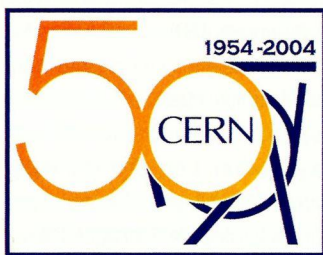


Les particules W et Z: souvenirs personnels



Pierre Darriulat, qui fut le porte-parole de la collaboration UA2, de 1978 à 1985, revient sur les événements qui ont entouré la découverte

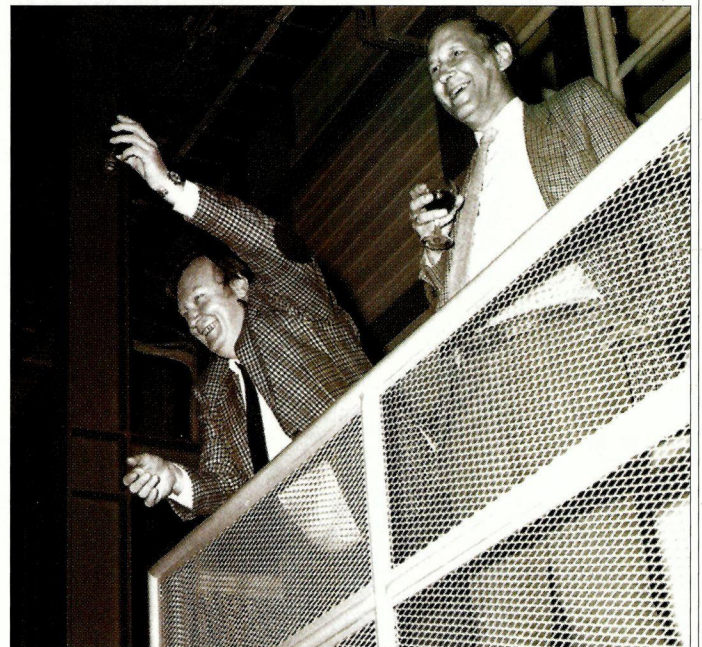
au CERN, en 1983, des particules W et Z.

1967–1976: une décennie marquée par une série impressionnante de découvertes théoriques et expérimentales qui ont changé notre vision du monde – depuis la prédiction de l'unification électrofaible dans le secteur des leptons (1967–1980) et la découverte de la diffusion profondément inélastique des électrons (1969), jusqu'aux découvertes des particules J/Ψ (1974) et à charme apparent (1976), en passant par la liberté asymptotique et la chromodynamique quantique (1973). En 1976, le modèle standard de la physique des particules est en place, prêt à être confronté aux expériences; il est alors évident qu'il faut un nouvel accélérateur pour sonder la région de l'unification électrofaible où sont attendus les bosons de jauge faibles, le W et le Z, avec des masses d'environ 65 et 80 GeV/c^2 respectivement. Il existe alors, déjà, de solides arguments justifiant la future machine LEP.

Je me souviens que John Adams (alors directeur général exécutif du CERN) m'avait demandé de réunir le groupe d'étude sur le Grand collisionneur électron–positon (LEP) en avril 1976 et d'en éditer le rapport. Concrètement, cela voulait dire découvrir auprès des théoriciens John Ellis et Mary K Gaillard toutes les notions merveilleuses que la nouvelle physique allait nous offrir, réunir des documents sur la faisabilité de la machine (qui avaient été publiés suite à l'article de référence de Burt Richter) et boucler le tout le plus rapidement possible avec quelques observations expérimentales de base. Ce fut l'histoire d'à peine sept mois, à la satisfaction de John Adams qui voulait profiter du succès du supersynchrotron à protons (SPS), qui allait entrer en service, pour activer le projet LEP.

