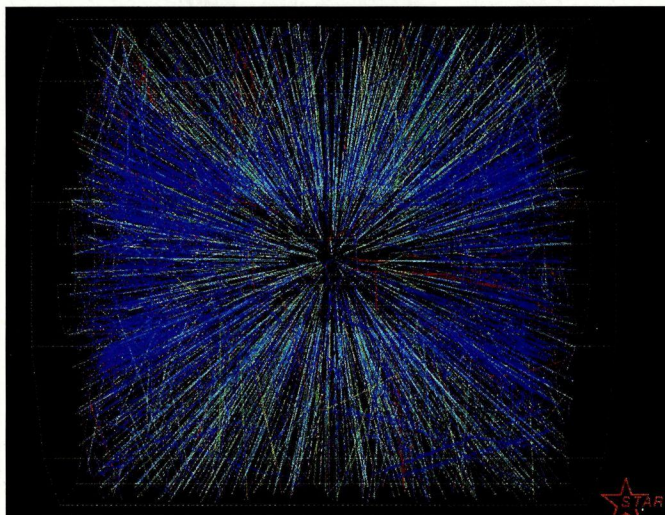
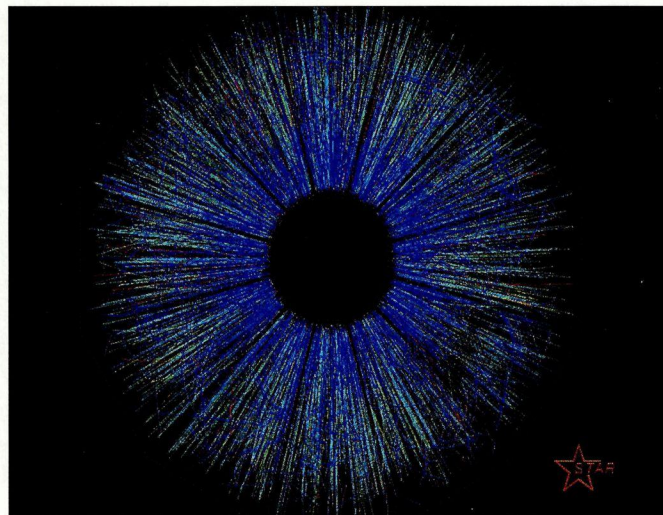


Premiers chocs de noyaux dans RHIC



De l'or pour une STAR: vue latérale d'une collision de deux faisceaux d'ions or de 30 GeV/nucléon dans le détecteur STAR installé auprès du Collisionneur d'ions lourds relativistes de Brookhaven.



Vue en bout, dans le détecteur STAR, de la même collision parallèlement à la direction des faisceaux en collision. Un millier de traces ont été enregistrées dans cet événement.

Le lundi 12 juin, une nouvelle machine de haute énergie a fait ses débuts sur la scène de la physique lorsque les opérateurs de la salle de contrôle principale du Collisionneur d'ions lourds relativistes (RHIC) de Brookhaven sont finalement venus à bout de l'entêtement de leurs faisceaux. En effet, plusieurs semaines auparavant le chef du Département collisionneurs-accélerateurs du Laboratoire, Derek Lowenstein, avait dit à propos des tentatives répétées pour faire circuler des faisceaux stables d'ions or dans les deux anneaux de 3,8 km du RHIC que c'était "comme si l'on voulait apprendre à conduire en participant aux 500 miles d'Indianapolis!"

Les faisceaux ont finalement circulé dans les deux anneaux du collisionneur selon une trajectoire de collision à l'énergie de 30 GeV par nucléon, et le détecteur STAR, qui les attendait, a saisi les premières images spectaculaires des particules se dispersant à partir d'un point de collision frontale en formant une gerbe impressionnante d'un millier de traces. Mais ce n'était qu'un avant-goût du spectacle encore plus grandiose à venir. Par la suite, des événements montrant que les collisions se produisaient ont été également décelés par le détecteur PHOBOS.

C'est un résultat merveilleux pour les milliers de physiciens, d'ingénieurs et de personnels d'appui qui travaillent depuis 1991 en vue de la mise en service de RHIC, et pour les physiciens du monde entier qui attendaient impatiemment les débuts de la machine.

"Ce sont les collisions subatomiques les plus

spectaculaires que l'homme ait jamais observées, et elles sont l'aboutissement de nombreuses années de travail intense" a déclaré Satoshi Ozaki, directeur associé du Laboratoire pour le programme RHIC. Ce fut un moment de fierté pour Ozaki, qui avait quitté le Japon pour revenir à Brookhaven afin de diriger la construction et la mise en service de cette machine particulièrement complexe.

Les températures et les densités élevées qui sont atteintes dans les collisions au RHIC devraient permettre aux quarks et au gluons de se déplacer un court instant dans un plasma, sorte de "soupe" représentant l'état de la matière qui aurait existé pour la dernière fois dans les quelques milliardièmes de seconde après le Big Bang. Les informations recueillies avec le RHIC viendront compléter ce que les expériences conduites au synchrotron SPS du CERN avec des faisceaux nucléaires de plus basse énergie ont permis d'apprendre au sujet du plasma quark-gluon.

La construction du RHIC avait commencé en 1991 et le programme a été achevé l'année dernière, lorsque l'ensemble des parties de la machine a été testé et mis en service pour la première fois en tant que système complet, mais sans exploitation pour la physique. Le prix total de la construction et la mise en service était de 600 millions de dollars.

Les noyaux destinés au RHIC sont produits dans l'accélérateur tandem Van de Graaff du Laboratoire et sont transférés ensuite dans le Booster, puis dans le vénérable Synchrotron à gradients alternés (AGS), entré en service en 1960. L'AGS injecte les faisceaux

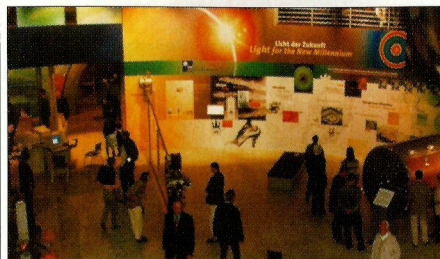
nucléaires dans le RHIC pour les expériences.

