie d'un peu plus de 15 %. S'il va à 90 % de c , son temps de vie est un peu plus que doublé. Et pour que sa vie soit 30 fois plus longue, comme celle d'un muon cosmique, sa vitesse doit être égale à 99,94 % de c .

Les collisions au LEP engendrent des leptons « tau » et des quarks « beaux » de très grande énergie cinétique. Leur vitesse, très proche de celle de la lumière, allonge

notamment leur vie, donc leur parcours : 25 fois pour les tau, 8,6 fois pour les B . Ces derniers peuvent ainsi parcourir une fraction de millimètre avant de se désintégrer. Cela suffit à des détecteurs de trajectoire très précis pour déterminer le point de départ des particules détectées, et donc de déterminer si telle ou telle vient ou non du point d'interaction. On sépare ainsi le bon grain de l'ivraie.

Les particules ne sont pas comme les chauffards : la vitesse les fait vivre plus longtemps...

Paul Colas et Joël Martin

(*) – Les inconditionnels du Higgs peuvent se plonger dans la thèse de Boris Tuchming qui donne tous les détails de la longue traque des pisteurs qui testent pour découvrir d'autres particules. Lecteur, examine la thèse de Boris, et lis ! (NDLR's)

Un super-Jupiter à 55 années-lumière

Détection de planètes hors du système solaire

Notre système solaire est entouré d'un disque de poussières de la taille du micromètre créé par les collisions entre « petits corps » : astéroïdes, objets de la ceinture de Kuiper (figure 1), ou par le choc de météorites sur les planètes et leurs satellites, ou encore par la sublimation de comètes. C'est le *disque zodiacal*. Son diamètre est d'environ 200 UA*

Hypothèse non encore confirmée : un tel disque serait composé des restes d'un premier disque plus dense formé d'objets allant

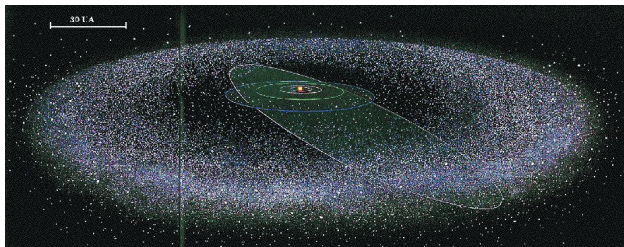


Figure 1 : Dessin d'artiste représentant notre système solaire, avec les 9 planètes entourées d'une myriade de petits corps kilométriques formant la « ceinture de Kuiper »

de quelques microns à la centaine de kilomètres, qui se seraient fragmentés. De tels disques autour d'étoiles signalent-ils la présence de planètes autour d'elles ? Une enquête cosmique menée par plusieurs laboratoires sur toute la planète est en cours.

En 1984, le satellite IRAS observant dans l'infrarouge a détecté, autour de jeunes étoiles âgées de quelques centaines de millions d'années, des disques « massifs », précurseurs possibles de disques zodiacaux comme le nôtre. Le plus célèbre est celui de l'étoile β Pictoris, à 70 années-lumière (voir *ScintillationS* n° 20).

Pour comprendre la genèse de ces

disques, il faut pouvoir les observer et les étudier à divers stades d'évolution. Il faut aussi déterminer si ces systèmes contiennent des planètes pour voir si les modèles « tiennent la route » car la plupart des mécanismes proposés font intervenir une planète massive.

En outre, les théories d'interaction gravitationnelle entre planète et disque prédisent l'existence de structures dans les disques.

On peut alors avoir la preuve indirecte de la présence de planètes en observant les traces qu'elles laissent dans la structure des disques ; dans le cas de β Pictoris, le vide de matière dans les régions centrales ainsi que la forte asymétrie donnent de fortes présomptions que le disque renferme une planète de la taille de Saturne. Pour en savoir plus, le SAP a entrepris la recherche de disques tenus autour d'étoiles du même type que le Soleil ayant un compagnon planétaire dé-

tecté par la méthode des vitesses radiales (voir « *Comment ça marche* »). Lors d'une campagne en septembre 2000 au télescope de 3,6 m de l'ESO au Chili, une analyse préliminaire laisse penser qu'on aurait détecté un tel disque autour de l'étoile Iota Horologii (Iota Hor, pour les intimes, voir figure 2), distante de 55 années-lumière et connue pour avoir une planète géante sur une orbite égale à celle de la Terre autour du Soleil (voir l'encadré). Cette découverte renforce l'hypothèse selon laquelle la présence de planètes massives comme Jupiter serait liée à l'existence du disque zodiacal. Ainsi, le disque signalerait la présence d'au moins une planète massive

