

Retour à Stockholm

Stockholm 1984: Carlo Rubbia (à gauche) et Simon van der Meer, lauréats du prix Nobel de physique.

(Photo Dagens Nyheter)



Le prix Nobel de physique 1984 a été attribué conjointement à Carlo Rubbia et à Simon van der Meer, du CERN, pour leurs contributions déterminantes au projet qui a mené à la découverte du W et du Z, les particules du champ de l'interaction faible. Cinq ans plus tôt, Sheldon Glashow, Abdus Salam et Steven Weinberg avaient fait le même voyage et reçu le prix en récompense de leur rôle crucial dans l'édification de l'élégante théorie

de jauge «électrofaible» qui unifiait les forces faible et électromagnétique et permettait de calculer avec précision les masses auxquelles on trouverait les particules W et Z.

En décembre, les trois théoriciens sont revenus à Stockholm pour participer avec les lauréats de 1984 à une table ronde organisée spécialement pour les étudiants de Stockholm. Ouvrant la réunion, Bengt Nagel, de l'Institut royal de technologie de Stockholm,

a passé un enregistrement de 1979 qui a montré de façon éclatante à quel point une découverte aussi rapide des particules prédites pouvait sembler impensable à l'époque. Nagel a rendu hommage aux prouesses accomplies au collisionneur du CERN.

Rarement dans les annales du prix Nobel les découvertes expérimentales ont suivi d'aussi près leurs prévisions théoriques et Weinberg, le premier orateur, a remercié les membres du Comité du prix Nobel de physique pour la «merveilleuse inspiration qui les a poussés à ré-inventer la "promotion" de 1979 afin qu'elle puisse baigner dans le rayonnement glorieux de Rubbia et de van der Meer».

«Vers le milieu des années 70, nous semblions être parvenus à bien comprendre l'essentiel au sujet des particules susceptibles d'être créées en laboratoire», a poursuivi Weinberg; «toutefois, comme d'habitude en physique, notre savoir était incomplet. Il restait et il reste encore un grand nombre de zones d'ombre (des paramètres libres dont la valeur doit être déterminée par l'expérience) masses, échelles, couplages, mélanges, etc. De plus, l'absence d'une unification totale des divers domaines est flagrante: les interactions faible, forte et gravitationnelle restent isolées, les quarks et les leptons exigent des traitements distincts.

» A travers le monde, les théoriciens ont fourni d'énormes efforts qui se sont soldés presque uniquement par des frustrations. Tandis que nos collègues expérimentateurs progressaient et nous éblouissaient par leurs découvertes, nous autres théoriciens avons exploré l'une après l'autre diverses avenues — d'une beauté et d'une subtilité remarquables — sans le moindre succès pour récompenser notre peine.

» Ainsi, une théorie de la grande unification (à laquelle ont largement contribué mes confrères Sheldon

Steven Weinberg : « Les théoriciens ont fourni d'énormes efforts qui se sont soldés presque uniquement par des frustrations. »

(Photo CERN 356.12.79)



Glashow et Abdus Salam) a été édifée pour rassembler les interactions forte et électrofaible sur le moule de l'unification des forces électromagnétique et faible. D'après les théories de ce type, on prévoyait en général un proton instable doté d'une durée de vie juste accessible à la mesure expérimentale. Mais à notre grand regret, ce phénomène n'a pu être observé jusqu'à présent.

» Bien d'autres modèles ont été proposés, mais aucun ne s'est encore imposé comme candidat à la « vraie théorie ». En dépit de toute cette agitation théorique, nous restons pratiquement les mains vides, sans aucune prévision concrète à mesurer à l'aune de l'expérience.

» Si beaucoup de ces idées nouvelles ne visent à obtenir une grande synthèse qu'à des énergies extrêmement élevées, je pense qu'il est quand même possible que de nouveaux phénomènes apparaissent dans des expériences uti-

lisant la technologie actuelle, et certains indices laissent même penser que c'est effectivement le cas.