Pour le RHIC, des paquets de noyaux sont injectés dans chacun des deux anneaux. Ensuite, lorsque les deux anneaux sont remplis, les ions sont portés à l'énergie maximum. Lorsque des faisceaux stables circulent dans les anneaux, les noyaux subissent des collisions frontales qui atteindront à terme la fréquence de plusieurs dizaines de milliers par seconde. Les principaux éléments du RHIC ont été construits par l'industrie, parfois dans le cadre d'accords de coopération qui ont permis de transférer à l'industrie privée la technologie mise au point à Brookhaven.

Les deux anneaux installés dans le tunnel du RHIC comportent au total 1740 aimants supraconducteurs pour incurver la trajectoire des particules et assurer leur focalisation. Les aimants dipolaires et quadrupolaires ont été réalisés par Northrop-Grumman Corporation, à Long Island, et les aimants sextupolaires par Everson Electric, à Bethlehem, en Pennsylvanie. C'est Brookhaven qui a construit les aimants de correction et les autres aimants spéciaux.

Le tunnel du RHIC comporte six zones où les faisceaux se croisent et les collisions se produisent. Quatre zones contiennent déjà des détecteurs: deux grands équipements, STAR et PHENIX, et deux ensembles plus modestes, PHOBOS et BRAHMS. Au total, près de 1000 scientifiques de 90 instituts, représentant 19 pays, travaillent aux expériences RHIC. Pour plus d'informations et pour suivre les progrès du RHIC, voir à l'adresse "<http://www.rhic.bnl.gov/>".

'L'unité dans la diversité' – DESY fête ses 40 ans



Au cœur de l'exposition de DESY "Lumière pour le nouveau millénaire" où se sont déroulées les festivités marquant le quarantième anniversaire du laboratoire de Hambourg le 23 mai. (DESY.)

Le 18 décembre 1959, la signature d'un contrat d'État marquait la naissance de DESY. Toutefois, à l'instar de certains monarques, le laboratoire allemand de Hambourg a choisi de célébrer officiellement son anniversaire un autre jour. C'est donc le 23 mai dernier que 2400 personnes ont pris place sous un chapiteau tapissé de ballons pour fêter les quarante ans de DESY sur le thème de l'unité dans la diversité.

Albrecht Wagner, directeur-général de DESY, a fièrement souhaité la bienvenue à de nombreux invités de marque. Un accueil tout particulier a été réservé à Willibald Jentschke aujourd'hui âgé de 88 ans, l'un des fondateurs et le premier directeur-général du laboratoire de 1959 à 1970, ainsi qu'à Mme Becker-Wiik, veuve de Bjorn Wiik, directeur-général de DESY à partir de 1993 jusqu'à son décès tragique l'an dernier. Albrecht Wagner a salué en lui un "visionnaire de génie", et révélé que plus de 75 000 DEM ont été versés à la fondation de recherche créée à sa mémoire.

Les félicitations du Chancelier allemand, Gerhard Schroeder, ont été transmises par Edelgard Bulmahn, ministre fédérale de l'éducation et de la recherche, qui a loué la "diversité" de DESY, due à la

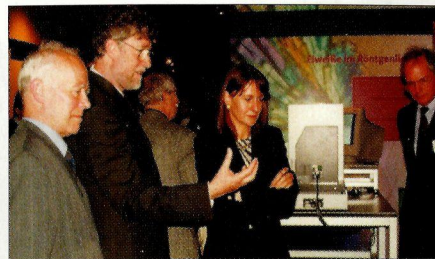
Le projet de recherche Bjorn Wiik

Le projet de recherche Bjorn Wiik du Laboratoire mondial, créé à la mémoire du regretté directeur de DESY, a pour but d'offrir des bourses d'études à des jeunes scientifiques de pays en développement, pour leur permettre de poursuivre à DESY leurs recherches et leur formation dans les domaines de la physique des particules ou des accélérateurs, de l'application du rayonnement synchrotron et de l'informatique à haute performance. Mikhail Yurkov, Russie, l'un des premiers bénéficiaires d'une bourse pour ses travaux innovants sur le laser à électrons libres, a été l'un des principaux jeunes orateurs lors de la cérémonie d'anniversaire de DESY.

symbiose de différents domaines de recherche. Mme Krista Sager, maire adjoint de Hambourg, lui a fait écho en soulignant l'avantage de conjuguer recherche fondamentale et recherche appliquée. Mme Sager a aussi évoqué l'influence de DESY sur la ville hanséatique, dont chaque habitant a entendu parler de DESY et est fier du laboratoire.

Un fort accent a été mis sur TESLA, un projet de collisionneur linéaire électron-positon de 33 km de longueur qui partirait de DESY pour s'enfoncer dans le Schleswig-Holstein, ce qui a fait dire, par plaisanterie, à Ute Erdsiek-Rave, ministre de l'éducation, de la science, de la recherche et de la culture de ce Land: "Pour une fois, Hambourg a besoin du Schleswig-Holstein!"

Edelgard Bulmahn a expliqué que TESLA ferait l'objet cette année en Allemagne d'une étude détaillée comparative avec d'autres projets parallèles aux États-Unis et au Japon. Estimant qu'il s'agit là du projet de l'avenir, elle a déclaré:



En avant-première, visite privée de l'exposition de DESY pour les VIP. De gauche à droite: Andrzej Wisniewsky, ministre polonais de la science, le directeur-général de DESY, Albrecht Wagner, Madame le ministre Edelgard Bulmahn et le directeur de la recherche de DESY sur le rayonnement synchrotron, Jochen Schneider. (DESY.)

"J'admire la clairvoyance et le courage dont Bjorn Wiik a fait preuve en élaborant ce projet."

Cinq jeunes physiciens, représentatifs de la diversité des nationalités à DESY ont donné un rapide aperçu des recherches qui y sont menées, en insistant sur le caractère unique du collisionneur électron-proton HERA et sur le projet de laser à électrons libres (FEL). Puis les invités ont eu le privilège de découvrir très brièvement, en avant première, l'exposition de DESY: "Une lumière pour le nouveau millénaire".

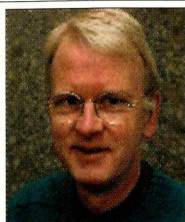
Le hall d'exposition deviendra ultérieurement une zone d'expérimentation du laser à électrons libres (p26). Albert Wagner, est cependant soucieux de trouver un site permanent pour l'exposition: peut-être un premier pas vers un nouveau Musée de la science à Hambourg. Alors que DESY s'apprête à négocier un nouveau tournant de son illustre carrière, Albrecht Wagner s'est réjoui d'ajouter un "nouveau et passionnant chapitre à l'histoire de DESY".