Le choix proton–antiproton

Pour comprendre la décision en faveur d'une machine proton–antiproton, il faut se souvenir de la situation en 1976. La volonté de découvrir le W et le Z était tellement forte que la plupart d'entre nous, même les plus patients, ne pouvaient se satisfaire d'attendre des années pour concevoir, mettre au point et construire le LEP. Un coup d'œil vite fait (et bien fait espérait-on) sur les nouveaux bosons aurait été particulièrement appré-

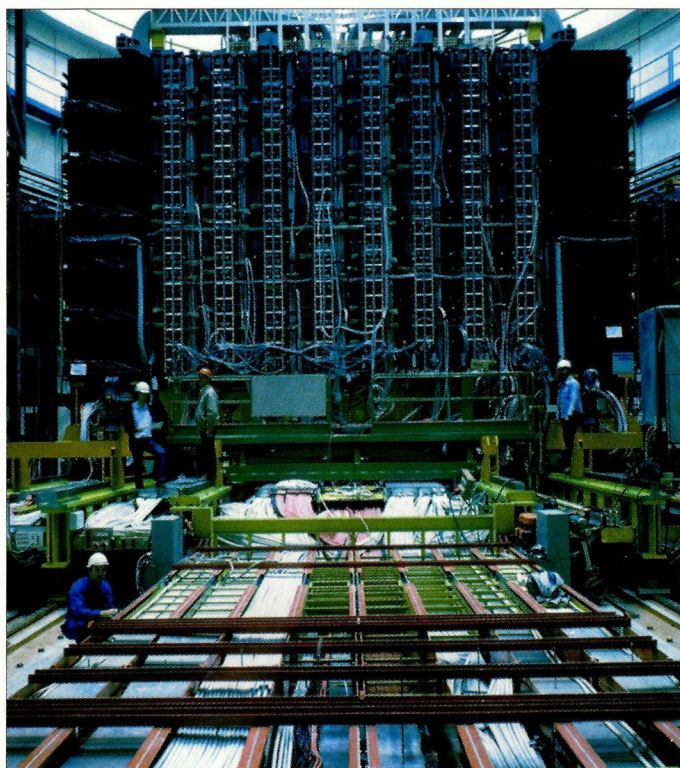


Dès que l'on sut que le prix Nobel de physique 1984 avait été décerné à Carlo Rubbia et Simon Van der Meer, une cérémonie fut organisée dans un hall d'expérimentation du CERN. La joie qui transparait sur cette photo était partagée par les participants au projet proton–antiproton, qui ont pris part à l'évènement et bu un verre en leur honneur. Ce fut sans aucun doute l'un des jours les plus heureux de l'éminente histoire du CERN.

cié. Mais lorsque des collisionneurs proton–proton, comme les anneaux de stockage à intersections supraconducteurs (SCISR), ont été proposés à cet effet, la Direction du CERN les a "tués dans l'œuf", au motif qu'ils retarderaient, ou pire, compromettraient le projet LEP. Même leurs partisans ont vu là un argument valable.

Mais l'objection ne tenait pas face au collisionneur proton–antiproton dans la mesure où il ne nécessitait pas de construire un nouvel anneau de collision et pouvait être proposé en tant qu'expérience. On pourrait rétorquer que cela ressemblait à une mauvaise plaisanterie étant donné qu'il fallait construire une source d'antiprotons, qui plus tard inclurait un ensemble d'anneaux pour collecter et accumuler ces antiprotons (AC/AA).

Toutefois, il n'en demeure pas moins que l'existence du SPS, dont les performances allaient bientôt s'avérer excellentes, a été à l'évidence un élément essentiel du succès du projet proton–antiproton, dont le mérite revient à John Adams. Il est également vrai que ce dernier a eu du mal à ▷



Le détecteur UA1, photographié ici dans son "garage", était un détecteur polyvalent. Il offrait une couverture de l'angle solide aussi grande que possible et pouvait détecter les jets de hadrons, les électrons et les muons.

accepter que son nouveau bébé, toute juste né, doive être modifié et transformé en un collisionneur dont la réussite était loin d'être assurée. A l'époque, ce sentiment était en fait partagé par la grande majorité des spécialistes des machines, et tout le mérite de Carlo Rubbia est d'avoir réussi à faire valoir ses idées concernant un collisionneur proton-antiproton avec une détermination sans faille, malgré un climat aussi hostile. Et il l'a fait non seulement avec détermination, mais également avec une vision précise de ce qui découlerait de sa proposition et une compréhension approfondie des enjeux pour la physique des machines.