» Il se peut que les théoriciens soient mis sur la bonne piste par les expérimentateurs. Mais il est également possible que de nouveaux modèles théoriques s'avèrent satisfaisants au point de nous fournir tous les nombres qui nous manquent. » Répondant à une question de la co-animatrice du débat, Celia Jarlskog, au sujet de la récente tendance à lier entre elles les idées fondamentales de la physique et la cosmologie, Weinberg a déclaré : « En dépit d'importants succès dans la formulation de solutions qualitatives aux problèmes cosmologiques, il n'est apparu aucune prédiction quantitative, comparable en importance à celle des années 60 sur l'abondance de l'hélium, susceptible d'inspirer confiance dans la validité de l'une quelconque des hypothèses cosmologiques ainsi forgées.

» Je trouve ces travaux fascinants (j'ai participé à certains d'entre eux) mais je ne vois pas de raison d'espérer que nous pourrions les vérifier. Ils n'entraînent malheureusement aucune prédiction quantitative précise parce que, longtemps après les diverses étapes initiales proposées, l'univers a traversé une longue période d'équilibre statistique qui a effacé tous les vestiges phénoménologiques intéressants des époques antérieures. Après la « longue cuisson » de l'univers, il ne nous reste actuellement qu'un « ragoût » cosmique final qui ne nous fournit aucune indication de ce qu'ont pu être les divers ingrédients primitifs. »

Simon van der Meer du CERN a d'abord exposé à son auditoire en grande partie étudiantin quelques « dures réalités » des accélérateurs de particules, ces machines de plus en plus grandes indispensables pour sonder des constituants de la matière de plus en plus petits.

« Actuellement on s'accorde à penser qu'il n'est guère plus utile d'employer les accélérateurs avec cible fixe dans lesquels presque toute l'énergie du projectile se gaspille dans le choc avec les particules stationnaires de la cible. Au lieu de cela, la mode est maintenant aux collisionneurs qui permettent l'utilisation efficace de toute l'énergie. Dans ces machines, les physiciens préfèrent accélérer des électrons et des positons plutôt que des protons. Les collisions proton-antiproton sont très confuses car ces particules comptent un certain nombre de quarks et de gluons. L'énergie étant partagée entre plusieurs constituants, l'énergie effective de collision se trouve réduite d'autant.

» Toutefois, dans une machine circulaire, il est plus aisé d'avoir affaire à des protons car, sur une trajectoire courbe, les particules légères comme les électrons perdent de l'énergie par rayonnement. Au CERN se présentait la possibilité d'accélérer des protons et des

Simon van der Meer: «Notre dilemme actuel».

(Photo CERN 715.1.84)

antiprotons dans l'anneau du SPS existant. Maîtriser ainsi des faisceaux opposés à l'intérieur d'un anneau unique est d'un coût relativement réduit — bien moindre que la construction d'un nouvel anneau. Toutefois, dans le projet visant à de plus hautes énergies, la méthode utilisée avec les antiprotons sera-t-elle encore valable?

» Nous l'avons utilisée et elle «marche», mais c'est de justesse, difficilement, péniblement. Nous devons accumuler des antiprotons toute la journée et au moindre incident nous les perdons et nous devons recommencer. Si nous construisons une nouvelle machine, je pense qu'il vaudra mieux construire deux anneaux et travailler avec des protons. C'est plus facile et la différence de coût n'est pas tellement importante.

» Au CERN nous construisons actuellement le LEP, une machine qui collisionnera des électrons et des positons d'une énergie, dans l'étape finale, de 100 GeV. Aux Etats-Unis le nouvel anneau supra-conducteur du Laboratoire Fermi accélère les protons à 800 GeV, et 1000 GeV (1 TeV) sont prévus. L'étude d'une machine de 20 TeV est en cours et, si les Etats-Unis la construisent, l'Europe en subira le contre-coup. Un projet actuellement débattu consisterait à installer un anneau à protons dans le tunnel du LEP, mais la circonférence limitée du tunnel permettrait au mieux d'atteindre une énergie égale à la moitié de celle envisagée dans la nouvelle proposition des Etats-Unis. Toutefois, cette solution serait beaucoup moins coûteuse et, si les physiciens des Etats-Unis n'obtiennent pas les crédits nécessaires pour construire leur nouvelle machine, nous serons en Europe très bien placés. C'est notre dilemme actuel!»