Alison Wright, CERN.

Création du centre de phénoménologie au Royaume-Uni

Après plusieurs mois de négociations, le PPARC (Particle Physics and Astronomy Research Council) au Royaume-Uni a annoncé la création d'un Institut pour la Phénoménologie de la Physique des Particules à l'Université de Durham, et dont James Stirling est le directeur-désigné.

L'objectif est d'établir une activité de recherche large et compétitive au niveau international dans



James Stirling, directeur désigné du nouvel institut britannique de phénoménologie de la physique des particules à Durham.

un domaine clé. La phénoménologie, c'est-à-dire l'analyse, la comparaison et l'interprétation de données, crée un lien entre la théorie et la pratique. Durham a déjà à son actif une très grande réputation internationale dans ce domaine (voir <http://durpdg.dur.ac.uk/HEPDATA>). Un tremplin

pour le nouvel institut qui projette de contribuer plus amplement au programme britannique à la fois théorique et pratique. La recherche effectuée à l'institut englobera les mesures d'accélération ou non, et l'accent mis sur la recherche devrait évoluer avec le programme d'expérimentation britannique de physique des particules. Les experts prendront part aux activités du nouvel institut où un grand programme de visite sera lancé, et où des ateliers ainsi que des cours d'été seront assurés, et ce, au profit de l'ensemble de la communauté de physique des particules britannique. L'ouverture de l'institut est prévue pour octobre.

Relever le défi des données d'ALICE

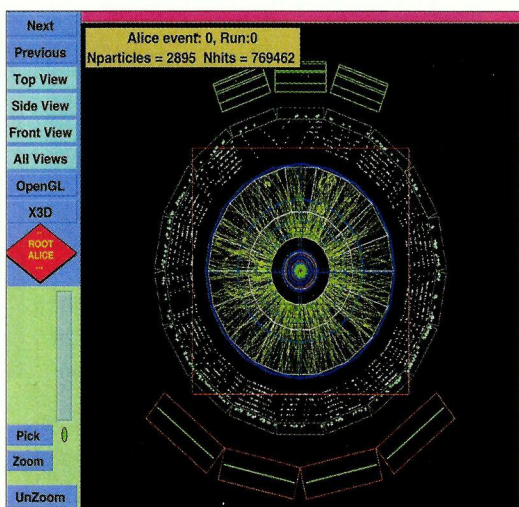
Imaginez l'enregistrement d'une symphonie en une seconde. C'est effectivement ce que devra faire la collaboration ALICE au CERN quand le grand collisionneur de hadrons du Laboratoire (LHC) démarrera en 2005. De plus elle devra soutenir ce rythme pendant un mois entier chaque année.

ALICE est le nom de l'expérience au LHC consacrée aux ions lourds. Elle ne sera exploitée qu'un mois par année, mais l'énormité du nombre des particules produites dans les collisions d'ions signifie que ALICE enregistrera autant de données durant ce mois que les collaborations ATLAS et CMS prévoient de saisir sur l'ensemble de la période annuelle du LHC. L'objectif est de stocker un pétaoctet (10^{15} octets) de données par an, en les enregistrant avec un débit supérieur à un Goctet/s. Tel est le défi des données d'ALICE, dominant de toute sa hauteur les applications actuelles en acquisition des données (DAQ). Dans le fleuron actuel des accélérateurs du CERN, le LEP, par exemple, les débits de données se comptent en fractions de Moctet/s. Même le système de la NASA d'observation de la Terre, qui observera la planète jour et nuit, mettra des années à produire un pétaoctet de données.

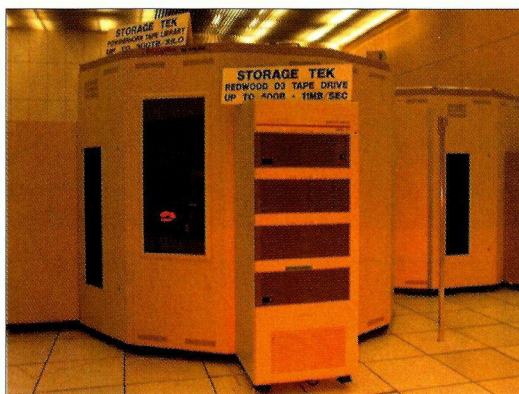
Relever ce défi est un projet à long terme et le travail a déjà commencé. Des membres de la collaboration ALICE travaillent avec du personnel de la Division Technologie de l'information du CERN pour mettre au point les systèmes d'acquisition et d'enregistrement des données de l'expérience. Pour compliquer les choses, l'expérience ALICE se trouvera à plusieurs kilomètres du centre de calcul du CERN où seront enregistrées les données. Cela augmente la complexité, de sorte qu'il est d'autant plus important de commencer dès maintenant.

Des éléments courants, comme l'épine dorsale du réseau du CERN et les ruches de PC tournant sous le système d'exploitation Linux, seront utilisés pour réduire le coût. Il faudra cependant les reconfigurer pour cette tâche afin de tirer le maximum de performance du système. Les données seront enregistrées à l'aide de robots pour bandes StorageTek installés dans le cadre du projet d'automatisation du Laboratoire lancé pour ouvrir la voie de la manipulation du nombre important de bandes qu'exigeront les expériences au LHC.

Le premier objectif du défi des données d'ALICE



ALICE au pays des gigaoctets. Cette simulation montre une fraction des trajectoires dans une collision d'ions plomb telles que les verra le détecteur ALICE au collisionneur LHC du CERN.



L'un des silos à bandes StorageTek du CERN utilisé dans le défi des données d'ALICE.

était d'exploiter le système complet avec un débit de transfert de données de 100 Moctet/s – 10% de la valeur finale. Cela était prévu pour mars et avril 2000 afin de pas gêner le programme d'expérimentation du CERN qui montera en puissance au cours de l'été.