Une menace venue du Laboratoire Fermi

Un autre argument a également permis au projet proton-antiproton de briser le tabou du LEP. Il était fort probable que si Carlo n'arrivait pas à rallier le CERN à son idée, il aurait plus de succès au Laboratoire Fermi. La menace était bien réelle et elle a pesé de tout son poids lorsque la décision a été prise au CERN. En dépit du fait qu'à l'époque la machine du Laboratoire Fermi ne fonctionnait pas assez bien pour être utilisée comme collisionneur proton-antiproton, la menace a effectivement accéléré la série d'événements bien connus qui ont suivi la publication en 1976 de l'article de Carlo Rubbia, Peter McIntyre et David Cline. En 1977, une fois la proposition faite au CERN et au Laboratoire Fermi de produire le W et le Z avec les machines existantes, une étude de faisabilité fut entreprise par Franco Bonaudi, Simon Van der Meer et Bernard Pope, qui aboutit à la conception de l'accumulateur d'antiprotons (AA). Parallèlement, Carlo lançait une étude sur les détecteurs qui déboucha sur la conception de UA1, et l'expérience initiale de refroidissement (ICE) fut proposée au Comité du SPS. La preuve du succès de l'ICE fut apportée en juin 1978 et l'approbation du détecteur UA1 suivit immédiatement. A peine six mois plus tard, l'expérience UA2 était également approuvée.

Je suis convaincu que sans Carlo, il n'y aurait pas eu de physique des collisionneurs proton-antiproton dans le monde pendant longtemps, peut-être même jamais. Que les bosons faibles aient été découverts au LEP, au Collisionneur linéaire de Stanford (SLC) ou ailleurs, la question n'est pas là; il aurait fallu attendre encore au moins six ans. D'aucuns objecteront que six ans, ce n'est pas si long; mais le quark t non plus n'aurait pas été découvert (autrement qu'indirectement par les corrections radiatives au LEP), de même que nous n'aurions rien appris des riches et vastes quantités de données sur la physique des interactions fortes et électrofaibles qui ont été recueillies au SPS et au Tevatron – sans parler de la physique à basse énergie au LEAR, de l'antihydrogène, des boules de glu, de la violation de CP, des atomes d'hélium antiprotonique, etc.

L'influence des ISR du CERN

J'aimerais parler ici des ISR du CERN et du rôle déterminant qu'ils ont joué dans la réussite du projet proton-antiproton. Les ISR ont été le premier collisionneur de hadrons au monde. C'est sur eux que la jeune génération de physiciens des machines, qui ont conçu, construit et fait fonctionner la source d'antiprotons et le collisionneur proton-antiproton (et, ultérieurement le LEP, dans une moindre mesure peut-être), s'est forgé son expérience et ses compétences. La machine a fonctionné à merveille, dépassant les objectifs nominaux, tant en énergie qu'en luminosité. C'est aux ISR que les idées de Van der Meer sur le refroidissement stochastique ont été testées pour la première fois, étudiées et comprises. C'est également avec cette machine qu'une génération de physiciens a appris à concevoir des expériences auprès de collisionneurs de hadrons.

Lorsque les premières expériences aux ISR ont été conçues, l'interaction forte était encore totalement inexplicable; lorsque la machine a finalement été arrêtée, la CDQ était bien établie. Je ne suis pas en train de dire que la physique aux ISR nous a révélé la CDQ, mais elle a contribué au développement de plusieurs des idées de base. L'expérimentation aux ISR a été particulièrement utile pour dégager une vision précise des collisions de hadrons, sans laquelle nous n'aurions pas pu concevoir de manière aussi judicieuse les expériences UA au CERN, ainsi que CDF et DO au Laboratoire Fermi. L'équipe UA2 en particulier doit beaucoup aux ISR, un grand nombre d'entre nous y avaient préalablement travaillé et acquis une expérience qui s'est ensuite avérée être un atout précieux pour concevoir un bon détecteur.

J'aimerais aussi rappeler que le projet proton-antiproton a réussi à attirer une concentration extraordinaire de talents exceptionnels. L'une des raisons était bien sûr qu'entre les projets SPS et LEP (le premier achevé et le second pas encore né), le moment était pour ainsi dire idéal. L'autre, peut-être plus importante encore, tenait à la passion qu'inspiraient les défis d'un tel projet, ce qui a attiré des ingénieurs et des physiciens (physiciens des particules comme des machines) particulièrement brillants.

Concevoir, construire et assembler la source d'antiprotons et les détecteurs, puis les faire fonctionner en un temps aussi bref représentait une invraisemblable gageure, tout comme le fait de devoir creuser et équiper les grands halls d'expérimentation requis pour abriter les nouveaux détecteurs qui devaient être tour à tour rentrés et sortis en fonction des modes d'exploitation (collisionneur ou cibles fixes), et transformer le SPS en collisionneur. La somme d'ingéniosité requise pour réaliser tous ces exploits était réellement exceptionnelle.