Dans son intervention, Abdus Salam a d'abord reconnu les mérites des lauréats de 1984 et de toutes les autres personnes au CERN qui ont permis au collision-

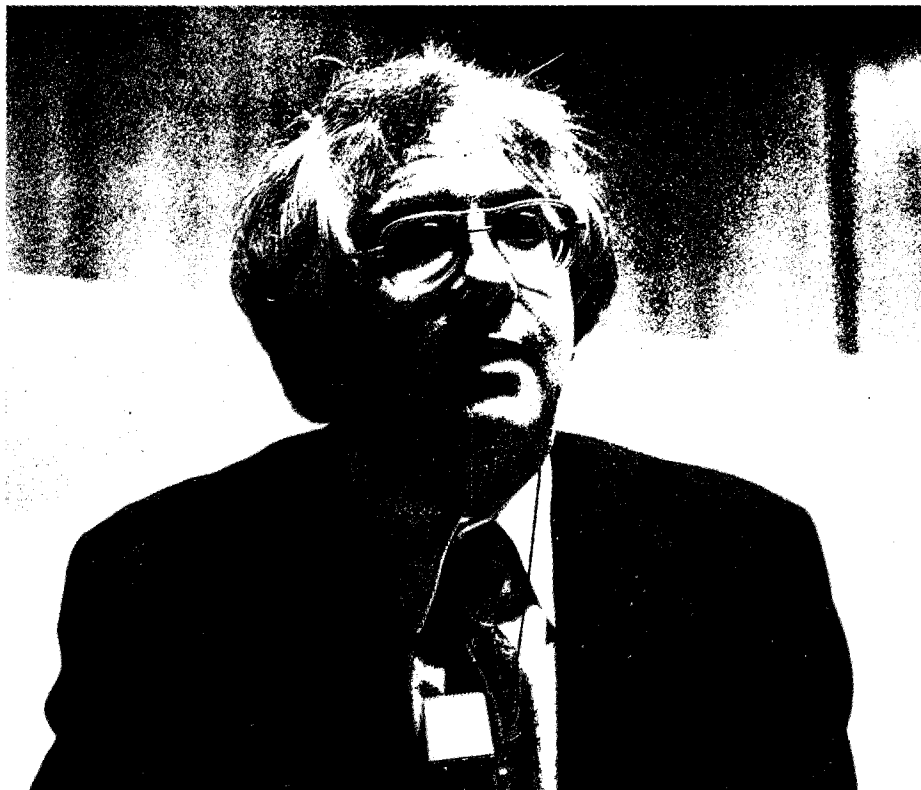


neur proton-antiproton de voir le jour. «Van der Meer a parlé de plans pour l'avenir immédiat, a-t-il poursuivi, mais j'aimerais voir plus loin, en fait jusqu'en 2006 — année de mon quatre-vingtième anniversaire!

» Les théoriciens lorgnent l'énergie de 10^{19} GeV, dite «de Planck», qui ressort des équations d'Einstein. Comment l'atteindre? Les machines sont actuellement limitées par des champs accélérateurs ne dépassant pas un dixième de GeV par mètre; sur cette base, nous pouvons proposer des machines de 10^4 GeV, mais souvenons-nous du chiffre de 10^{19} GeV. Des accélérateurs à ondes de battement laser dans un plasma apparaissent à l'horizon; ils pourraient être mille fois plus «puissants». Mais même alors on resterait loin des 10^{19} GeV. Toutefois, je suis sûr que d'ici à l'année 2006 nous aurons des idées nouvelles à exploiter».

