

LA DÉCOUVERTE DE LA RADIOACTIVITÉ

Sur les radiations émises par phosphorescence



Il y a tout juste cent ans....

Voici un des premiers articles d'Henri Becquerel, cité dans l'ouvrage de José Leite-Lopès et Bruno Escoubès analysé page 8 :

« Sources et évolution de la physique quantique, textes fondateurs »

Sur les radiations émises par phosphorescence

Comptes-rendus de l'Académie des Sciences 122, 420-421 (1896) (Gauthier-Villars)

Dans une précédente séance, M. Ch. Henry a annoncé que le sulfure de zinc phosphorescent interposé sur le trajet de rayons émanés d'un tube de Crookes augmentait l'intensité des radiations traversant l'aluminium.

D'autre part, M. Niewenglowski a reconnu que le sulfure de calcium phosphorescent du commerce émet des radiations qui traversent les corps opaques.

Ce fait s'étend à divers corps phosphorescents et, en particulier, aux sels d'urane dont la phosphorescence a une très courte durée.

Avec le sulfate double d'uranium et de potassium, dont je possède des cristaux formant une croûte mince et transparente, j'ai pu faire l'expérience suivante :

On enveloppe une plaque photographique Lumière, au gélatino-bromure, avec deux feuilles de papier noir très épais tel que la plaque ne se voile pas par une exposition au

soleil, durant une journée.

On pose sur la feuille de papier, à l'extérieur, une plaque de la substance phosphorescente, et l'on expose le tout au soleil pendant plusieurs heures. Lorsqu'on développe la plaque photographique, on reconnaît que la silhouette de la substance phosphorescente apparaît en noir sur le cliché. Si l'on interpose entre la substance phosphorescente et le papier une pièce de monnaie, ou un écran métallique percé d'un dessin à jour, on voit l'image de ces objets apparaître sur le cliché.

On peut répéter les mêmes expériences en interposant entre la substance phosphorescente et le papier une mince lame de verre, ce qui exclut la possibilité d'une action chimique due à des vapeurs qui pourraient émaner de la substance échauffée par les rayons solaires.

On doit donc conclure de ces expériences que la substance phosphorescente en question émet des radiations qui traversent le papier opaque à la lumière et réduisent les sels d'argent.

Henri Becquerel

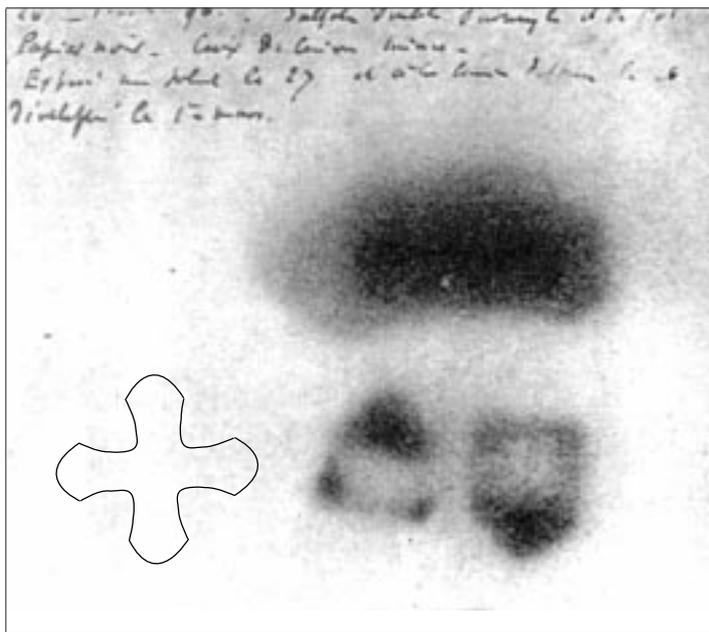
Par la suite, ayant constaté que le phénomène était tout aussi intense par mauvais temps que par grand soleil, Becquerel répète ses expériences dans l'obscurité. Le phénomène subsiste. Il subsiste aussi avec des sels uraneux non phosphorescents. La phosphorescence n'aurait donc rien à voir avec ces radiations. Pour le vérifier, Becquerel enferme des composés d'uranium dans des boîtes de plomb épais.

Au bout de sept ans, l'activité n'aura pas diminué. La protection de plomb n'affecte en rien l'intensité du phénomène. Il ne s'agit donc pas d'un emmagasinement d'énergie lumineuse. Entre temps, Becquerel aura vérifié que les radiations sont produites par tous les composés d'ura-

nium même non fluorescents et par l'uranium métallique, alors qu'elles sont absentes de tous les composés phosphorescents non uraniques testés. L'émission est donc une propriété spécifique de l'uranium, indépendamment de la composition chimique.

Dès 1898, Marie Sklodowska découvre que le thorium émet aussi des rayons et invente le terme de « radioactivité ». La même année, avec son mari Pierre Curie, elle découvre le polonium et le radium, ce dernier un million de fois plus actif que l'uranium.

Par leurs découvertes, Becquerel et les Curie ont bouleversé notre vision de la matière.



Une des plaques photographiques de Becquerel impressionnée, malgré le papier opaque à la lumière, par les rayons issus d'une des substances étudiées. On remarque en bas du cliché un « blanc » en forme de croix de Malte. C'est l'empreinte d'une croix de cuivre insérée entre la substance radioactive et le papier enveloppant la plaque. Le cuivre est donc opaque aux rayonnements.

L'étude systématique de la radioactivité a mené à une connaissance profonde de la structure de l'atome, puis du noyau que découvre Rutherford en 1911, et permis l'émergence des concepts de quanta, d'équivalence matière-énergie, de physique probabiliste...

LE LEP, PHASE « 1,5 »

(Le LEP monte en énergie. Pour découvrir de nouvelles particules ?)

Pour tirer pleinement profit de cet article, il est conseillé de relire l'article d'André Roussarie : «Le LEP et le Modèle Standard», dans «Scintillation» n° 12. On peut aussi consulter le tableau des particules dans les n° 3 ou 19. Tableau à réactualiser car le quark «top» a été observé l'an dernier.