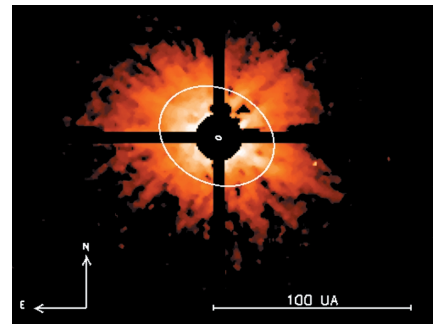


Figure 2 : Observations en infrarouge du disque de Iota Hor par le système optique ADONIS de l'ESO (Chili). Un masque bloque la lumière de l'étoile et fait ressortir le disque mais empêche de voir les régions du disque les plus proches de l'étoile. Un traitement numérique de l'image élimine la contribution de l'étoile. La petite ellipse centrale matérialise l'orbite d'une planète. L'ellipse externe donne l'échelle : elle correspond à une orbite d'environ 30 UA, la distance Soleil-Neptune. Le disque est détecté jusqu'à une distance de 70 UA de l'étoile et son inclinaison par rapport à la ligne de visée a été mesurée : elle est de 40° , ce qui permet de fixer exactement la masse de la planète à 3,4 fois celle de Jupiter

dans le système stellaire observé.

L'avenir est tout tracé : de nouveaux instruments encore plus performants, comme VISIR (instrument infrarouge du VLT, le Very Large Telescope, voir *ScintillationS* n° 38), ou NAOS/CONICA (système d'optique adaptative du VLT), vont préciser les mesures et compléter les observations. D'autres équipes sont sur les rangs dans cette enquête au plan mondial. La chasse aux grosses planètes ne fait que commencer.

Source : Eric Pantin (SAP) et Sébastien Els (Heidelberg)

COMMENT ÇA MARCHE ?

la détection des planètes extra-solaires

Du fait de la rotation de notre planète, les étoiles défilent sous nos yeux de terriens d'un mouvement qui nous semble régulier. Mais avec leurs instruments perfectionnés, les astronomes arrivent à mesurer des fluctuations mêmes très faibles de la vitesse d'étoiles même très éloignées et voir ainsi que certaines d'entre elles se rapprochent et s'éloignent de nous en un mouve-

ment oscillatoire régulier.

Pourquoi ces modulations, alors que les distances entre systèmes stellaires sont quasiment immuables à une grande échelle de temps ? Voici une amorce d'explication.

Si une étoile a un compagnon, les deux objets tournent l'un autour de l'autre. En fait, chacun tourne autour du centre de gravité du couple. Le plus massif est plus près dudit

centre de gravité que le moins massif et son orbite est plus petite que celle du moins massif. Une grosse étoile associée à une petite planète contient la quasi totalité de la masse du système, dont le centre de gravité se confond pratiquement avec le centre de l'étoile : l'étoile est pratiquement immobile dans le référentiel du système, son orbite est de rayon pratiquement nul. Mais si la planète

* UA : Unité Astronomique. C'est la distance moyenne Terre-Soleil, égale à environ 150 millions de kilomètres.

est très grosse, le centre de l'étoile ne coïncide pas avec le centre de gravité du système autour duquel l'étoile décrit une petite orbite, une *révolution*. Le rapport des rayons des orbites de l'étoile et de la planète dépend du rapport des masses des deux astres. Si la planète est très grosse, sa masse est une fraction notable de celle de l'étoile dont l'orbite est alors mesurable.

Si le plan de l'orbite n'est pas perpendiculaire à sa ligne de visée, un observateur terrestre a l'impression que l'étoile se rapproche puis s'éloigne périodiquement au cours de sa révolution. On dit que la *vitesse radiale* de l'étoile par rapport à nous est modulée. Cette modulation est la preuve que l'étoile a un compagnon planétaire. La

période de cette oscillation régulière (figure 3) n'est autre que le temps que met la planète pour faire une révolution complète. C'est l'« année » de cette planète.