Puis Salam se tourna vers le

problème épineux du financement. «Nous devons mettre un prix sur notre curiosité et notre soif de connaissances fondamentales. Le montant habituellement suggéré correspond au dixième de deux pour cent du produit national brut — deux pour cent représentant le niveau habituel des dépenses pour la science, la recherche et le développement. Comme je suis originaire d'un pays en voie de développement (le Pakistan), les gens me demandent comment je peux justifier l'allocation de ressources énormes pour les accélérateurs. Ma réponse est que dans notre société technologique les «méga-sciences» sont les «méga-utilisatrices de fonds», destinées à prendre la place des armements nucléaires le jour où cessera leur production. Si notre société technologique veut progresser, nous serons ses bienfaiteurs. Le niveau de financement nécessaire est absolument négligeable par rapport aux investissements actuels dans les



Sheldon Glashow: «Le sentier ascendant et le sentier descendant».

(Photo CERN 327.12.79)

Abdus Salam, au CERN en 1979, accompagné de Léon van Hove (debout, à gauche) et John Adams (à droite), directeurs généraux du CERN à l'époque. A Stockholm l'an dernier, Salam a rendu hommage aux rôles qu'ils ont joué pour rendre possible le collisionneur proton-antiproton du CERN.

(Photo CERN 361.10.79)

pergravitation. Autrement dit, les interactions se mélangent, elles ne se manifestent pas clairement et individuellement.

»En allant plus loin, jusqu'à la supergravitation étendue, des travaux récents ont suggéré que le nombre de dimensions le plus favorable pour l'unification s'élevait à 11; la théorie ainsi obtenue est tellement séduisante que Stephen Hawking l'a dénommée TOE (Theory of Everything, théorie totale); mais elle n'est pas saine et il a fallu faire machine arrière.

»Nous nous trouvons donc dans la fâcheuse situation de disposer de nombreuses théories concurrentes, mais qui n'ont produit que peu de résultats concrets. La morale est que la physique reste une science expérimentale et que nous devons toujours revenir vers les van der Meer et Rubbia et les accélérateurs.»

Carlo Rubbia a souligné le même point. «Il semble clair qu'aujourd'hui la physique est de nou-

sous-marins nucléaires mais, dans le même temps, on constate dans certains pays une érosion du soutien à la science. Je tremble à la pensée de ses implications pour l'avenir.»

Enfin Salam aborda son rêve, caressé de longue date, d'unifier toutes les forces de la nature. «Nous ne semblons pas avoir suivi la bonne piste. La désintégration du proton qui devait prouver l'unification de la force forte avec

l'électrofaible ne semble pas se concrétiser. Toutefois, il existe la possibilité d'une symétrie d'une indicible élégance: la supersymétrie entre bosons et fermions. Aucune preuve tangible n'en a encore été trouvée et, pour savoir si cette symétrie correspond à la réalité, il faudra attendre que nous ayons réussi, nous autres théoriciens, à déterminer le champ de jauge correspondant et, pour cela, il faudra faire appel à une théorie de la su-



Carlo Rubbia: «La néophysique pourrait être plus proche que nous ne le pensons».

(Photo CERN 63.8.83)

veau dans les mains des expérimentateurs. Nous attendons tous une grande surprise, mais sans savoir d'où elle viendra.

» Ainsi que l'a remarqué Simon van der Meer, les collisions entre faisceaux — qu'ils soient de hadrons ou d'électrons et positons — prennent le pas sur celles avec cible fixe. Cette révolution très importante modifie fortement le panorama des accélérateurs, qui n'est plus du tout ce qu'il était à ses débuts avec Lawrence il y a cinquante ans.

» Parallèlement, on constate un important développement dans l'expérimentation sans accélérateur. Il n'y a pas si longtemps, il semblait que la seule façon d'accéder à la notoriété consistait à posséder un accélérateur à soi. Aujourd'hui ce n'est plus le cas.

» Ces expériences appartiennent à deux classes: l'une sur l'investigation des masses très faibles, des neutrinos ou de leurs oscillations et l'autre, à l'extrémité opposée du spectre, sur la désintégration du proton, expériences par lesquelles on voudrait détecter des effets dus à des particules de masse énorme. Ces dernières études se poursuivent et, si le proton est instable, les chances sont grandes de le découvrir dans les quelques années à venir.