Implanté au CERN, à Genève, le LEP (Large Electron-Positron collider) dans sa Phase 1 a terminé la campagne de prise de données à l'énergie du Z^0 (voir le glossaire), le 4 octobre dernier après sept années de fonctionnement. Cha-

atteindre une énergie nominale dans le centre de masse de 161 GeV, énergie minimale pour produire une paire W^+W^- . Cette phase intermédiaire «LEP Phase 1,5» devrait permettre à la fois de mettre au point un nouveau mode de fonctionnement de l'accélérateur et d'explorer un domaine encore inconnu.

Un succès pour la machine

Après un redémarrage le 28 octobre à l'énergie du Z^0 pour vérifier le bon fonctionnement et la calibration de l'accélérateur et des détecteurs, les premiers faisceaux

nées très aisée.
Une nouvelle physique ?

Que peut apporter cette montée en énergie à la physique des particules ? Dans le secteur électrofaible (glossaire), la production de paires de fermions par l'échange d'un photon ou d'un Z^0 a une section efficace d'environ 300 picobarn (glossaire) lorsque sont produits des hadrons (particules constituées de quarks) et de 20 picobarn si ce sont des leptons (à comparer respectivement à 30.000 pb et 1.500 pb au sommet de la résonance Z^0 , glossaire). Ces événements présentent la géométrie familière de jets ou de leptons émis dos à dos (Figure 1). Une mesure de la section efficace de production donne accès à la mesure du terme d'interférence (glossaire) entre l'échange d'un photon et l'échange d'un Z^0 , alors qu'à l'énergie du Z^0 , ce terme est quasi nul. On peut donc espérer une amélioration substantielle de la précision de mesure de ce terme. Mais le rayonnement d'un photon dans l'état initial peut ramener l'énergie du système électron-positon à la masse du Z^0 . Le Z^0 étant une source abondante de paires de fermions, ces événements sont un bruit de fond important pour le processus précédent. Mais ils sont facilement identifiables car le Z^0 est alors produit en mouvement et non plus au repos et les deux jets de particules ne sont plus émis dos à dos (les axes des jets ne forment plus un I mais un V). Il est même possible de détecter le photon de radiation qui complète à 130 GeV la somme des énergies (Figure 2).

Le secteur le plus prometteur reste bien sûr celui de la recherche de particules nouvelles, en particulier les plus légères parmi celles prédites par les théories supersymétriques (voir «Scintillation» n° 24). Les charginos (partenaires supersymétriques des bosons W) du Modèle Standard Supersymétrique Minimal (MSSM) pourraient être assez légers pour être produits aux énergies de 130 - 140 GeV. Les sleptons (partenaires des leptons) feront eux aussi l'objet d'une chasse passionnée dans les semaines à venir et toute la communauté des physiciens du LEP(*) espère qu'elle sera fructueuse. Quelques événements ne présentant que des particules neutres ont été observés (et expliqués par des processus connus) comme l'événement à quatre photons présenté par ALEPH (Figure 3) où l'hypo-

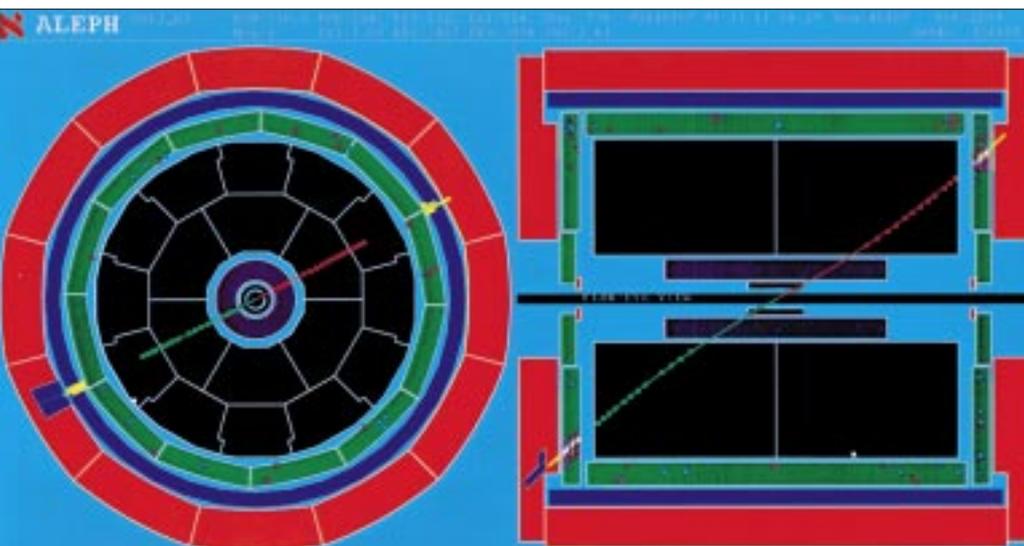


Figure 1 — Événement à deux leptons émis dos à dos (ici des électrons) détecté par ALEPH.

cune des quatre collaborations ALEPH, DELPHI, L3 et OPAL ont pu ainsi analyser un total de près de cinq millions de désintégrations du Boson Z^0 , le médiateur neutre de l'interaction faible qui en compte deux autres, chargés, le W^+ et le W^- . Pendant l'arrêt de trois semaines qui a suivi, les équipes de la machine ne sont pas restées inactives, installant 16 nouvelles cavités accélératrices supraconductrices ce qui porte le nombre total de cavités à 184, dont 60 dans la technologie cuivre-niobium (voir «Scintillation» n° 3).