Connaissant la masse de l'étoile, la période et l'amplitude de la variation de sa vitesse radiale, on peut en déduire la masse de la planète dans la mesure où l'on a pu déterminer l'inclinaison du plan de son orbite par rapport à la ligne de visée (*encladré*). Tout cela a été mesuré. Résultat : le « super Jupiter » de Iota Hor aurait (cela demande confirmation) 3,4 fois la masse de son homologue solaire. Un beau bébé !

Joël Martin (SPhN et ScintillationS)

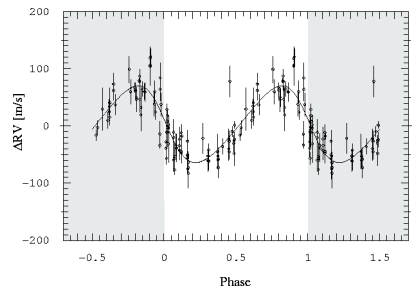


Figure 3 : Mesures de vitesse radiale de l'étoile Iota Hor montrant une modulation périodique attribuée à la présence d'une planète massive en orbite autour de l'étoile, à une distance de 1 UA (Kürster et collaborateurs, 2000)

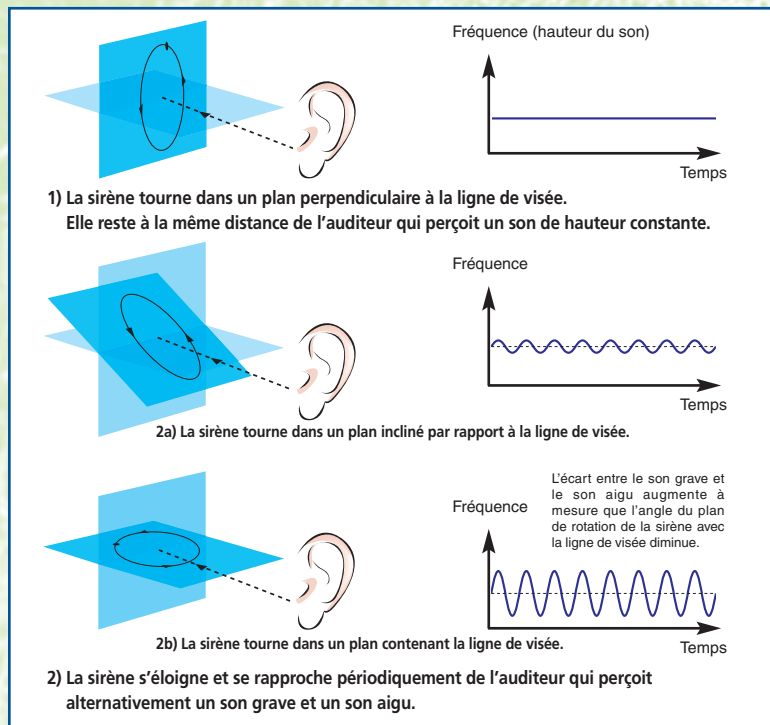
Une «sirène lumineuse» stellaire tournoyante.

Les vitesses sont mesurées par effet Doppler (voir *Scintillations* n° 41) qui « déplace vers le rouge » la lumière des objets qui s'éloignent et « déplace vers le violet » les objets qui se rapprochent. C'est l'analogie optique d'une sirène d'ambulance, au son plus aigu quand elle vient vers vous, plus grave quand elle s'éloigne. Si quelqu'un fait tourner une source sonore à quelque distance de vous, vous entendez un son modulé en fréquence, comme une sorte de vibrato autour de sa fréquence de fonctionnement. Quand la source s'éloigne, le son devient plus grave, quand elle revient vers vous, le son devient plus aigu. La période de cette oscillation sonore est égale à la durée d'une révolution de la source, c'est-à-dire au temps qu'elle met pour faire un tour complet. Encore faut-il que la source ne tourne pas dans un plan perpendiculaire à l'axe « de visée » reliant le centre de son

cercle de rotation au centre de symétrie de vos oreilles, sinon elle reste toujours à la même distance de vos tympans et le son n'est pas modulé. En revanche, l'amplitude

vous. Entre ces deux positions extrêmes, l'écart sonore varie en fonction de l'inclinaison du plan de rotation de la source. Autrement dit, si l'on connaît par