Les sources de données utilisées pour l'essai ont été des événements simulés d'ALICE envoyés depuis divers endroits du CERN. Après traitement par le système d'acquisition d'ALICE (DATE) elles étaient formatées par le logiciel ROOT, mis au point par la communauté mondiale de la physique des hautes énergies. Les données étaient ensuite acheminées à travers le réseau du CERN jusqu'au centre de calcul où deux systèmes de stockage en masse ont été l'un et l'autre mis à l'épreuve pendant deux semaines. Le

premier, HPSS, est le fruit d'une collaboration entre l'industrie et plusieurs laboratoires des Etats-Unis. Le second, CASTOR, a été mis au point au CERN.

Bien que chaque élément du système ait été essayé individuellement pour prouver qu'il fonctionne avec des débits de données élevés, les essais de cette année ont démontré le vieux dicton que le tout est souvent plus grand que la somme des parties: les problèmes ne sont apparus que quand tous les éléments du système ont été intégrés.

Les tests sont initialement parvenus jusqu'à un débit de données de 60 Moctet/s et toute la chaîne fonctionnait comme sur des roulettes. Ensuite cependant des problèmes ont commencé à se manifester dans le système d'exploitation Linux employé dans la ruche de PC du système DAQ. Linux n'étant pas un produit commercial, la façon normale de corriger les bogues consiste à inscrire un message dans le bulletin de nouvelles Linux. Cependant personne n'avait jamais poussé Linux aussi loin, de sorte que les solutions ne venaient pas et l'équipe a dû travailler avec la communauté Linux pour en trouver une.

Passé ce cap, on a augmenté le débit et les pannes ont commencé à se produire dans l'un des nombreux commutateurs de données du réseau du CERN. On les a rapidement réparées grâce cette fois à un perfectionnement apporté au commutateur par le fournisseur – et le débit a encore été monté d'un cran. Finalement les systèmes de stockage ont eu du mal à absorber la totalité des données. Une fois tous ces problèmes résolus, le débit de pointe visé de 100 Moctet/s a été obtenu pendant de courtes périodes.

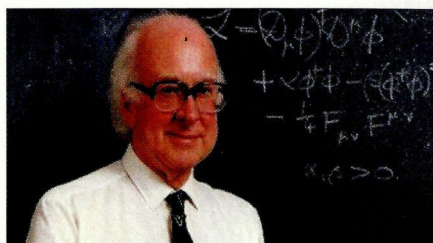
Fin avril, l'équipe du défi des données d'ALICE devait interrompre ses essais pour laisser les expériences et les essais en faisceau en cours accéder au réseau du CERN et aux robots StorageTek. Pendant les tests, plus de 20 Toctets de données – l'équivalent de quelque 2000 disques durs PC standard – ont été stockés. Le jalon suivant, prévu pour 2001, consiste à exploiter le système à 100 Moctet/s de façon soutenue avant d'augmenter le débit, pas à pas, jusqu'à l'objectif final de 1 Goctet/s d'ici à 2005. L'équipe du défi des données d'ALICE n'a peut-être pas encore écrit sa symphonie, mais l'ouverture est déjà terminée.

Hommage à Higgs à Edimbourg

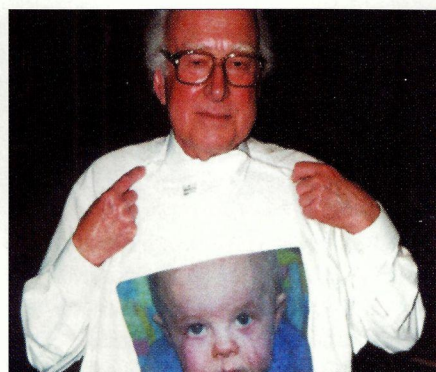
A l'occasion de la récente conférence "Particle Physics 2000" de l'Institut de physique britannique à Edimbourg, un symposium spécial a été organisé pour célébrer le 70e anniversaire de Peter Higgs, qui a donné son nom au mystérieux "champ de Higgs". Ce champ et ses particules sont responsables de la brisure spontanée de la symétrie des interactions électrofaibles qui a pour effet que, par exemple, les bosons W et Z porteurs de la force faible sont des particules lourdes, tandis que le photon électromagnétique n'a pas de masse. La découverte de la ou des particules de Higgs est aujourd'hui le principal objectif de la physique des particules.

Le symposium a commencé par un exposé de l'actuel prix Nobel Gerard 't Hooft sur les débuts des théories de jauge, dans lequel il a rappelé à l'auditoire que dans les années 60, ces théories étaient largement considérées comme n'ayant qu'un faible intérêt pour la physique des particules. Son directeur de thèse, Martinus Veltman, insista néanmoins pour que tous ses étudiants lisent une obscure communication rédigée dans les années 50 par Yang et Mills, ce qui contribua à la réapparition des théories de champ de jauge dans les années 70.

Dans les exposés suivants, Peter Zerwas (DESY) a traité de la phénoménologie de la particule de Higgs dans les collisionneurs actuels et futurs, et Pedro Teixeira-Dias (CERN) a décrit la recherche expérimentale du Higgs menée actuellement au LEP.



Lors d'un récent symposium à Edimbourg à l'occasion de son 70e anniversaire, un T-shirt avec une photo de son petit-fils – "la plus légère des particules de Higgs" – a été offert à Higgs.



L'après-midi s'est achevé par un exposé très vivant de l'ancien directeur-général du CERN Chris Llewellyn Smith sur sa longue association avec la recherche du boson de Higgs, commencée alors qu'il était rapporteur pour la partie théorique d'un atelier en 1980. Il a donné une brillante description de la physique associée à la conception du collisionneur LHC, qui comprenait une photo du bâtiment administratif du CERN apparemment "réimplanté" près de l'une des cavités souterraines des expériences LHC. Il avait utilisé cette photo pour montrer au Conseil du CERN la taille que devraient avoir les puits, lequel Conseil lui avait demandé pourquoi il souhaitait transférer le bâtiment administratif près du puits!

L'un des thèmes de la rencontre était l'omniprésence de la particule de Higgs. Lors d'une conférence publique donnée par Frank Close sur les origines de l'asymétrie, on a pu voir Peter Higgs briser la symétrie d'une boîte de Coca vide sur laquelle Close était en équilibre, amenant le potentiel de Close à s'effondrer dans un état asymétrique. Lors du banquet, Ken Peach, directeur de la physique des particules au Laboratoire Rutherford Appleton, a fait un exposé depuis la chaire de l'ancienne église Highland Kirk. Dans ce décor calviniste propice, il a évoqué sa vie d'étudiant gaspillée à Edimbourg, mais a semblé se rappeler avoir assisté à quelques cours magistraux de

ment administratif près du puits!