C'est une étape importante dans les travaux nécessaires pour mettre en place la Phase 2 du LEP. D'ici Juin 1996, 72 cavités supplémentaires devront être installées pour

d'électrons et de positrons de la Phase 1.5 du LEP ont été amenés en collision à l'énergie de 130 GeV, le 31 octobre à 19 heures 45. Les quatre expériences enregistraient les premiers événements dans les minutes suivantes et ont accumulé pendant les trois semaines de la prise de données un total de $5,9 \text{ pb}^{-1}$ (picobarn inverse, voir glossaire) à des énergies allant de 130 à 136 GeV. Une «excursion» à 140 GeV a même été tentée pendant quelques heures. Les luminosités initiales ont dépassé $10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ avec une intensité totale des faisceaux en circulation de 2 milliampère. Un record de luminosité de $2,6 \cdot 10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a même été observé dans ALEPH et le niveau très faible de bruit de fond lié aux faisceaux a rendu la prise de don-

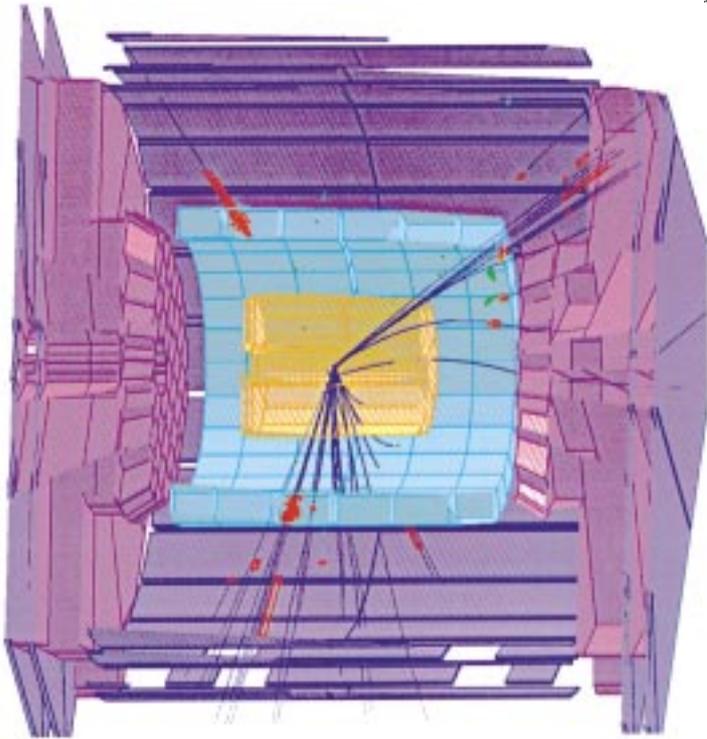


Figure 2 — Événement hadronique avec "retour radiatif au Z^0 " : les deux jets de particules ne sont pas émis dos à dos et l'émission d'un photon "équilibre" la réaction (l'énergie totale des particules émises est égale à celle libérée par la collision électron-positon).

thèse d'un cinquième photon non détecté émis à très petit angle peut équilibrer les impulsions et l'énergie totale. Le succès, tant du côté de l'accélérateur que du côté des expériences de cette montée en énergie termine

l'annihilation électron-positon a mille fois plus de chance de former un Z^0 qu'un photon. A 91 GeV, le LEP est une véritable usine à Z^0 . C'est l'énergie où la probabilité de formation de ce boson passe par un maximum. Si

l'année 1995 sur une note très optimiste pour les physiciens du LEP qui attendent maintenant avec confiance et impatience la Phase 2 à partir de 1996 .

Toutes nos félicitations aux équipes du LEP pour cette réussite !

Brigitte Bloch-Devaux (SPP)

(*) - *Quelle chasse et quel LEP ! (NDLR)*

UN GRAND GLOSSAIRE

L'énergie du Z^0

Le collisionneur travaille à l'énergie du Z^0 lorsque la somme de l'énergie du faisceau d'électrons et celle du faisceau de positons est égale à l'énergie de masse (le fameux mc^2) du Z^0 , soit 91 GeV. A cette énergie,

l'on s'en écarte, la probabilité diminue. On dit que 91 GeV est l'énergie de résonance du Z^0 . (C'est un peu comme lorsqu'on envoie une onde acoustique — ou autre — dans une cavité. Il existe une fréquence à laquelle l'onde est amplifiée au maximum par la cavité. C'est la fréquence de résonance de la cavité.)

La force électrofaible

Le «Modèle Standard», la théorie des particules la plus achevée à ce jour, conjecture que deux des interactions fondamentales de la Nature : la force faible (responsable entre-autres de la radioactivité) et la force électromagnétique (issue elle-même de l'unification par Maxwell de la force électrique et de la force magnétique) seraient deux manifestations d'une force unique : la force électrofaible.

Cette force unique existait dans l'Univers primordial. Lors du refroidissement du Cosmos, elle s'est différenciée en force faible et force électromagnétique. Le mécanisme encore mal connu de cette rupture relèverait d'un phénomène général en Physique : la brisure spontanée de symétrie.

Un exemple classique : un morceau de fer est constitué de petits barreaux aimantés. La force magnétique qui les lie ne dépend pas de leur orientation. On dit qu'elle est invariante par rotation dans l'espace. On parle alors d'interaction symétrique. Quand le fer est très chaud, ses petits aimants sont orientés dans toutes les directions possibles et imaginables. La symétrie de l'interaction est respectée. Mais dès que le fer se refroidit sous une température précise, tous les petits barreaux s'orientent subitement dans la même direction (c'est le ferromagnétisme). La symétrie est brisée.

Lors du schisme primordial électrofaible, la symétrie brisée fut la suivante : alors que le transmetteur de la force électromagnétique, le photon, gardait une masse nulle, ceux de la force faible, le Z et les deux W, acquéraient une masse très élevée, presque cent fois la masse du proton. Le responsable de ce mécanisme serait un boson encore plus massif, le boson de Higgs. S'il existe, il est si lourd que même les plus grands accélérateurs actuels sont trop chétifs pour le fabriquer. Peut-être le LHC y parviendra-t-il (voir n° 3, 17, 18, 22 de «ScintillationS»). Ce serait l'apothéose du Modèle Standard.

Terme d'interférence

Sous 50 GeV les collisions électron-positon ne produisent pratiquement que des photons. Au dessus, la production des Z^0 vient se superposer à celle des photons. Au maximum de 91 GeV, les

