

Le projet LEP

De part et d'autre de la frontière franco-suisse près de Genève, l'anneau de 30 km de circonférence du LEP en surimpression sur une carte de la région du Laboratoire du CERN. Cet emplacement devrait être probablement celui qui sera finalement choisi si le projet est autorisé. L'anneau du LEP passe à proximité de l'actuel SPS, de sorte qu'il ne serait pas difficile de relier par la suite les deux anneaux si le programme de physique le demandait. Huit halls d'expériences (P1-P8) sont indiqués, dont trois (P3, 4, 5) seraient accessibles par des tunnels creusés dans le Jura.

A sa soixante-quatrième session, les 19 et 20 décembre, le Conseil du CERN a reçu de son Comité des Directives scientifiques (SPC) un document intitulé « Proposition pour le prochain projet majeur d'accélérateur pour le CERN ». A la suite des études effectuées au cours des dernières années, le SPC recommandait que l'« Etude technique d'une machine à collision de faisceaux électrons-positons de 22 à 130 GeV (LEP) » serve de base pour la planification du prochain accélérateur du CERN et que cet accélérateur soit construit sur un site jouxtant le Laboratoire actuel.

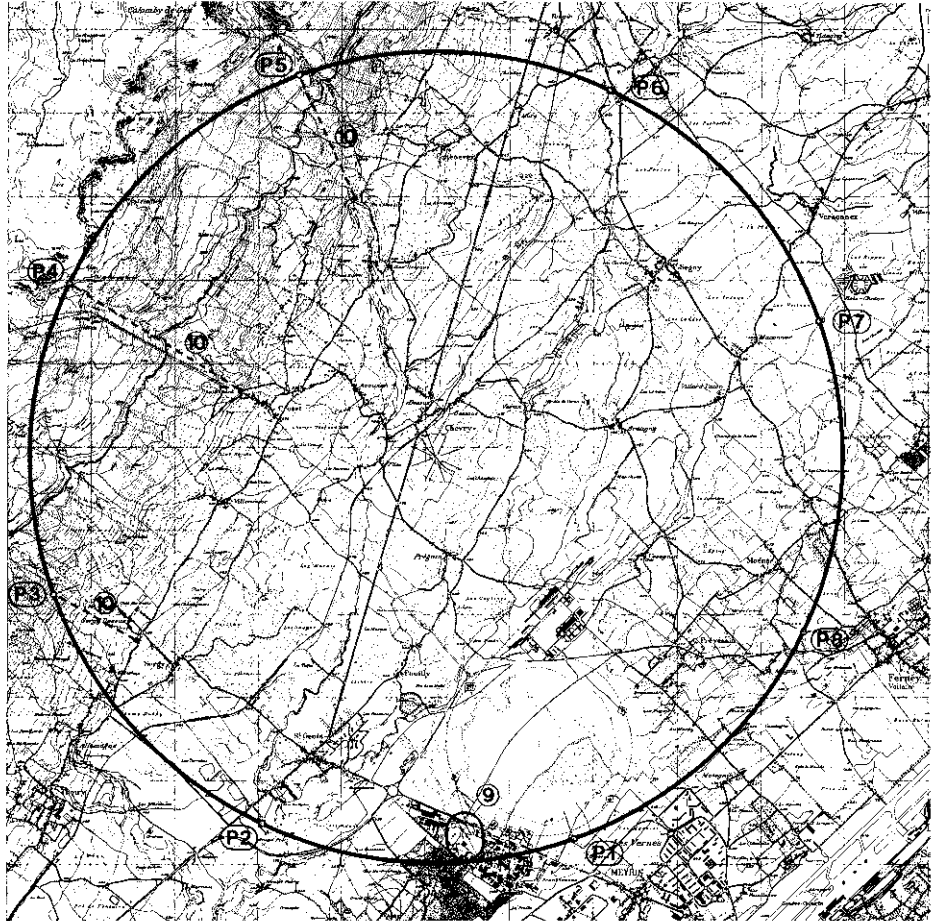
Ces recommandations ont été très favorablement accueillies par les délégués des Etats membres du CERN et il semble que tout soit prêt maintenant pour une présentation formelle du projet en juin prochain.