Lors du banquet, Ken Peach, directeur de la physique des particules au Laboratoire Rutherford Appleton, a fait un exposé depuis la chaire de l'ancienne église Highland Kirk. Dans ce décor calviniste propice, il a évoqué sa vie d'étudiant gaspillée à Edimbourg, mais a semblé se rappeler avoir assisté à quelques cours magistraux de

Lors du banquet, Ken Peach, directeur de la physique des particules au Laboratoire Rutherford Appleton, a fait un exposé depuis la chaire de l'ancienne église Highland Kirk. Dans ce décor calviniste propice, il a évoqué sa vie d'étudiant gaspillée à Edimbourg, mais a semblé se rappeler avoir assisté à quelques cours magistraux de



L'excellence industrielle pour la physique: le trophée de cristal décerné à Deggendorfer Werft und Eisenbau (DWE) GmbH par la Collaboration CMS au collisionneur LHC du CERN.

Des entreprises travaillant pour CMS récompensées par la Collaboration LHC

Le 5 juin, trois entreprises participant à la réalisation de l'aimant de la future expérience CMS du CERN ont été les premières à se voir remettre les nouvelles récompenses décernées par la Collaboration. Deux degrés ont été prévus: les grandes entreprises ayant fourni des services jugés exceptionnels par la Collaboration recevront le trophée de cristal de CMS et les autres seront en lice pour l'attribution du trophée d'or.

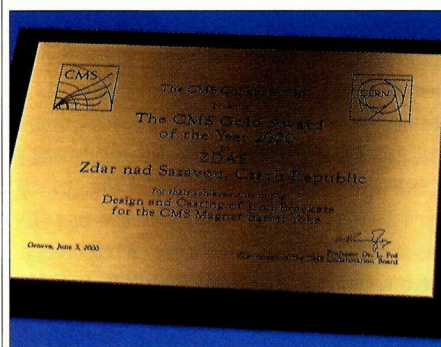
Ce système a été conçu par CMS afin de motiver les entreprises contractantes et de récompenser l'excellence. Un jury de cinq membres a été chargé d'examiner les nominations proposées par les chefs de projet de CMS et de faire des recommandations au Comité de la Collaboration. Strict

respect des conditions et des délais contractuels, bonnes relations de travail et prestations exceptionnelles en matière d'innovation, tels sont les critères pris en compte par le jury.

Les trois premières récompenses ont été remises lors d'une réunion de la Collaboration CMS au CERN. Qu'elles aient été toutes les trois attribuées à des entreprises travaillant sur l'aimant de l'expérience ne doit rien au hasard, cet élément de la future expérience étant le plus avancé. Le trophée de cristal de CMS a été décernée à Deggendorfer Werft und Eisenbau (DWE) GmbH, Allemagne, principal constructeur de la culasse de l'aimant du CMS. Juste avant la réunion du Comité, l'entreprise allemande avait livré la cinquième et

Peter Higgs sur la théorie des champs, ce qui peut expliquer sa carrière ultérieure. Il s'est souvenu d'un séminaire plus récent donné à Edimbourg par un membre de l'expérience L3, qui a décrit l'impossibilité de trouver le Higgs au LEP et auquel on fit remarquer à la fin de son intervention qu'un Higgs se trouvait justement dans l'assistance.

Pourtant, l'intervention la plus animée de la manifestation a été celle de Peter Higgs, qui arborait un T-shirt avec la photo de son petit-fils, ce qui indique qu'il existe un second boson de Higgs léger (preuve de la supersymétrie?). Higgs a été nommé membre honoraire de l'Institut de physique et a reçu une partie d'un aimant du LHC de la part de ses collègues, auxquels il a répondu avec sa modestie habituelle. Apparemment, la célèbre particule de Higgs était le résultat de seulement trois semaines de travail au milieu des années 60. Les deux premières semaines avaient été consacrées à la rédaction d'une communication et à son rejet par le rapporteur au motif que la théorie quantique des champs était obscure et de peu d'intérêt. Le rapporteur avait suggéré d'améliorer la communication en ajoutant quelques conséquences pratiques de la théorie. La troisième semaine avait été passée à fournir ces exemples, dont la particule de Higgs faisait partie. L'assistance, qui comptait une grande part d'étudiants diplômés, a été stupéfaite d'apprendre qu'un travail de seulement trois semaines peut suffire pour qu'une particule porte votre nom! Steve Playfer, Edimbourg.



Les sous-traitants de DWE, Izhora (Russie) et ZDAS (République tchèque) ont reçu le trophée d'or.

dernière roue de la partie tonneau de la culasse, selon les délais et le budget prévus.

Deux sous-traitants de DWE ont reçu un trophée d'or: Izhora de Saint Petersburg qui a fabriqué les 120 blocs de fer forgé constituant la culasse de l'aimant, et ZDAS (République tchèque) qui a produit les attaches destinées à solidariser ces blocs en roues dodécagonales.

Renforcement de l'accord entre le CERN et le Pakistan

Un additif au protocole d'accord entre le CERN et le Pakistan, prévoyant la participation accrue du Pakistan à l'expérience CMS auprès du collisionneur LHC du CERN, a été signé en mai à Islamabad.

Le Pakistan fournit six pieds géants de 25 tonnes destinés à soutenir l'aimant "tonneau" principal du détecteur CMS, ainsi que du matériel pour l'aimant lui-même. Selon le nouvel accord, le Centre national de physique de l'Université Quaid-i-Azam d'Islamabad fournira également 432

chambres à plaques résistives (RPC) pour le système de détection des muons à petit angle de CMS, dans le cadre d'une collaboration à laquelle participent aussi la Chine, l'Italie, la Corée et les Etats-Unis. En outre, les modules de l'électronique frontale pour la lecture des RPC seront aussi fabriqués au Pakistan.

Une importante délégation du CERN s'est rendue récemment au Pakistan pour la signature du nouvel accord.



Sur un bon pied. Le directeur-général du CERN Luciano Maiani à Taxila, au Pakistan, devant l'un des pieds de 25 tonnes qui supporteront l'aimant de l'expérience CMS auprès du collisionneur LHC du CERN. Ces éléments sont fournis par l'entreprise Scientific Engineering Systems de Taxila, au titre de la contribution du Pakistan à la collaboration CMS.