ailleurs cette inclinaison, la mesure de l'écart de fréquence grave-aigu, renseigne sur la vitesse de rotation et la taille de l'orbite (*dessin*). Le système stellaire Iota Hor est une sorte de balise optique tournoyante dont on mesure l'écart de couleur « bleuté-rougeoyant » centré sur une lumière moyenne, équivalent optique de l'écart de hauteur « aigu-grave » centré sur une note moyenne. Cette mesure donne la variation de sa vitesse radiale par rapport à la Terre. La nouveauté, c'est que les appareillages actuels sont capables de voir directement le système stellaire donc de mesurer directement l'inclinaison de son plan de rotation, son *écliptique*. On peut en déduire les vitesses réelles à partir des vitesses apparentes.



du vibrato, c'est-à-dire l'écart entre le son le plus grave et le son le plus aigu, est maximale quand la source tourne dans un plan contenant l'axe de visée car c'est là où varie le plus la distance entre la source et vos oreilles, et donc sa vitesse par rapport à

Va et vient

Octobre 2000 – Renée Lucas (SPhN), Jean Calvet (SED) et Michel Kalmykov (SEA) partent en retraite. On vous la souhaite pleine de joies nouvelles. Fabrice Feinstein* (SPP) est détaché à l'Université Marseille II. Laurence Lecourt est mutée de la direction du Centre au SGPI. Avec elle, sept recrutés nouveaux sont arrivés : Gaël Herent (SEI), Thierry Lerch (SGPI), Ange Lotode (SIG), Olivier Limousin (SAP), Rodanthi Nikolaidou (SPP), Franck Sabatié (SPhN), Boris Tchuming (SPP). La plus cordiale bienvenue.

Novembre 2000 – Les jeunes retraités du mois : Irène Fondeur (SAP) et Albert Larribe (SPP) (évitons les NDLR douteuses, du genre « la berge de la rive »). Jean-Claude Pytel (STCM) part vers d'autres horizons. Benoît Facelina-Benda bénéficie d'un congé sans solde de six mois. Bonne route à tous quatre ! Quatre aussi sont les petits nouveaux, dont une petite nouvelle, Fabienne Orsini recrutée au SED, en compagnie de Antoine Drouart, au SPhN, Franck Sénéé, au SED et Yann Teinert, au SIG. Tous les membres du DAPNIA se félicitent de l'accueil qu'ils ont voulu. Félicitations aussi à Samuel Sube (SIG) qui passe annexe 1. Ça s'arrose!

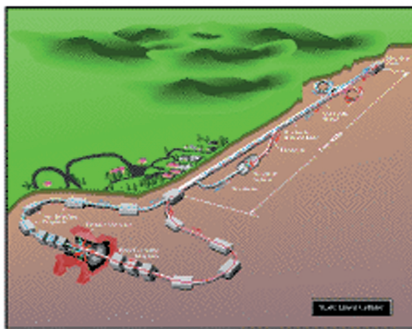
Décembre 2000 – Les derniers partants du millénaire sont les futurs retraités Gilbert Colin (SDA) et Claude Kochowski (SPP), Michel Lorgeou (SAP) qui vogue vers d'autres horizons et Yves Bertrand, muté à la DAM. Bonne route pleine de beaux paysages et de bonnes rencontres. Deux brillants promus en Annexe 1 : Philippe de Antoni (SIG) et Gilbert Grasso (SEI). Nos plus chaleureux compliments. Cinq recrutés pour bien finir le siècle : Xavier de la Broise (SEI), Guillaume Devantz (SEA), Romuald Duperrier (SEA), Paolo Goldoni (SAP) et Charlotte Riccio (SIG). Bon millénaire aussi à ces petit(e)s nouveaux(elles) !

Le gluon d'honneur (florilège 2000)

Pendant que le deuxième millénaire s'achevait, les mines de perles ont continué de pointer. C'est dément, autour du gluon ! Les Échos du 9/2/2000 s'y collent pour un article sur BaBar et le SLAC (Voir *ScintillationS* n° 47 et 48). On y apprend qu'au SLAC, on va, pour la première fois au monde, faire se rencontrer des électrons et des positrons à quasiment la vitesse de la lumière. Les gens du LEP, où les électrons sont deux fois plus énergétiques (rappe- lons que le « E » de LEP est l'abréviation de

« Électrons », et « P », de « Positons »), seront contents d'apprendre que « C'est à Stanford que les particules circulent le plus vite au monde. » et que les vitesses obtenues au SLAC sont jusqu'à « cinquante fois supérieures à celles qui étaient obtenues jusqu'alors. » Si l'on suit bien, les autres accélérateurs (LEP compris) n'accélé- reraient les électrons que jusqu'au cinquantième de c , la vitesse de la lumière !