C'est dans ce climat optimiste que nous voudrions dresser à nouveau, sous une forme simplifiée, un tableau du contexte scientifique dans lequel a été formulée la proposition de réaliser le projet LEP et décrire certaines des caractéristiques de la machine telles qu'elles sont exposées dans l'étude technique mentionnée plus haut (le document CERN/ISR-LEP/79-33, appelé plus communément « Livre rose »).

Notre connaissance actuelle de la structure de la matière

Rarement l'impression de parvenir peu à peu à une connaissance claire de la structure de la matière et des forces qui régissent son comportement aura été aussi forte qu'aujourd'hui.

La liste de ce que nous pensons être les constituants fondamentaux de la matière s'est réduite à une poignée de leptons et de quarks. Notre univers quotidien est constitué essentiellement de quatre particules à peine: deux quarks (le quark « haut » et le quark « bas ») et deux leptons (l'électron et le neutrino de



type électron). Deux quarks hauts, de charge électrique $+2/3$, et un quark bas, de charge $-1/3$, forment ensemble un proton porteur d'une unité de charge positive. Deux quarks bas et un quark haut forment un neutron de charge électrique nulle. Les protons et les neutrons constituent ensemble les différents types de noyaux, au nombre de plusieurs centaines. Associés aux électrons, ces noyaux donnent les différents types d'atomes. Les neutrinos d'électron sont, quant à eux, nécessaires pour expliquer notamment pourquoi une partie de l'énergie est dissipée dans la désintégration radioactive. Avec cette poignée de particules, nous pouvons ainsi analyser la structure du monde qui nous entoure.

Pour être complet, il convient d'ajouter que chaque quark com-

porte trois variantes différenciées par une propriété qui a reçu le nom de « couleur » (par exemple, un quark haut rouge, un quark haut bleu et un quark haut jaune), quoique cette nomenclature n'ait rien à voir avec notre conception habituelle de la couleur. Nos particules ont également une contrepartie sous la forme d'une antiparticule: par exemple, le positon, qui est l'antiélectron, a une charge positive et non négative. Néanmoins, nous pouvons raisonnablement décrire notre univers quotidien comme étant constitué pour l'essentiel d'un quartet de particules.

Mais la Nature ne s'arrête pas là. Sous l'action d'énergies plus élevées, d'autres quartets de particules entrent en jeu. Ils sont en quelque sorte une réplique plus lourde du quartet de base. C'est ainsi que dans

Les constituants de la matière tels que nous les connaissons actuellement. Un quartet de particules (deux quarks et deux leptons) explique la formation de notre monde ordinaire. Deux quartets supplémentaires, qui sont comme des répliques plus lourdes du premier, interviennent à de plus hautes énergies, telles celles qui existent à une échelle galactique ou sont obtenues dans les accélérateurs de particules.

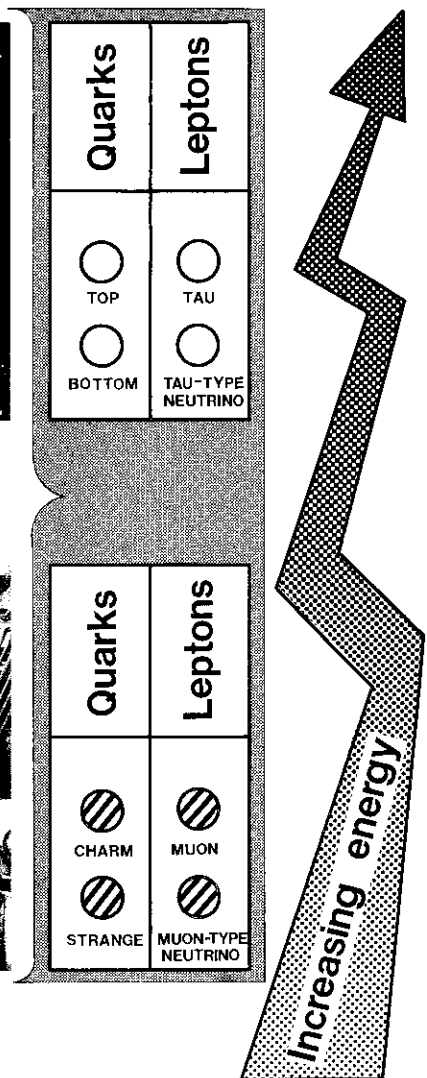
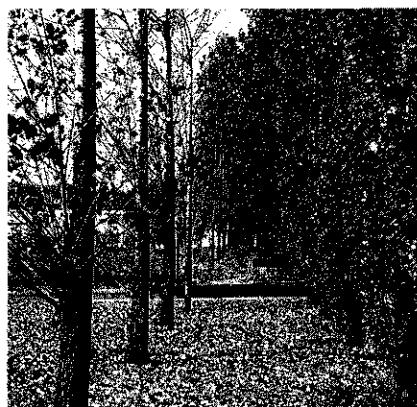
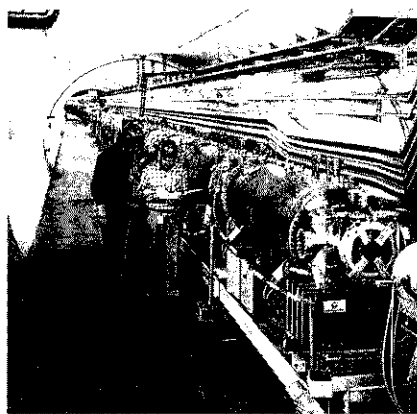
les accélérateurs et les anneaux de stockage nous avons découvert des particules qui concordent avec l'existence d'un second quartet plus lourd: deux quarks (étrange et charmé) et deux leptons (le muon et le neutrino de type muon). Aux énergies encore supérieures, on a recueilli récemment la preuve de l'existence d'un troisième quartet plus lourd: deux quarks (fond et sommet, le second n'ayant pas encore été observé) et deux leptons (le tau et le neutrino de type tau, le second restant, de même, encore à découvrir).