Islamabad, Pakistan – le directeur de la recherche du CERN Roger Cashmore (à gauche) et Samar Mubarakmand, membre (technique) de la Commission pakistanaise à l'énergie atomique (PAEC), signent un additif au protocole d'accord entre le CERN et le Pakistan qui renforce la participation de ce dernier à l'expérience CMS auprès du collisionneur LHC du CERN. Les accompagnent (de gauche à droite) le conseiller du CERN chargé des questions concernant les états non membres, John Ellis, Hafeez Hoorani du Centre national de physique, le président de la PAEC, Ishfaq Ahmad, le directeur du Centre national de physique, Riazuddin, le directeur-général du CERN, Luciano Maiani, le vice-chancelier de l'Université Quaid-i-Azam, Tariq Siddiqui, et le gestionnaire des ressources de la collaboration CMS, Diether Blechschmidt.

La physique tchèque en expansion



A la réunion du Comité européen sur les futurs accélérateurs (ECFA) à Prague – de gauche à droite le président de l'ECFA, Lorenzo Foà, Peter Homola, étudiant tchèque, et le représentant tchèque à l'ECFA, Vladislav Simak.



De gauche à droite: Jiri Niederle, président du Comité pour la collaboration CERN/République tchèque; le directeur-général du CERN, Luciano Maiani, et le ministre adjoint tchèque des affaires étrangères, Hynek Kmonicek.

En République tchèque, la physique des particules mûrit rapidement. C'est ce qu'a conclu récemment le Comité européen sur les futurs accélérateurs (ECFA), poursuivant sa tournée permanente des états membres du CERN, de l'examen des activités nationales du pays à l'occasion d'une réunion au foyer Masaryk de l'Université technique tchèque de Prague. (Le foyer porte le nom de Tomáš Masaryk, premier président de la République de Tchécoslovaquie, de 1918 à 1935.)

Lors de la réunion de l'ECFA, des questions de politique en République tchèque ont été présentées par M Potucek et Pavel Chraska, respectivement président adjoint et membre du Conseil national de la recherche et du développement. Cet organisme propose de nouvelles règles concernant le financement de la recherche et du développement par l'Organisation. Le maître mot de ces présentations a été "changements", déjà nombreux depuis la "révolution de velours" de 1989 et qui le seront encore plus à l'avenir.

Il s'agit principalement de rendre le système tchèque plus compatible avec celui des pays de l'Union européenne. Par exemple, la recherche scientifique a par tradition été menée presque exclusivement dans les instituts de l'Académie des sciences, tandis que les universités étaient conçues

"uniquement pour l'enseignement". Cet état de choses a changé. Le nombre d'employés de l'Académie a été considérablement réduit, d'environ 13 000 à 6500 personnes. Plusieurs instituts de l'Académie ont été fermés.

Après plusieurs années difficiles, l'optimisme est désormais d'actualité. Le soutien financier apporté par l'Etat à l'activité de R&D – 0,4% du PNB en 1999 – devrait être porté à 0,6% en 2000, et à 0,7% d'ici 2002. Un problème subsiste, celui de savoir comment attirer les jeunes, très recherchés en raison de la moyenne d'âge élevée qui caractérise ce secteur. Les salaires offerts à ces jeunes ne sont tout simplement pas assez attractifs.

La situation de la physique des hautes énergies en République tchèque a été passée en revue par J Niederle, président du Comité national pour la collaboration avec le CERN, ainsi que par J Hosek. La bonne nouvelle est l'augmentation sensible du

nombre de physiciens des hautes énergies dans le pays depuis la dernière visite de l'ECFA en 1994. Le nombre de théoriciens est passé de 37 à 51, et celui des expérimentateurs de 39 à 94. Cette progression est due en partie au changement d'orientation des scientifiques déjà dans le système. La moyenne d'âge des titulaires est élevée: 48 ans pour les théoriciens, 51 pour les expérimentateurs.

Jusqu'ici, l'expérience Delphi au LEP a été le centre d'activité des physiciens expérimentateurs tchèques. A l'avenir, l'expérience ATLAS au LHC prendra la relève. En outre, les physiciens tchèques participent à de nombreuses autres expériences au CERN (ALICE, CERES, DIRAC, ISOLDE, NA57), ainsi qu'à plusieurs projets de R&D. En dehors du CERN, les physiciens tchèques participent à l'expérience DO au Laboratoire Fermi, et à H1 à DESY. Depuis 1998, les Tchèques contribuent également au

projet Auger sur le rayonnement cosmique.

Aujourd'hui, à travers ce large champ d'activités – R&D, construction de détecteurs, analyse de données et théorie – les physiciens tchèques apportent une contribution importante à la physique des particules mondiale en général, et au programme du CERN en particulier. Ils ont décrit cette contribution lors de la réunion.

Université Charles de Prague

La plus ancienne université d'Europe centrale, l'Université Charles de Prague, a été fondée en 1348 par Charles IV, alors empereur germanique et roi de Bohême. Le physicien et philosophe autrichien Ernst Mach y enseigna pendant 28 ans (1867–1895), au cours desquels il proposa le "principe de Mach" qui influença profondément Albert Einstein pour la formulation de sa théorie de la gravitation. Mach fut aussi recteur de l'Université. Nommé professeur à cette même Université en 1911, Albert Einstein y prit conscience de l'importance du calcul tensoriel pour ses travaux sur la relativité générale. Otto Stern fut son étudiant à Prague. Lorsque Einstein quitta cette ville l'année suivante, il fut remplacé par Philipp Frank.

Surprenants antiprotons

Les expériences effectuées auprès de l'anneau d'antiprotons de basse énergie LEAR, fermé en 1996, ont recueilli de nombreux résultats de haute précision et parfois très surprenants sur les antiprotons. Quelques résultats apparaissent encore, dont le dernier montre que l'annihilation proton-noyau à très basse énergie semble indépendante de la taille du noyau-cible. On peut dire que l'annihilation de l'antiproton est une affaire bien mystérieuse.