» Dans le domaine des recherches avec accélérateurs, nous ne savons vraiment pas d'où jailliront de nouvelles surprises. La nécessité de construire de nouvelles machines cent fois plus puissantes que les collisionneurs dont nous disposons ne m'apparaît pas clairement. La néophysique pourrait être plus proche que nous ne le pensons. Déjà, au collisionneur du CERN, quelques embryons de preuves suggèrent des phénomènes qui ne sont pas complètement compris (voir numéro de mai 1984, page 139).

» Souvenons-nous de l'irruption de la particule J/ψ . A l'époque, les anneaux de stockage à intersections du CERN fonctionnaient

à environ 60 GeV et l'énergie de la nouvelle particule n'était que de 3 GeV. Cette découverte n'était donc pas seulement une question d'énergie de l'accélérateur; elle fut accomplie par une observation plus fine d'un domaine déjà étudié.

» Avec l'apparition des particules W et Z, de nouvelles échelles de masse entrent en jeu, exactement comme lors de la découverte du pion. Mais quand le pion fut mis au jour nul n'imaginait qu'allait surgir un riche trésor de nouvelles résonances. Pareillement, nous n'avons aucune idée de ce qui peut se passer quand deux W s'approchent l'un de l'autre. Quelle forme l'interaction des W prend-elle? Un vaste choix de théories proposent de nombreuses réponses, mais en tant qu'expérimentateur je voudrais vérifier moi-même l'allure de la nouvelle spectroscopie. Il s'agit d'une question expérimentale et la seule façon d'y répondre consiste à effectuer plus d'expériences et plus soignées.»

Le dernier orateur, Sheldon Glashow, a vanté les mérites du collisionneur du CERN. «Peu parmi nous croyaient que cette machine fonctionnerait aussi bien et permettrait la découverte non seulement du W et du Z, mais encore du quark t. Cela tient du miracle!

» Des tentatives ont eu lieu, pour-suivit-il, de trouver hors du domaine des hautes énergies des surprises telles que quarks libres, monopôles magnétiques, masses des neutrinos et désintégration du proton et pendant une courte période j'ai pensé que c'était la direction à suivre. Mais cela ne semble pas être le cas. Les surprises nous viennent de la physique des hautes énergies et, en dépit de leur modestie, Carlo Rubbia et Simon van der Meer sont assis sur une bombe.»

Glashow a alors poursuivi sa conférence sous un angle plus philosophique. «Les mystères de la physique des particules élémentaires peuvent être abordés de deux



L'expérience L3 au futur LEP

façons très différentes. Je les appelle le sentier ascendant et le sentier descendant. Abdus Salam et Steven Weinberg, par exemple, suivent ce dernier: partant de quelque brillant concept, à la manière d'Einstein, on doit chercher les chemins qui mènent d'une «théorie totale» à la banalité des détails phénoménologiques observés dans les accélérateurs. Ce sentier descendant est difficile, Einstein l'a parcouru le premier en 1917 avec sa brillante découverte de la relativité généralisée mais, depuis, c'est la chute de Charybde en Scylla!

» Le sentier ascendant est moins élégant. Nous devons écouter nos collègues expérimentateurs pour tenter de glaner quelques bribes et miettes qui ne trouvent pas de place dans notre arrogante solution standard au rébus de l'univers.

» Comme l'ont déjà dit mes confrères théoriciens, le sentier descendant ne mène pas bien loin mais, depuis le bas, on ne monte pas bien haut non plus!

» Simon van der Meer a évoqué la compétition internationale en physique des hautes énergies. Je pense que nous ne devrions plus y voir une compétition. C'en était une quand le prix en était raisonnable mais, depuis, il s'est fortement élevé. J'espère que la concurrence serrée du passé se changera en une fructueuse collaboration. Le succès du CERN — auquel collaborent treize Etats — serait utilement étendu à d'autres pays. Permettez-moi de dire aujourd'hui, pour que vous le rediffusiez dans cinq ans, que ce prix Nobel attribué à ces Européens distingués et très méritants marquera le début d'une collaboration en physique des hautes énergies avec les autres pays du monde.»