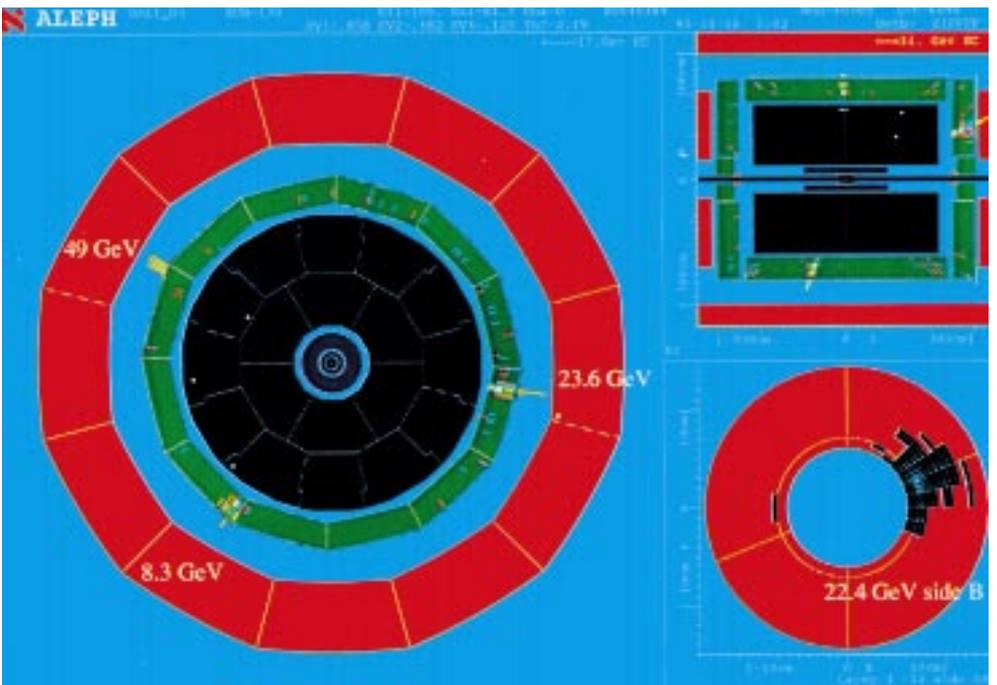


Figure 3 — Événement avec production de quatre photons dans ALEPH. Un cinquième photon non détecté car émis à très petit angle dans le tube à vide a emporté 30 GeV.

4

photons sont complètement noyés sous l'avalanche des Z^0 , mille fois plus nombreux. Mais, sur les deux flancs de la résonance, il existe deux zones d'énergie où photons et Z^0 sont produits en nombre comparable. Dans ces zones, les deux processus électromagnétique et faible entrent en compétition et *interfèrent* fortement, tantôt se complétant, tantôt se contrariant, tout comme deux ondes superposées s'ajoutent ou se retranchent. Ces interférences se traduisent dans les équations par un *terme d'interférence* dont la mesure est cruciale pour préciser l'imbrication des deux interactions fondamentales, électromagnétique et faible, et peut-être ainsi mieux comprendre la période qui a suivi la brisure de symétrie électro-faible.

Section efficace. Picobarn (pb).

Plus un objet offre de surface, plus on a de chance de taper dedans. Pour mesurer la probabilité d'une collision, les physiciens utilisent une grandeur qui a les dimensions d'une surface : la *section efficace*. Elle s'exprime en centimètres carrés, ou, mieux, en une

unité adaptée à la taille des particules : le *barn* (b) qui vaut 10^{-24} cm^2 , et ses sous-multiples comme le picobarn (1 pb = 10^{-12} b) valant 10^{-36} cm^2 .

Cette dernière unité est très usitée au LEP où les phénomènes observés sont rarissimes.

Luminosité. Picobarn inverse (pb^{-1}).

Ces phénomènes naissent de chocs des électrons sur les positons venant en sens inverse. Si on veut disposer à la fin de la prise de données d'un nombre d'événements pas trop infime, il faut des faisceaux très intenses. C'est comme dans un microscope : on observe mieux si c'est bien éclairé. Par analogie, on parle de la luminosité d'un accélérateur. Plus elle est élevée, plus les événements sont nombreux.

Pour un processus donné, le nombre d'événements obtenus est proportionnel à trois grandeurs : sa section efficace, la luminosité et la durée de la prise de données. Le produit des deux dernières grandeurs est le même pour les différents processus. En mul-

tipliant ce produit par l'efficacité de la détection (c'est le nombre de particules détectées divisé par le nombre de particules produites), on obtient le nombre d'événements enregistrés par unité de section efficace, que l'on l'exprime dans l'unité inverse de celle utilisée pour la section efficace. Au LEP, c'est le picobarn inverse (pb^{-1}). Pour connaître le nombre d'événements obtenus pour chacun des processus étudiés, il suffit de multiplier chaque section efficace par le nombre de pb^{-1} enregistrés.

Ainsi, en trois semaines, le LEP Phase 1,5 a enregistré $5,9 \text{ pb}^{-1}$. La production d'une paire de hadrons par échange d'un photon a, vers les 130 GeV, une section efficace d'environ 300 pb. On a donc produit environ 5,9 fois 300, soit dans les 1800 paires de fermions. Et, dans le même temps, grosso-modo 120 paires de chaque type de leptons puisque la section efficace est de 20 pb. Ce sont des données brutes car elles ne tiennent pas compte d'une éventuelle variation de l'efficacité du détecteur en fonction de la nature des particules détectées.

La Rédaction

COMMENT ÇA MARCHE

La découverte du neutrino

La radioactivité bêta moins (β^-), une des formes de la radioactivité naturelle, a pour origine l'instabilité du neutron. Lorsque se désintègre un neutron (libre ou interne à un noyau instable), il est facile de détecter l'apparition d'un proton et d'un électron. La radioactivité β^- est la manifestation de l'émission d'électrons par des noyaux qu'un excès de neutrons rend instables. La loi universelle de « conservation de la charge électrique » est respectée : une particule sans charge, le neutron, donne naissance à une charge positive portée par le proton, et à une charge égale mais de signe opposé que renferme l'électron.

Mais lorsque l'on fait le bilan énergétique avant et après la désintégration d'un neutron, on s'aperçoit que l'énergie de masse (le fameux mc^2) du neutron est supérieure à l'énergie (de masse et de mouvement) emportée par le couple proton-électron. Où passe donc le reste de l'énergie fournie par le neutron ? La même question se pose pour une autre grandeur physique, le « moment angulaire ».