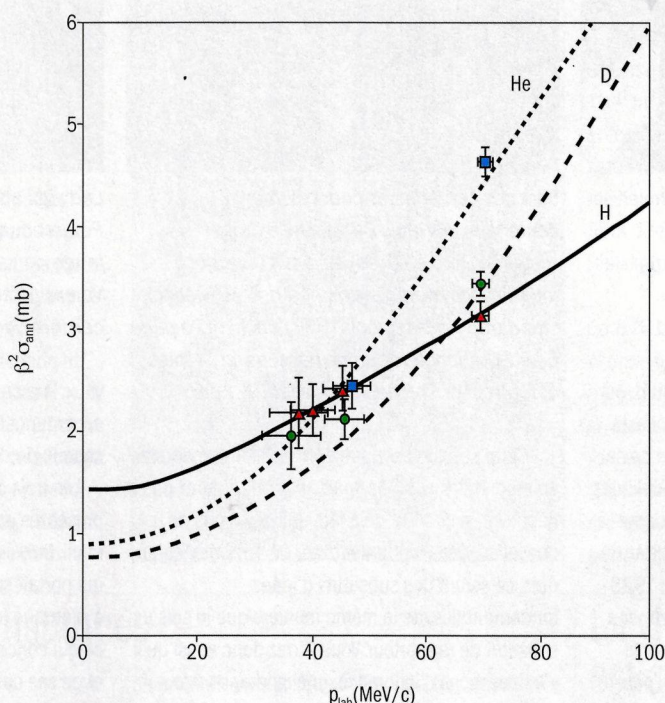
L'expérience OBELIX au LEAR a mesuré les annihilations antiproton-noyau à très basse impulsion de l'antiproton, jusqu'à 40 MeV/c. Cette impulsion peut sembler très supérieure aux valeurs typiques des systèmes particule-antiparticule liés par la force électromagnétique. Pour le système proton-antiproton celle-ci est de l'ordre de 4 MeV/c. Néanmoins, cette attraction semble jouer un rôle important et peut même affecter la section efficace d'annihilation.

En réalité, dans ce domaine d'énergie, la loi habituelle de Bethe en $1/v$ est remplacée par une loi en $1/v^2$, où v est la

vitesse relative des particules en interaction.

Le comportement en $1/v^2$ avait été prédit en 1948 par Wigner et il est bien connu en physique atomique. En physique nucléaire, au contraire, on rencontre habituellement une répulsion électromagnétique entre les protons, ce qui entraîne une chute exponentielle de la section efficace d'interaction à basse énergie, un phénomène particulièrement important en astrophysique nucléaire.

Le groupe OBELIX a pour la première fois étudié avec une très grande précision la variation de la section efficace dans un système soumis à l'attraction coulombienne. La figure présente, en fonction de l'impulsion de l'antiproton, les mesures des sections efficaces d'annihilation antiproton-proton, antiproton-deuton et antiproton-hélium.



Annihilation mystérieuse. Les annihilations proton-antiproton (triangles rouges), antiproton-deuton (points verts) et antiproton-hélium (carrés bleus) mesurées par l'expérience OBELIX à l'anneau d'antiprotons de basse énergie LEAR du CERN. Les valeurs sont pondérées par le carré de la vitesse relative des particules qui s'annihilent. Les courbes montrent le résultat de l'analyse phénoménologique des données. Cependant, la large disparité entre les courbes d'annihilation – avec celles de l'hélium et du deuton qui dépassent celle du proton aux impulsions élevées mais sont plus basses aux impulsions faibles – n'est pas complètement comprise en termes de l'annihilation simple nucléon-antinucleon.

Ces sections efficaces sont multipliées par le carré de la vitesse relative. Pour le système proton-antiproton, la situation est simple: on peut voir que le produit tend vers une constante lorsque l'impulsion de l'antiproton s'approche de zéro. Pour une variation en $1/v$, ce produit devrait tendre vers zéro. Dans le cas du deuton et de l'hélium, l'analyse est plus compliquée.

Le changement de régime est très instructif mais ce n'est pas réellement une surprise. L'observation la plus intéressante vient de la comparaison des valeurs de ces trois sections efficaces. A haute énergie elles sont très différentes – la section efficace d'annihilation antiproton-noyau est de plusieurs fois supérieure à celle sur proton. Mais de manière surprenante, à basse impulsion de l'antiproton, les sections efficaces d'annihilation

antiproton-hélium et antiproton-deuton chutent jusqu'à devenir égales ou même inférieures à la section efficace d'annihilation avec le proton.

Une analyse détaillée de ces annihilations montre qu'il ne s'agit pas d'un effet cinématique – c'est le résultat direct de la dynamique de l'interaction antiproton-noyau.

Ce résultat a été obtenu indépendamment dans une autre expérience au LEAR – PS207 – qui a mesuré pour la première fois le déplacement et l'élargissement du niveau fondamental de "l'atome" antiproton-deuton. Cette expérience très difficile a montré que la largeur de ce niveau, entièrement déterminée par le processus d'annihilation, est approximativement identique pour les atomes proton-antiproton et antiproton-deuton.

Une représentation géométrique de l'annihilation suggérerait que la probabilité du processus doit croître comme le nombre de partenaires possibles pour l'annihilation – le nombre de nucléons dans le noyau.

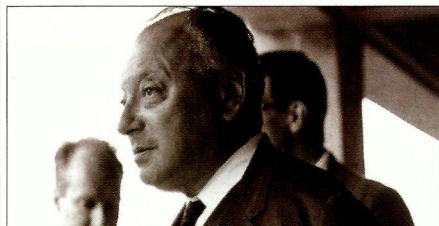
En fait ces expériences montrent clairement qu'il n'en est rien.

Pour comprendre ce mystère, il faudrait poursuivre ces expériences à plus basse énergie et avec des noyaux plus lourds, non seulement pour comprendre la dynamique de l'annihilation, mais aussi pour mesurer les sections efficaces.

Cette connaissance serait importante, en particulier pour les astrophysiciens qui recherchent l'antimatière primordiale dans l'univers et ont besoin de connaître les propriétés des interactions matière-antimatière à basse énergie. Le décélérateur d'antiprotons du CERN (AD), dont l'exploitation débute, sera à cet égard un instrument puissant pour obtenir cette précieuse information sur l'antimatière.

Konstantin Protasov, Institut des Sciences Nucléaires, Grenoble.

Le siècle d'une conscience



L'une des dernières grandes apparitions en public de Pauli avait eu pour cadre la 8e conférence internationale sur la physique des hautes énergies (conférences dites "de Rochester") accueillie par le CERN en 1958.