Mon meilleur souvenir de cette époque est peut-être bien d'avoir eu la chance de travailler avec autant de personnes talentueuses et, dans le cas de UA2, le plaisir de collaborer avec des collègues aussi brillants (physiciens confirmés, postdoctorants, étudiants ou physiciens de ma génération).

Concurrence entre UA1 et UA2

Si la concurrence entre UA1 et UA2 était réelle et vive, elle n'en demeurait pas moins secondaire; c'était davantage une sorte de jeu auquel nous avions beaucoup de plaisir à participer. Il ne faisait aucun doute que Carlo était le roi du royaume proton-antiproton et reconnu comme tel par nous tous. Si le projet proton-antiproton avait été un échec, il aurait assurément dû en assumer la responsabilité. Mais ce fut une réussite et il faut donc lui en reconnaître le mérite.

Pour ma part, j'ai travaillé dans le groupe de Carlo pendant environ six ans, essentiellement sur la physique du kaon. Je l'ai rejoint au milieu des années 60, alors que j'étais postdoctorant. Je venais de la physique nucléaire; il m'aura appris les bases de la physique expérimentale des particules. J'ai toujours été impressionné par sa vivacité et son ouverture d'esprit et par sa très grande clairvoyance. Aujourd'hui comme hier, je respecte l'individu doté d'une stature manifestement hors du commun. Mais respecter le roi ne voulait toutefois pas dire appartenir à sa cour, et à UA2, nous aimions particulièrement pouvoir de temps à autre proclamer que "le roi était nu". De telles occasions étaient très rares car le roi portait habituellement ses plus beaux habits; elles en étaient donc d'autant plus appréciées.

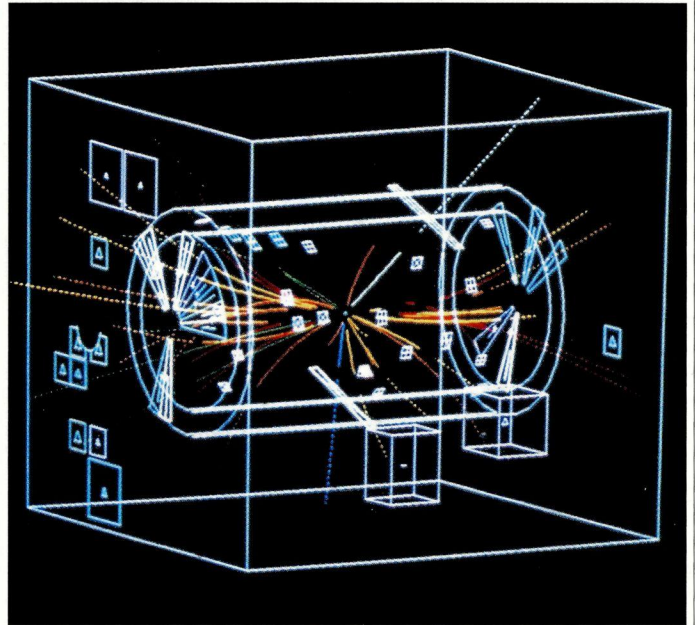
La conception du détecteur UA2 fut une réussite, et sa construction et son rodage ne posèrent aucune difficulté. Il faisait notre fierté, à juste titre. Pour seulement un tiers du coût de UA1 (pour être approuvé, le coût de UA2 devait être sensiblement inférieur), nous sommes parvenus à construire un détecteur qui fut prêt dans les délais, observa le Z et le W dès que la luminosité du collisionneur le permit (et en même temps que UA1), mesura les masses du W et du Z avec plus de précision que UA1 et s'avéra plus performant pour détecter et mesurer les jets de hadrons. La conception de UA2 fut plus aisée que celle de UA1 car il ne s'agissait pas de créer un détecteur polyvalent; on pouvait tout simplement se permettre d'ignorer certains aspects de la physique, en particulier en faisant l'impasse sur les muons. Si le principal atout de l'expérience UA1 était son détecteur central, celui de UA2 était sa calorimétrie.

L'une des difficultés du processus de conception a été d'évaluer la performance de la machine, combien de temps prendrait sa mise au point et quelles seraient les conditions d'expérimentation: bruits de fond et radiations. Le détecteur de Sam Ting (qui ne fut finalement pas approuvé) aurait pu fonctionner avec quasiment n'importe quelles conditions de bruit de fond, mais il ne pouvait observer que les muons; le détecteur central de UA1 nécessitait des conditions très propres; UA2 se situait à mi-chemin.