Le comportement des particules

Etant donné ces séries de particules, comment explique-t-on leur comportement? Jusqu'à une date très récente, on avait coutume de distinguer trois catégories de comportement des particules, en raison des grandes différences dans la force relative des différents effets en cause, comportements dont on disait qu'ils étaient contrôlés par la force électromagnétique, la force forte ou la force faible.

La découverte des mécanismes de la force électromagnétique, qui s'est traduite tout d'abord par l'unification des phénomènes électriques et magnétiques, puis par la formulation de la théorie de l'électrodynamique quantique, est l'un des plus éclatants succès de la physique. Il est possible de calculer avec une précision parfaite le comportement des particules influencées par cette force.

La théorie décrit comment la force agit sous la forme d'un échange de particules dépourvues de masse (les photons) entre les particules sensibles à cette force. Les photons peuvent se manifester sous forme d'ondes radio, de lumière visible, de chaleur, de rayonnements X... S'il est vrai que l'imitation est, comme on dit, la forme la plus sincère de la flatterie, alors la théorie de l'électrodynamique quantique est placée très haut. Les efforts en vue de compren-



dre les deux autres forces suivent le même schéma.

La théorie actuelle tente de décrire comment la force forte agit, en postulant l'existence d'autres particules échangées, auxquelles on a donné le nom de gluons parce qu'elles sont tellement soudées aux quarks qu'on n'a pas encore pu les observer à l'état isolé. Ces gluons transportent entre les quarks la propriété, appelée couleur, de la force forte.

La théorie, parce qu'elle a donné le nom de couleur à la propriété de la force forte, est appelée chromodynamique quantique. Elle est loin d'être complète, mais elle a plusieurs succès à son actif et, l'année dernière, des résultats expérimentaux obtenus avec l'anneau de stockage PETRA du Laboratoire DESY, où l'on a observé une preuve indirecte de l'existence des gluons, sont venus témoigner en sa faveur.

Pour la force faible, l'interprétation actuelle est à ce point identique à celle de la force électromagnétique qu'il ne convient plus de les évoquer séparément: elles sont maintenant associées dans la théorie dite «électrofaible».

Les effets faibles sont expliqués par l'existence d'autres particules échangées, appelées bosons intermédiaires. Dans les interactions à courant chargé, où la charge électrique des particules est modifiée, les vecteurs sont les particules appelées bosons W^+ et W^- ; dans les interactions à courant neutre, où les charges ne sont pas modifiées, le vecteur est appelé boson Z^0 . Ce fut la découverte au CERN en 1973 des interactions à courant neutre, prédites par la théorie, qui fut à l'origine du vif succès que connaît aujourd'hui la théorie électrofaible.

Le choix d'un anneau à électrons-positons

C'est dans ce contexte scientifique que la communauté des physiciens européens des particules élé-

mentaires a porté son choix sur un anneau de stockage à électrons-positons, de haute énergie, considéré comme étant la machine la mieux apte à favoriser de nouvelles découvertes majeures.