Wolfgang Pauli, la "conscience de la physique", est né à Vienne le 25 avril 1900. L'une des manifestations organisées pour célébrer le centenaire de sa naissance était une série de conférences publiques, appelée "Wolfgang Pauli et la physique moderne" à l'Ecole polytechnique fédérale suisse (EPF) de Zurich, où se déroula la carrière de Pauli de 1928 jusqu'à son décès en 1958, avec une interruption pendant la seconde guerre mondiale. Les conférences de Zurich étaient axées sur la vie et l'oeuvre de Pauli ainsi que sur son héritage scientifique, et plusieurs orateurs éminents y ont contribué. Une exposition Pauli est montrée actuellement à Zurich avant d'être transférée au CERN cette année.*

Pauli a découvert un grand nombre des nouvelles orientations qui ont marqué la physique moderne du vingtième siècle et il a jeté les bases d'une bonne part de ce qui allait venir par la suite, comme la mécanique quantique, le principe d'exclusion, le spin de l'électron, la théorie quantique des champs, l'hypothèse du neutrino ou les relations entre le spin et les statistiques.

La physique contemporaine est, bien sûr, le plus grand monument qu'il a édifié, mais son abondante correspondance avec les autres scientifiques de son temps constitue aussi un édifice mémorable. C'est au CERN qu'ont été recueillies ces archives Pauli, patiemment constituées et préservées, qui sont la source d'une correspondance scientifique en quatre volumes publiée par Springer.

L'une des dernières grandes apparitions publiques de Pauli avait eu pour cadre la huitième Conférence internationale sur la Physique des hautes énergies (conférences dites "de Rochester") accueillie par le CERN à Genève du 30 juin au 5 juillet 1958. C'était la première fois que cette réunion était organisée hors des Etats-Unis. Président de la session sur les idées fondamentales, Pauli avait commencé en ces termes:



Lors des conférences pour célébrer le centenaire de Pauli. De gauche à droite: Riccardo Barbieri (Pise) qui a fait un exposé intitulé "De l'hypothèse du neutrino au Modèle standard", André Rubbia (EPF Zurich) qui a parlé des "Expériences neutrino passées, présentes et futures" et Christoph Schmid (EPF Zurich).

"Cette session est appelée 'idées fondamentales' en théorie des champs, mais vous ne tarderez pas à découvrir, si ce n'est déjà fait, qu'il n'y a pas de nouvelles idées fondamentales. Ce que vous entendrez, ce seront des substituts d'idées fondamentales, de la même manière que je suis un substitut de rapporteur. Vous verrez donc aussi qu'il y a deux types d'ignorance: une ignorance rigoureuse et une ignorance plus maladroite. Vous entendrez aussi que de nombreux orateurs désirent obtenir une reconnaissance future pour leurs tra-

Pauli et la polémique

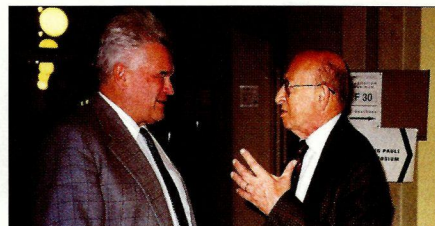
Pauli est devenu légendaire, non seulement pour sa physique, mais aussi pour ses vitupérations et ses invectives. En voici quelques exemples:

Lors d'un séminaire donné par un jeune chercheur: "Votre première équation est fausse et de plus votre deuxième équation ne découle pas de la première."

Au sujet d'un jeune physicien, Pauli répliqua un jour: "Comment, si jeune et déjà inconnu?"

Le Viennois Pauli demandait à un autre physicien: "Quand avez-vous quitté Vienne?" "En 1938" répondit celui-ci. "Je suis parti en 1918" répliqua Pauli "mon intuition a toujours été juste."

Les mélanges *Das Gewissen der Physik* (La conscience de la physique), publiés sous la direction de Charles Enz et Karl von Meyenn à la suite d'une conférence organisée en 1983 à Vienne pour commémorer le 25e anniversaire de la mort de Pauli, contient, parmi de très nombreuses contributions, une mémorable collection de telles anecdotes, rassemblées par Val Teledgi.



Ludwig Faddeev (à gauche) de Saint-Pétersbourg, qui a évoqué "Les théories de jauge non abéliennes", en compagnie de Valentin Teledgi qui avait commencé sa carrière de physicien expérimentateur à l'EPF.

vaux. Personnellement, je ne suis pas très disposé à accorder cette reconnaissance, mais il appartient à chacun de déterminer sa conduite à cet égard."

Les trois premiers exposés de la session étaient présentés par Hideki Yukawa, Werner Heisenberg et Pauli. Immédiatement après l'exposé de Heisenberg qui portait sur "La théorie non linéaire des spineurs à métrique indéfinie", Pauli déclara sévèrement: "En ce qui concerne les communications de Heisenberg et de ses collaborateurs sur le modèle des spineurs...je suis parvenu à la conclusion qu'elles sont mathématiquement inacceptables."

Heisenberg persista, mais Pauli rétorqua à nouveau: "Je désapprouve entièrement la réponse de Heisenberg: non seulement ce n'est pas naturel, mais c'est mathématiquement impossible."

Heisenberg réagit: "Bien sûr, je désapprouve moi aussi entièrement ce que Pauli vient de dire..."

Après que Murray Gell-Mann (il avait alors 28 ans) eut tenté de rétablir un certain calme entre ces vétérans de la physique quantique qui se querelaient, Heisenberg fit ce commentaire: "Je suis tout à fait d'accord avec ce que Gell-Mann vient de dire. Mais je propose aussi de suspendre la discussion pendant six mois et alors nous en saurons plus."

Pauli, toujours aussi implacable, conclut en ces termes: "Ce n'est pas la peine à mon avis. Dans six mois la réponse sera la même que celle que Gell-Mann vient de nous donner."

Six mois après, Pauli était mort, mais son nom est éternel.

*L'exposition sera visible au Bâtiment principal du CERN du 17 août au 26 septembre, et une cérémonie aura lieu dans la salle du Conseil à 16h30 11 septembre. Des exposés sur la vie et l'héritage de Pauli seront faits par Maurice Jacob (président du Comité Pauli), Konrad Osterwalder (recteur de l'EPF de Zurich), Luciano Maiani (directeur-général du CERN) et Charles Enz (université de Genève).