L'idée vint de Pauli, le père du

célèbre « Principe d'Exclusion ». Il postula que la désintégration du neutron donnait naissance à TROIS particules le proton, l'électron et un troisième larron, forcément neutre et très furtif. Un minuscule bébé neutron en quelque sorte. On donna donc à cette hypothétique particule

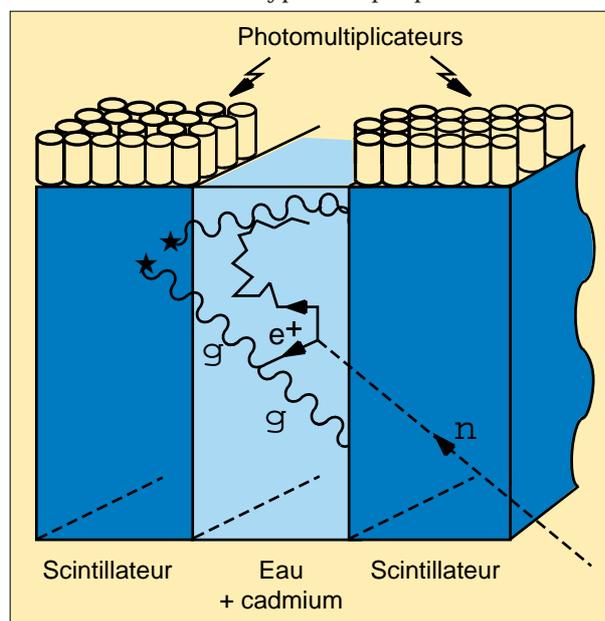
le nom de *neutrino*.

Au début des années 30, Dirac invente la notion d'antiparticules. L'anti-électron est découvert par Anderson en 1933. C'est le jumeau de l'électron. Il possède entre-autres la même masse et la même charge électrique mais de signe opposé. C'est un « électron positif ». On le nomme *positon* ou *positron*. L'antiproton, proton négatif, sera découvert en 1955. Si à chaque particule correspond une antiparticule, existe-t-il un *antineutrino* ? Si oui, est-ce un neutrino ou un antineutrino qui naît de la désintégration β^- ?

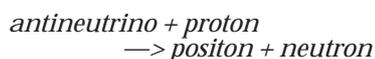
Deux physiciens américains, C. L. Cowan et F. Reines, penchent pour l'antineutrino. En 1953, ils installent un détecteur sous le réacteur nucléaire de Savannah-River.

S'ils voient juste, le réacteur nucléaire, véritable fontaine à neutrons, est, par désintégration desdits neutrons, une source d'antineutrinos.

Ces derniers, comme leurs jumeaux neutrinos, sont quasi-indétectables. C'est donc qu'ils traversent tout, même les blin-



dages les plus efficaces. Nos deux chercheurs et leur dispositif placés juste sous celui du réacteur sont ainsi à l'abri des neutrons et autre méchantes particules mais peuvent présumer qu'ils baignent dans une multitude d'inoffensifs antineutrinos. Leur objectif : obtenir quelques exemplaires de la réaction



Les protons sont des noyaux d'hydrogène. L'eau, H_2O , en contient. Cela tombe bien, c'est pas cher. Cowan et Reines placent dans le bain d'antineutrinos présumés que leur prodigue le réacteur un réservoir de 200 litres d'eau (environ $1,34 \cdot 10^{28}$ protons) contenant aussi du cadmium.

Si la réaction précitée a lieu, le neutron émis sert pendant quelques microsecondes (10^{-6} s) de punching-ball aux noyaux ambiants, et finit capturé par un noyau de cadmium, véritable éponge à neutrons. Cette capture produit trois photons.

Auparavant, le positon à peine produit s'est annihilé avec un électron,

et deux photons ont été émis dans deux directions opposées.

Recueillis dans du liquide scintillant entourant le réservoir d'eau (voir la figure), ces photons produisent de la lumière que des photomultiplicateurs transforment en signal électrique. Mais le signal créé par les photons d'annihilation précède de quelques microsecondes celui des photons de capture neutronique. Ces microsecondes sont précisément la durée de la cavale mouvementée du neutron avant sa capture. *L'existence de cet écart parfaitement mesurable est caractéristique de la réaction recherchée, productrice de neutrons.* C'est la signature de l'existence de l'antineutrino.

A leur grande jubilation, nos deux découvreurs constatent au bout d'un peu plus de 57 jours qu'il ont obtenu en moyenne presque 3 doubles signaux par heure à partir d'un flux d'antineutrinos de cent millions de milliards (10^{17}) par seconde et par centimètre carré de surface de détecteur frappée. La valeur mesurée de la probabilité de la réaction est en excellent accord avec les prévisions théoriques. Cette valeur extrêmement

petite reflète l'extrême furtivité des (anti)neutrinos résultant de leur quasi-absence d'interactions avec la matière.

La probabilité est minuscule, mais la découverte est considérable. Elle vaudra 42 ans plus tard, en l'an de grâce 1995, le Prix Nobel au seul survivant, F. Reines (voir l'article de François Pierre dans «*ScintillationS*» n° 25).

Cette découverte aux implications majeures en astrophysique, en physique des particules, en physique nucléaire, est aussi un modèle d'astuce, de simplicité, de modicité en matière d'instrumentation associée. Autant dire que le journal du DAP-NIA se devait de célébrer l'événement.

Joël Martin
(porte-parole de «*ScintillationS*»)

Mille remerciements à Jean-Pierre Baton et Gilles Cohen-Tannoudji. Cet article s'inspire largement de leur ouvrage «*Particules élémentaires et Interactions fondamentales*», cours qu'ils dispensèrent à l'INSTN en 1992 et qu'on vous engage vivement à dévorer.

L'ÉPOPÉE DES CHAMBRES À BULLES EN EUROPE

Dans la seconde moitié des années 50 alors que se construisaient de nouveaux accélérateurs tant en Europe qu'aux États-Unis, se posa un problème crucial : l'éventail des détecteurs disponibles se limitait aux compteurs Geiger, scintillateurs, émulsions et chambres de Wilson. Mais la découverte de Glaser, vers 1952, d'un nouveau principe de détection allait bouleverser les projets des physiciens en donnant naissance à la chambre à bulles.