Ce choix du LEP a donné lieu en particulier à des discussions et des travaux placés sous les auspices du Comité européen sur les futurs Accélérateurs (ECFA) et à des études techniques conduites au CERN avec la contribution d'autres laboratoires dans les Etats membres.

Auparavant, des études avaient été entreprises sur les avantages qu'offriraient la construction d'un synchrotron à protons à cible fixe de plusieurs TeV ou d'un anneau de stockage proton-proton de haute énergie. Par ailleurs, le développement des techniques de refroidissement de faisceau a permis de produire des faisceaux intenses d'antiprotons. Ces travaux ont donné lieu à des projets de collisions de faisceaux de protons et d'antiprotons, à des énergies de plusieurs centaines de GeV, pour le SPS du CERN et le Laboratoire Fermi.

Les expériences avec ces machines à hadrons devraient révéler en particulier des informations décisives sur le comportement des quarks et des gluons. Dans certains autres domaines, toutefois, l'analyse des données pourrait être rendue plus complexe en raison de la structure en trois quarks des particules qui entrent en collision. S'attaquer aux nombreuses questions encore en suspens concernant la théorie électrofaible ne sera pas une tâche facile avec ces machines, en raison de la dominance inévitable de la force forte. On espère que l'installation à collisions proton-antiproton, lorsqu'elle sera entrée en service au SPS en 1981, pourra apporter la preuve de l'existence des vecteurs de la force faible, mais il est improbable que leur étude détaillée soit possible en raison de la complexité des collisions.

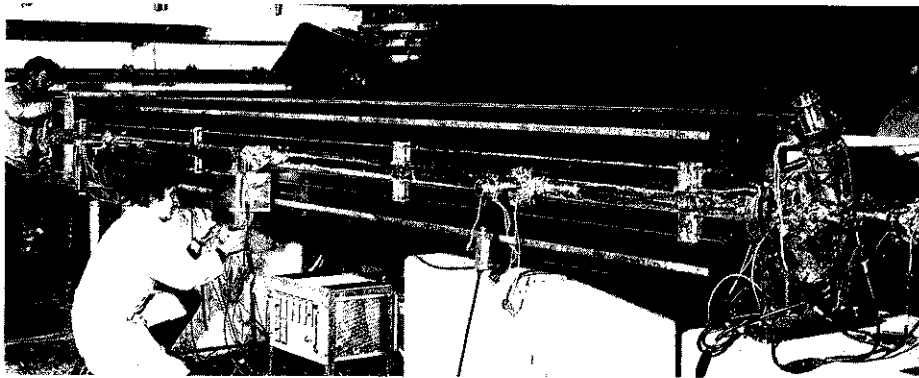
Un anneau de collisions électron-

positon de haute énergie offrira de meilleures conditions pour la production et l'étude des particules W et du Z^0 . Il pourrait également être le théâtre de la découverte de nouvelles particules (domaine dans lequel ses prédécesseurs — SPEAR au Centre de l'accélérateur linéaire de Stanford et DORIS à DESY — ont si bien réussi), en remplissant ainsi les places restées vides dans les quartets quark-lepton, en révélant s'il existe de nouveaux quartets, ou encore en découvrant un autre type de particule appelée boson de Higgs dont l'existence est requise par la théorie pour générer la masse des autres particules.

En outre, lorsque l'énergie de collision de l'anneau de stockage sera accrue jusqu'à 100 ou 150 GeV, on devrait observer que les effets faible et électromagnétique deviennent comparables (puisque la force faible devient «plus forte» lorsque l'énergie augmente). Des prédictions spécifiques ont été formulées sur ce qui devrait se produire à ces énergies, prédictions qu'il sera important de vérifier.

Le LEP devrait donner les moyens de s'attaquer à ces problèmes et d'étudier les nombreuses prédictions théoriques actuelles. Si ces dernières n'étaient pas confirmées, ce serait d'ailleurs un résultat encore plus spectaculaire. Chaque fois que nous avons eu accès à des domaines d'énergies plus élevés, nous avons rencontré de nouveaux phénomènes et nous devons rester ouverts à l'éventualité de nouvelles découvertes, susceptibles de modifier considérablement nos théories actuelles.