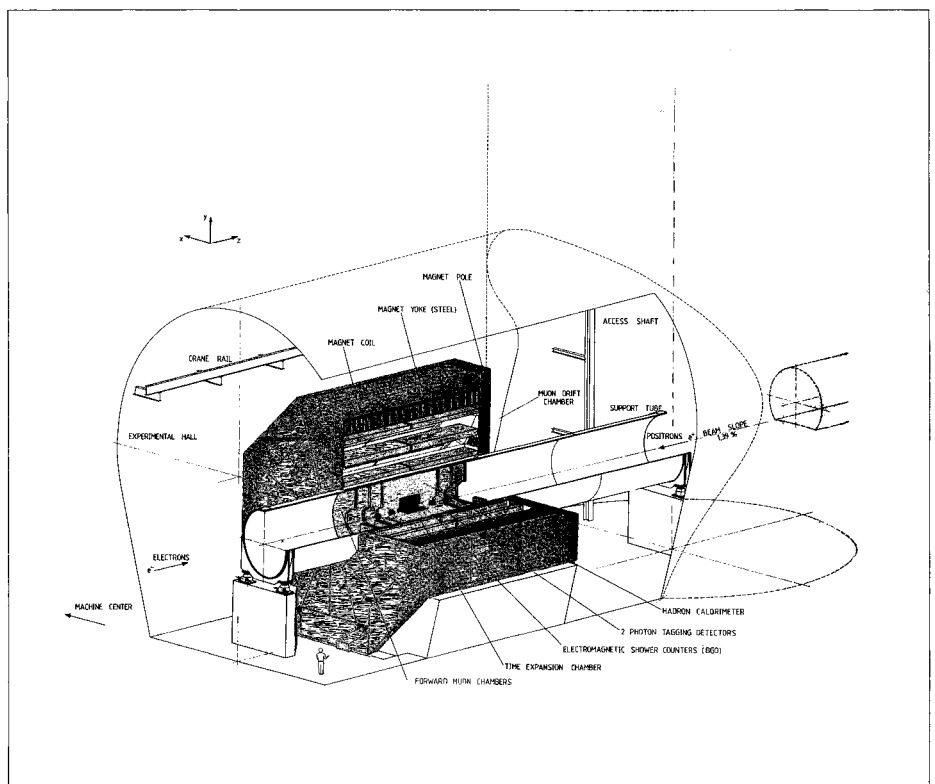
Pour conclure notre série d'articles sur les quatre grandes expériences prévues au collisionneur électrons-positons géant LEP actuellement en construction au CERN, nous en venons au détecteur L3. (Les trois autres sont DELPHI, voir numéro de juillet/août 1984, page 227, ALEPH, voir numéro de septembre 1984, page 269 et OPAL, voir numéro de novembre 1984, page 375.)

Tandis que les trois autres collaborations se sont forgé des acronymes distingués, la désignation «L3» provient simplement du fait que la lettre d'intention reçue en 1982, quand les idées d'expériences au LEP ont été avancées pour la première fois, était la troisième. Toutefois, la modestie du sigle ne reflète nullement les ambitions des expérimentateurs, et leur chef de file, Sam Ting, cherche toujours un nom convenable pour le détecteur.

Notre compréhension des forces fondamentales de la nature repose

sur deux piliers: l'invariance de jauge et le phénomène de brisure spontanée de la symétrie. L'invariance de jauge, dont procèdent les théories des champs décrivant l'électromagnétisme et son extension unifiée électrofaible, ainsi que les forces entre quarks, est maintenant bien comprise.

Toutefois, la brisure spontanée de la symétrie, responsable par exemple des échelles de masse dans la théorie électrofaible, est moins fermement établie. A ce phénomène se rattache l'existence, qui reste à prouver, de particules nouvelles: les bosons de «Higgs». Aucun calcul précis ne révèle la masse de ces corpuscules (au contraire des prédictions très précises relatives aux particules W et Z). Pour les mettre en évidence au LEP, des mesures exactes d'événements relativement rares seront nécessaires. L3 a été conçue avec cet objectif en tête. Un but supplémentaire est d'effectuer des mesures précises dans le domaine



*Schéma d'ensemble de l'expérience L3
prévue au collisionneur électrons-positons
LEP actuellement en construction au CERN.*