Ce principe était le suivant : au sein d'un liquide qu'une détente brutale a rendu métastable, des particules ionisantes laissent une trace de leur passage sous forme d'un chapelet de fines bulles gazeuses que l'on peut photographier. Avantage sans précédent, la chambre à bulles allait permettre d'observer le vertex de l'interaction étudiée, autrement dit, la trace de la collision des particules à l'endroit précis où elle se produit, ainsi que celles d'éventuelles particules nées de cette collision. En plaçant le tout dans un champ magnétique, on pouvait connaître le



Christian Wannepain (SEI) près de la chambre à bulles exposée au bâtiment 198 à Saclay lors du cinquantenaire du CEA en octobre dernier et que, pour l'occasion, il avait remise en état avec Jean-Pierre Soirat (SEI). Tous deux sont des anciens du SECB, le Service d'Etudes des Chambres à Bulles de feu le DPhPE.

signe de la charge électrique de chaque particule en fonction du sens de la courbure de sa trajectoire. Enfin, le taux de répétition de l'ordre de la seconde présentait un progrès appréciable sur la chambre de Wilson.

Il apparut vite que la réalisation d'un tel appareillage exigeait des moyens techniques considérables que seuls possédaient quelques grands laboratoires. Deux types de chambres furent construites : à liquide lourd, propane ou fréon, et à hydrogène. Les premières fonctionnaient à une température de 60°C sous une pression de 30 bars, les secondes à 28 K et 6 bars.

Beaucoup de laboratoires européens s'essayèrent dès 1956-1957 à la construction de chambres à bulles. Notamment à Padoue et à Pise où l'on construisit de petits prototypes à liquide lourd et à Liverpool où furent explorées les deux techniques. Mais seuls quelques laboratoires disposant des très importants moyens techniques nécessaires se lancèrent dans la réalisation de chambres aptes à produire des clichés exploitables pour la physique. Saclay et le CERN furent de ceux-là...

*Jean-Pierre Baton
(un ancien du SPP)*

L'auteur déroulera cette belle aventure technique dans le prochain numéro. Une autre « ancienne » du SPP, Monique Neveu, narre ici une autre épopée, humaine celle-là, à la fois émouvante et exemplaire : celle des vacataires chargés du fastidieux mais indispensable tri des clichés. Voici donc...

LA SAGA DES VACATAIRES

Le dépouillement semi-automatique de myriades de clichés s'effectuait dans le noir et demandait une grande concentration. De ce fait, on ne pouvait s'y consacrer des journées entières ; on créa donc des postes à temps partiel sous forme de vacations avec (déjà!) des contrats à durée limitée auxquels on pouvait mettre fin à tout moment.

Progressivement, cinq équipes par jour furent mises en place se succédant de 5h du matin à 1h de la nuit. Dans cette période d'euphorie, les effectifs montèrent rapidement à 110 en 1965 pour plafonner vers 200 en 1970. Les quatre-cinquièmes étaient des femmes, mais les vacataires de nuit (21h à 1h) étaient exclusivement masculins, généralement des étudiants cherchant à financer leurs études.

Aucun diplôme n'était requis. La

formation et l'encadrement des vacataires était assurée de jour par les techniciennes. Le soir et la nuit, une « permanence » était assurée à tour de rôle, avec des succès divers par tous les physiciens ou programmeurs des services de chambres à bulles. Il reste dans les mémoires des souvenirs de soirées parfois animées, mais somme toute, avec le recul, assez



La même chambre à bulles du cinquantenaire avec de gauche à droite : Jacques Haïssinski, Gilles Cohen-Tannoudji, et le Président de l'Académie des Sciences de Chine.

conviviales (les collaboratrices des physiciens ne trouvaient pas leurs bulles mornes, NDLR).

Pendant la période de croissance, la préoccupation était de trouver du personnel raisonnablement stable, car la mobilité était extrêmement élevée et il était difficile de trouver des candidat(e)s et de les former suffisamment vite.

Vers 1972-1973, brusque changement de situation! On entrevoyait la diminution de l'activité des chambres à bulles. L'embauche fut donc arrêtée, mais la situation de l'emploi dans la région parisienne s'étant fort dégradée, surtout pour les femmes, les départs n'excédaient guère dix en moyenne par an, ce qui n'assurait pas une décroissance suffisamment rapide des effectifs. Se posa donc le problème de la reconversion des vacataires pour ne pas les licencier. On les encouragea à suivre les cours de formation permanente et ce, bien au delà des maigres quotas qui leur étaient réservés. En contrepartie, les

candidats avaient courageusement accepté de se former en dehors des heures de travail.

Au début, les formations furent essentiellement des cours de dactylo et de langues. Mais à la demande du personnel inquiet des menaces de licenciement, on organisa des cours plus spécifiquement professionnels. Deux directions furent choisies : câbla-

ge et comptabilité, conduisant certaines vacataires à des diplômes reconnus.

Devant l'assiduité et l'énergie des intéressé(e)s pour résoudre leur situation, s'instaura une réelle solidarité. Le service de comptabilité de Saclay et les services d'électronique du DPhPE organisèrent des stages pour compléter la formation de ces vacataires, avec un tutorat assuré bénévolement par des agents permanents du CEA.

Après moultes négociations entre « partenaires sociaux », il fut admis qu'à l'issue de ces stages ou en fonction d'autres

compétences, le personnel vacataire pourrait essaimer dans d'autres unités de Saclay ou de l'Orme des Merisiers, tout en restant sous la tutelle du DPhPE. Très vite, on s'aperçut dans les unités d'accueil que la formation acquise sur le tas dans des activités de dépouillement qui n'étaient cependant pas considérées comme un « vrai métier » avait développé chez ce personnel des qualités de concentration et de logique qui rendaient exceptionnellement rapides l'apprentissage de nouvelles tâches, et les transitions s'opérèrent dans l'ensemble sans douleur.

En 1981, année historique, l'intégration au CEA des agents hors-statut est décidée. Cette mesure porte sur les 118 vacataires encore présentes dont 36 hors DPhPE, 52 exerçant des activités techniques ou administratives au DPhPE, et 30 seulement encore affectées au dépouillement de clichés qu'elles poursuivront pendant quelques années. Ces dernières seront progressivement reclassées sans

drame dans d'autres branches lorsque les tables de dépouillement seront définitivement abandonnées. *Cerésultat a été atteint grâce à un effort continu et intensif de formation que près des 2/3 des vacataires ont suivi avec persévérance.*

Conclusion en forme de morale

Le succès de cette reconversion, novatrice pour l'époque, tient à plusieurs facteurs.