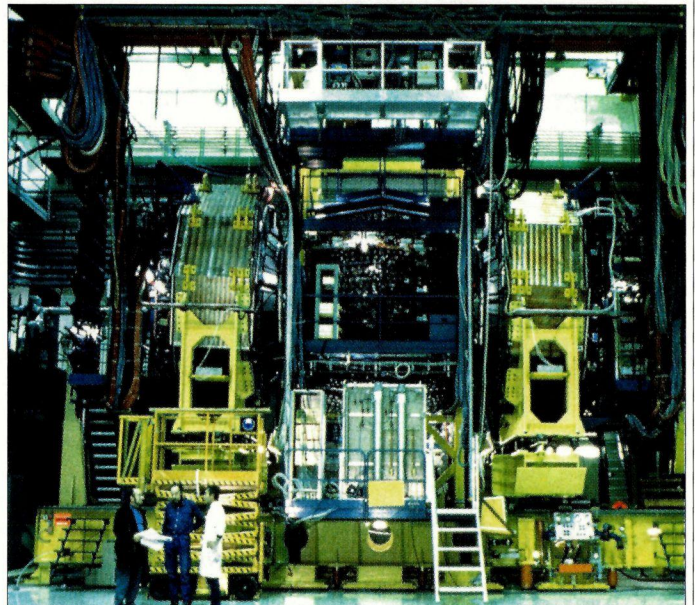
Au-delà de toute attente

Il s'avéra que le collisionneur était une machine extrêmement propre et que nous avions largement sous-estimé la rapidité de sa montée en luminosité. Nous avons notamment laissé un segment libre dans notre calorimètre, équipé d'un spectromètre magnétique, pour mener en douceur (pensions-nous) quelques mesures exploratoires alors que la machine était en période de réglage et de rodage. Le segment ne resta pas inoccupé très longtemps car voyant l'augmentation très rapide des performances de la machine, nous avons dû compléter la couverture calorimétrique pour faire face à la première exploitation à haute luminosité.

Je ne tiens pas à revenir ici sur les histoires maintes fois entendues sur les premiers séminaires et publications qui ont rendu compte de la découverte des bosons faibles par UA1 et UA2 (*Courrier CERN* mai 2003 p26), mais souhaite plutôt vous raconter comment nous avons vécu ces événements. Comme je l'ai déjà dit, nous espérions tous voir les bosons faibles; nous ne craignons pas la concurrence d'autres laboratoires et il n'était



Le trajectographe central haute résolution de grand volume, construit selon une conception originale et très performante, constituait le principal atout du détecteur UA1.



Le détecteur UA2 avait une portée plus limitée que le détecteur UA1: il pouvait détecter les électrons, mais pas les muons; il était axé sur la région centrale de rapidité et ne pouvait pas mesurer les charges des particules sauf dans certaines zones limitées où l'asymétrie de la désintégration du W était maximale. Mais ce qu'il pouvait faire, il le faisait mieux que UA1. Il fournissait les mesures les plus précises des masses du Z et du W et ses capacités de détection des jets étaient excellentes.

nullement question que UA2 "double" UA1 en lui soufflant le prix Nobel ou autre. Il ne faisait pour nous aucun doute que tout le mérite de cette réussite revenait à Carlo et bien sûr Simon. La véritable prouesse avait été non pas de détecter les bosons faibles, mais de les produire. Sans ces deux hommes, il n'y aurait pas eu de collisionneur proton-antiproton; mais sans UA1 et UA2, il y aurait eu d'autres expériences qui auraient sans aucun doute fait un aussi bon travail. Le succès de UA2 est dû en grande partie ▷



Powerful

For pure metals, alloys, ceramics or polymers for research or industry, see Goodfellow's website or CD-ROM catalogue.

POWERFUL & SIMPLE TO USE

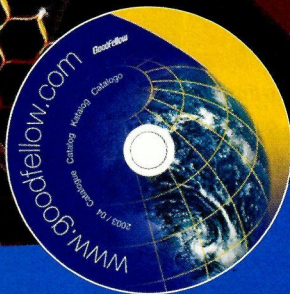
Finding the right product is easy; type in the item or material you're looking for and a list of results is presented to you.