Précisions : 1/50ème de c , c'est la vitesse d'électrons d'environ 100 eV (accélérés sous 100 volts : il suffit de 12 piles de 9 volts en série) ; dans un téléviseur, les électrons atteignent environ 0,3 c ; dans les accélérateurs modernes d'électrons, ces particules atteignent 99% de c (soit en gros une énergie cinétique de 3 millions d'électron-volts) en moins d'un mètre de parcours ; le SLAC communique aux électrons et aux positons dans les 50 milliards



SLC, le collisionneur électrons positons du SLAC (vue d'artiste)

d'électron-volts (GeV), et le LEP, un peu plus de 100 GeV (aux positons aussi). À ces éner- gies, la vitesse des électrons n'est inférieure à celle de la lumière ($c = 299\,792\,458$ m/s) que de nanopouillèmes : environ 1,5 cm/s au SLAC, et un peu moins de 0,4 cm/s au LEP. C'est c à mieux qu'un poil près : un électron du LEP ne précéderait son collègue du SLAC de l'épais- seur d'un cheveu (40 microns) qu'au bout de 1200 km de course (en gros, 40 tours de LEP ou 400 longueurs de SLAC). On est loin des « cin- quante fois plus » en faveur du SLAC...

Le gluon d'honneur (encore un !)

Autre gluonnerie, plus bénigne : le site ouèbe <http://france3infos.com/> affirme que l'antima- tière a été « Imaginée en 1927 par le physicien britannique Paul Dirac à partir des équations de la relativité générale d'Albert Einstein... ». Il faudrait plutôt lire quelque chose comme : « Imaginée par le physicien britannique Paul Dirac qui, en voulant concilier la mécanique

quantique et la relativité restreinte, a généralisé l'équation de base de la mécanique quantique dans une équation dont il a l'honneur de porter le nom. » Cette « équation de Dirac » fournit des solutions mathématiques à « énergie négative ». L'énergie étant une grandeur physique essen- tiellement positive, Dirac a imaginé une « anti- matière » où, en quelque sorte, tout change de signe par rapport à notre matière familière. Il a ainsi conjecturé l'existence d'un électron à charge électrique positive égale en valeur abso- lue et opposée en signe à celle de l'électron bien



de chez nous. Il a appelé « positron » (que nous avons francisé en « positon ») ce jumeau-miroir dont le signe de la charge est inversé, ainsi que la droite et la gauche. Consécration de ce travail de pure théorie et de géniale prescience : le positon a été découvert par Anderson dès 1932. Ce sera ensuite le tour de l'antiproton (proton d'antimatière de charge négative) en 1957. L'antimatière a disparu après le Big-Bang pour des raisons non encore éluci- dées (voir *ScintillationS* n° 48), sauf dans quelques accélérateurs de particules comme le LEP (voir plus haut) ou le Tevatron du Fermilab près de Chicago où se collisionnent des protons de 1 TeV et des antiprotons de même énergie tournant en sens inverse.

CEA - DIRECTION DES SCIENCES DE LA MATIÈRE

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION : Joël FELTESSE

COMITÉ ÉDITORIAL : Joël MARTIN (porte-parole),

Claire ANTOINE, François BUGEON, Rémi CHI-

PAUX, Nathalie COLOMBEL, Antoine DAEL

Thierry FOGLIZZO, Marc PEYROT, Yves

SACQUIN, Jean-Luc SIDA, Angèle SÉNÉ, Thierry

STOLARCZYK, Christian VEYSSIERE

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@cea.fr

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

Dépôt légal Février 2001

15!

* On lui souhaite bonne pêche au neutrino, sans négliger la latitude de l'abysse ni les dures luttes sur le tard. Eh !, les Marseillaises, ne l'usez pas, notre Fabrice, paraît que des physiciennes piquées veulent voir les neutrinos, té !, en proclamant : « Einstein, quel grand vif ! » (6 !)