— **La souplesse** : la négociation permanente a permis d'adapter voire de contourner les règles en vigueur. Le personnel a accepté de se former en dehors des heures de travail. Hiérarchie comme responsables syndicaux ont soutenu avec une conviction croissante cette démarche quelque peu hors-normes. On a enfin pu se convaincre que la variété des horaires des vacataires allant du mi-temps aux 4/5 de temps n'était pas forcément un obstacle à leur intégration, mais parfois un avantage.

— **La solidarité** : les vacataires elles-mêmes ont manifesté une solidarité constante pour ne laisser personne en chemin dans cet effort de quelques 10 ans. Des responsables scientifiques et administratifs ont eu à cœur d'encadrer cette reconversion en organisant bénévolement des stages et en favorisant des lieux d'accueil pour que les intéressées puissent faire leurs

débuts dans leur nouvelle profession. Les représentants syndicaux ont fait preuve d'ouverture d'esprit pour accompagner des démarches parfois à contre-courant des habitudes. Le bureau de formation de Saclay a accepté de monter de toutes pièces des formations bien adaptées pour un groupe minoritaire et non CEA.

— Enfin, **la prévoyance** : on a recherché des solutions au sureffectif né de l'évolution des besoins bien avant que le problème ne devienne critique. On a pris le temps de faire mûrir les solutions ; ainsi, chacun a pu se convaincre du bien-fondé des choix retenus.

Si on a voulu retracer cette histoire avec quelque détail, c'est parce qu'aujourd'hui où les problèmes d'emploi, de reconversion et de temps de travail se posent avec une telle acuité, elle pourra être utilement méditée et appliquée avec profit dans d'autres circonstances.

Monique Neveu (SPP)

Témoignage de l'une des héroïnes

Nous avons été averties par une information au niveau de notre service que des stages de formation allaient nous être proposés dans le courant de l'année 75, stages selon les aptitudes de chacun, les goûts et les possibilités.

Nous avons donc décidé de faire un choix et nous avons opté pour le « montage-câblage électronique ». Il n'est pas toujours aisé de reprendre des cours à un certain âge !

Le service nous ayant proposé des facilités de récupération, nous nous sommes retrouvées, un petit noyau de collègues, armées de courage et de bonne volonté.

Nous avons acquis un esprit d'équipe et de solidarité et l'effort fourni a été facile, bien que nous nous sommes retrouvées dans un centre d'apprentissage de jeunes de moins de 20 ans !

La première année a été bénéfique ; nous avons repris confiance en nous, et, pourquoi pas une deuxième année ? Tout a commencé là.

Le temps a passé et nous sommes maintenant intégrées dans des services d'électronique vivants et efficaces.

Notre métier, nous l'apprenons chaque jour par des efforts quotidiens, efforts récompensés par la satisfaction de nos supérieurs.

L'expérience prouve donc que c'est en partageant jour après jour l'anxiété, les expériences des autres, qu'on échange ce qu'on a de meilleur et qu'on arrive à s'en sortir.

Pour nous, la formation a été très salubre et notre but est de pouvoir continuer dans cette voie, si nous en avons la possibilité.

(Transcription fidèle d'un manuscrit anonyme de 1978, environ)

BRÈVES ... BRÈVES ...

Premier faisceau d'électrons pour la physique à CEBAF

La première expérience de physique vient de se dérouler à l'accélérateur CEBAF (Continuous Electron Beam Facility, voir « *ScintillationS* » n° 20 et 22).

En construction depuis 1990 à Newport, en Virginie (Etats-Unis), CEBAF est conçu pour délivrer un faisceau continu d'électrons d'une énergie maximale de 4 à 6 GeV et d'une intensité de 100 microampères. Ce faisceau est une sonde très bien adaptée à l'étude de la structure des nucléons. On espère ainsi entrevoir l'influence des quarks et des gluons sur la structure des nucléons et du noyau à l'échelle d'un dixième de fermi ($1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$).

L'expérience inaugurale dont il est question plus haut est une mesure de *diffusion inélastique* d'électrons. Dans ce processus, un électron rebondit sur l'un des protons d'un noyau et lui transfère suffisamment d'énergie pour l'éjecter. C'est un

domaine où les physiciens nucléaires du DAPNIA furent pionniers et acquièrent une expertise mondialement reconnue grâce à l'Accélérateur Linéaire de Saclay (ALS) dont le faisceau d'électrons de 600 MeV permettait de fouiller un noyau avec une précision inférieure à la moitié de la taille d'un nucléon (voir « *ScintillationS* » n° 1, en particulier l'encadré de la une).

Avec une énergie dix fois plus élevée, CEBAF est une sonde dix fois plus fine. L'ALS permettait de « dégommer » un proton sans toucher les autres nucléons. Avec CEBAF, on ne peut pas dégommer un quark parmi les deux autres, il faudrait une énergie bien plus grande puisque un quark est mille fois plus petit qu'un proton. En revanche, la localisation de l'interaction est assez précise pour déterminer si les trois quarks sont disséminés aux quatre coins du proton frappé ou si, au contraire, ils sont groupés dans une configuration de faible dimension. Dans ce dernier cas, le proton interagit peu avec le reste des nucléons du noyau-cible, il s'y pro-

page plus facilement : le noyau est comme transparent pour un tel proton. Connu sous le nom de *transparence de couleur* (*), ce phénomène est prévu par la Chromodynamique Quantique (QCD), la théorie de l'interaction forte.

En comparant les probabilités de diffusion d'un électron avec éjection d'un proton, sur trois noyaux de taille différente : ^{12}C , ^{56}Fe et ^{197}Au , cette première expérience va donc étudier la propagation dans la matière nucléaire de ces protons « à quarks groupés » éjectés avec une très grande énergie. La transparence de couleur se manifeste-t-elle dans le domaine d'énergie de CEBAF ? C'est la problématique que cette première expérience permet d'aborder.

Jean-Eric Ducret et Joël Martin
(SPhN)

(*) - La couleur est à l'interaction forte ce que la charge électrique est à la force électromagnétique. Les quarks échangent leur couleur via les gluons.

(**) - Voir l'article de Jean-Marc Laget : « La physique à CEBAF » dans le n° 20.

BRÈVES ... BRÈVES ...