EASY TO ORDER

On the web; simply click on your desired item and proceed to the check out (or carry on shopping), safe in the knowledge that all transactions are secure.

KEEP UP-TO-DATE – INSTANTLY

All our products, all their specifications are on-line – all at the touch of a button.



Call
now for
your **FREE**
CD-ROM!
Or visit us at
www.goodfellow.com

Goodfellow

Goodfellow Cambridge Limited
Ermine Business Park, Huntingdon, England PE29 6WR
Tel: +44 1480 424 800 Fax: +44 1480 424 900
Email: info@goodfellow.com

**PURE METALS, ALLOYS, CERAMICS AND POLYMERS
FOR SCIENCE AND INDUSTRY**

DECOUVERTE DU W ET DU Z

aux qualités des nombreux physiciens qui ont travaillé ensemble de manière très efficace, avec un excellent esprit d'équipe, et il est impossible de dire que le mérite en revient davantage à l'un ou l'autre membre du groupe.

La concurrence existait bien sûr; nous aimions être plus rapide ou plus ingénieux que UA1 chaque fois que c'était possible, comme lorsque nous avons été les premiers à rendre compte, lors de la conférence de Paris en 1982, de l'observation de jets de hadrons très nets – une avancée majeure dans l'histoire de la physique des interactions fortes. Mais ce n'était là que la garniture, pas le plat de résistance, qui lui constituait une affaire plus sérieuse: il fallait rendre compte de nos découvertes à la communauté des physiciens, écrire des articles qui resteraient pour toujours des documents importants de l'histoire de la science.

Rétrospectivement, je suis fier d'avoir résisté à la pression qui nous était faite pour que nous publiions plus rapidement que nous ne le souhaitions. Céder aurait été stupide et puéris et n'aurait pas témoigné d'un grand respect pour la science. En fait, cette pression nous a quasiment fait réagir de manière excessive ce qui, dans le cas du Z, a causé un retard de presque deux mois entre les publications de UA1 et de UA2 car nous avons préféré attendre une nouvelle et imminente période d'exploitation et recueillir plus de statistiques avant de publier. Au sein de UA2, personne pour ainsi dire ne pensait que nous aurions dû agir différemment – nous en étions tous convaincus. Les membres les plus expérimentés et avisés de la collaboration (c'est-à-dire la génération me précédant) ont en particulier adhéré totalement à cette ligne de conduite.

Il est aujourd'hui évident qu'il n'aurait servi à rien de faire toute une histoire d'un événement détecté en 1982, qui était très vraisemblablement un Z, mais dont l'un des électrons de désintégration n'avait pas pu être identifié car il avait frappé une bobine de nos spectromètres magnétiques à petit angle. Nous avons fait preuve de sagesse en attendant d'avoir plus de statistiques avant de publier les résultats sur le Z. L'enjeu n'était pas de parier sur la vérité, mais d'agir comme si nous étions la seule expérience.

Les scientifiques de ma génération ont beaucoup de chance d'avoir été les témoins de progrès aussi étonnants dans la compréhension de la nature, en phase avec leur propre vie de chercheurs. Il est remarquable que cela ait été le cas non seulement de la physique des particules, mais aussi, et peut-être même dans une plus large mesure, de l'astronomie et des sciences de la vie. Si bon nombre de questions restent sans réponse dans chacune de ces trois disciplines, aucune ne peut plus être pointée comme étant un mystère que la science ne peut percer. Notre vision du monde a changé radicalement. Avoir pu contribuer à cette avancée, aussi modeste qu'ait été cette contribution, est une chance exceptionnelle. Espérons qu'avec la nouvelle physique que le LHC s'appête à révéler, la science sera aussi généreuse avec la prochaine génération qu'elle l'a été avec nous.

Références

Outre les discours de prix Nobel de Rubbia et Van der Meer (voir www.nobel.se/physics/laureates/1984/), le lecteur intéressé peut consulter une liste de références pertinentes dans *History of CERN*, Volume III, chapitre 6 de John Krige (Elsevier, North Holland, Amsterdam, 1996).

● Cet article est basé sur une présentation donnée lors d'un symposium organisé au CERN en septembre 2003, intitulé "1973: neutral current, 1983: W^\pm and Z^0 bosons. The anniversary of CERN's discoveries and a look into the future". Le compte rendu complet sera publié dans le volume 34, numéro 1 du *European Physical Journal C*. Edition reliée ISBN 3540207503.

Pierre Darriulat.