ANALYSE D'UN LIVRE

«... **textes fondateurs** » (voir p.1)

*Préface de Jean-Marc Lévy-Leblond
Masson (Histoire des sciences)
Paris 1995*

Cette compilation de textes fondateurs de la physique quantique, dont nous avons extrait l'article de Becquerel sur sa découverte de la radioactivité, comporte dix-neuf articles qui vont des principaux articles originaux fondateurs de la mécanique quantique (par Planck, Einstein, Rutherford, Pauli, Uhlenbeck et Goudsmit, Fermi, Bose – traduit par Einstein ! –, de Broglie, Schrödinger, Heisenberg, Born, Bohr, London et Bauer) jusqu'à quelques articles de revue récents qui font le point des connaissances en physique de l'infiniment petit (par Weinberg et Fayet) en passant par quelques contributions cruciales de Dirac, Feynman et Yukawa. Les transitions et commentaires de Leite Lopes et Escoubès permettent de situer chacun des textes dans l'histoire de la physique du xxème siècle. Un excellent outil de retour aux sources pour tous ceux et toutes celles qui, au DAPNIA, ont à utiliser la physique quantique.

Gilles Cohen-Tannoudji (SPP)

DERNIÈRE HEURE

Sur recommandation de son Comité Consultatif des Programmes, le directeur de CEBAF, Hermann A. Grunder, vient de décider que la première expérience majeure dans le Hall C serait la «*mesure de la polarisation tensorielle du deuton par diffusion inélastique, à hauts moments de transfert, d'électrons sur le deutérium avec détection en coïncidence du deuton polarisé* ». Cette expérience est l'une des trois où s'implique fortement le DAPNIA. Dans notre prochain numéro, un des heureux participants, Michel Garçon (SPhN) nous en dira plus sur cette mesure. Patience, donc.

VA-ET-VIENT

Novembre 1995 - Trois recrutements : François Daly au SAP, Bruno Levesy au STCM et Aymeric Sauvageon au SAP. La mutation d'Etienne Klein (ex-SEA) à la DCC en mars dernier est régularisée. Cinq départ en retraite : André Beli (SIG), Claude Delomez (SED), Daniel Foucaud (SGPI), Mireille Kalifa (SEI) et Robert Lecardonnel (SEI). Frédéric Lejars (STCM) part un an en congé sans solde.

Décembre 1995 - Trois recrutements : Nathalie Colombel et Maryvonne Hardy au SGPI, Philippe Venault au SEI. Trois mutations : Guy Fournier du SPhN part au Siège, Patrick Prochet du SAP

s'en va à Cadarache et Eric Lafond arrive au SEI en provenance de la DRN. Deux retraites : Solange Bonnet (SGPI) et Pierre Genevey (STCM).

Bienvenue et bonne chance à toutes et à tous

NOMINATIONS

Jacques Pérot quitte la direction du STCM. Il passe le témoin à Marcel Jacquemet à dater du 1er mars. Bonne chance et bienvenue.

Nommé en décembre dernier président du 1^{er} Comité International en Physique Nucléaire (ICNP), Bernard Frois coordonnera au plan européen les équipes engagées dans le projet ELFE, le futur grand accélérateur européen d'électrons de 15 à 30 GeV. Sa lettre de mission précise que cette coordination devra être menée «*en concertation et en coopération avec les autres organismes et laboratoires européens compétents* ». Un grand bravo!

DU NOUVEAU SUR WWW

On trouve de tout sur le Web, même des informations utiles.

Sur la page DAPNIA ([Http://WWW-dapnia.cea.fr/](http://WWW-dapnia.cea.fr/)), sous la rubrique:

Les activités de recherche

vous trouverez à **Divers** la rubrique Bourses et échanges internationaux, CEE et Ministères.

Vous y lirez tout ce que je sais sur les moyens de financements extérieurs au DAPNIA pour accueillir des Post-docs (ou thésards) étrangers et pour financer des échanges de missions de courte durée avec des étrangers, sur un projet bien défini.

Si vous désirez avoir des informations complémentaires, si vous avez des suggestions sur la présentation ou si vous en savez plus que moi, n'hésitez pas à me contacter au 60 81, ou 64 39 ou par courrier électronique :

Bolognese@hep.saclay.cea.fr

Je peux vous préparer la sauce dont j'ai le plaisir de porter le nom !

Teresa Bolognese (SPP)

On va se faire des nouilles encore... (NDLR)

ÉCRIVEZ ...

Maryline ALBÉRA
DAPNIA/DIR - Bât. 703
CEA/Saclay
91191 - Gif sur Yvette cedex
Tél. : (1) 69 08 82 78

SCOOP ! (*ceci est une NDLR...*)

La DSM est une grande famille : lors des dernières rencontres de Moriond, Yves Sacquin (SPP) assure avoir croisé le *ski de Jules César*

JOURNÉES DU DAPNIA

Ouvertes à tous les agents du Département, même aux physiciens, elles se dérouleront du 18 au 20 septembre 1996 sur le thème des métiers du DAPNIA, en un lieu non encore déterminé

REGRETS

«*ScintillationS* » présente ses condoléances les plus attristées à la famille et aux amis d'Edgard Chamaux du DAPNIA/DIR.

PLUMES
DU
DAPNIA

Vient d'être présenté chez Bernard Pivot le livre de Michel Cassé (SAp) :

Conversation sur l'invisible

écrit en collaboration avec Jean Audouze et Jean-Claude Carrière, réédité cette année chez Plon.

Toujours de Michel Cassé **Du vide et de la Création**, vient d'être réédité chez Odile Jacob dans la collection «*Opus* »

Le Temps et sa Flèche (voir «*ScintillationS* » n° 21) vient d'être réédité chez Flammarion dans la collection «*Champs* »

CEA - DIRECTION DES SCIENCES DE LA MATIÈRE

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION :
Jacques HAISSINSKI
COMITÉ ÉDITORIAL :
Joël MARTIN (porte parole),
Claire ANTOINE,
Michel BOURDINAUD,
François BUGEON, Rémi CHIPAUX
Gilles COHEN-TANNOUDJI,
Bertrand CORDIER, Pierre LAMARE,
Claude LESMOND, Elizabeth LOCCI,
Marc SAUVAGE, Jean-Claude SCHEUER
SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION :
Maryline ALBÉRA
MAQUETTE ET MISE EN PAGE :
Christine MARTEAU

Dépôt légal mars 1996