Indépendamment de ces motifs d'ordre scientifique en faveur du choix du LEP comme future machine de l'Europe, on peut dire que ce projet assure un développement équilibré des futures installations de recherche en physique des particules élémentaires dans l'ensemble du monde. Aux Etats-Unis, Brookhaven construit actuellement des anneaux de stockage proton-proton de 400 GeV (ISABELLE) et le Labora-



Un « aimant de béton » en vraie grandeur construit selon la technique mise au point au CERN et contenant du mortier dans les espaces entre les feuilles. Le procédé est valable parce que les champs de crête requis sont peu élevés. Cette technique a donné des aimants d'une qualité adéquate. Leurs propriétés mécaniques sont supérieures à celles des aimants de types classiques, tandis que le poids et le coût sont réduits d'environ 50 %.

(Photo CERN 3.1.80)

toire Fermi un synchrotron à protons de 1 TeV (doubleur d'énergie). En URSS, un synchrotron à protons de 3 TeV est en projet pour Serpoukhov. D'autres installations complémentaires pourraient également être construites à DESY en Europe, à Stanford aux Etats-Unis, à Tokyo au Japon et à Pékin en Chine.

Conception du LEP

La conception du LEP, qui a été modifiée à plusieurs reprises, a pris maintenant la forme d'un anneau de 30,6 km de circonférence avec huit longues sections droites: quatre avec un espace libre de 10 m pour l'installation d'expériences avec la luminosité maximum et quatre autres avec un espace libre de 20 m pour des expériences avec la moitié de la luminosité. L'anneau sera implanté dans un tunnel jouxtant l'actuel SPS, ce qui permettra de relier ultérieurement les deux machines, si cette opération apparaît justifiée du point de vue de la physique; plusieurs paramètres ont été déterminés de manière à conserver cette possibilité.

La technique de creusement du tunnel, que la construction du SPS a permis de très bien maîtriser, est de nature à réduire au minimum les perturbations apportées à l'environnement. Une quarantaine de sondages ont été effectués sur le site proposé pour le LEP en vue de déterminer l'épaisseur de la couche stable de molasse dont dépendra l'emplacement exact de l'anneau. La machine nécessitera des puits d'accès aux sections droites ou des tunnels dans les zones où l'anneau passe sous le Jura. En inclinant le plan de la machine, il sera possible de construire en fouille ouverte un ou plusieurs halls d'expériences.

L'injecteur sera construit sous les actuels anneaux de stockage à intersections (et on envisage d'employer les aimants et les chambres à vide des ISR). Il comprendra un linac à électrons de 200 MeV, une cible

pour convertir ces électrons en positons, un linac à positons et un anneau accumulateur de 600 MeV, suivis par un synchrotron de 22 GeV. Ce chiffre de 22 GeV sera l'énergie d'injection dans le LEP; la limite inférieure de l'énergie disponible pour les expériences sera donc du même ordre que les énergies maximales de PETRA à DESY ou de PEP à Stanford.

On prévoit un temps de remplissage total de 15 mn permettant d'obtenir environ 6×10^{12} particules par faisceau, l'opération étant répétée toutes les deux heures pour conserver à la luminosité une valeur acceptable. Quatre paquets de positons seront injectés et mis en orbite dans un sens et quatre paquets d'électrons dans le sens opposé, pour permettre des collisions au niveau des huit sections droites.

La luminosité nominale est de 10^{32} par cm^2 et par s à 86 GeV. Il est impossible de conserver cette luminosité dans la totalité du domaine d'énergie de la machine, mais elle sera maintenue à un niveau aussi élevé que possible (la luminosité diminuera au plus comme l'inverse du carré de l'énergie) au moyen d'une série d'aimants de wiggler.

La durée de vie du faisceau, compte tenu du rayonnement de freinage faisceau-gaz, sera de 20 h avec une pression nominale de 3×10^{-9} torr dans l'installation de vide de l'anneau principal. La chambre à vide sera construite en aluminium extrudé, selon les techniques mises au point pour la fabrication des machines de plus basse énergie. Il faudra tenir compte de densités de puissance de 1 à 2 kW par m à 86 GeV, en raison du rayonnement synchrotronique émis par les faisceaux et les chambres comporteront des parois refroidies par eau ainsi qu'un blindage en plomb de 8 mm à l'extérieur de l'entrefer des aimants et de 3 mm à l'intérieur pour éviter des émissions excessives de radiations à l'extérieur de la chambre. Une chambre d'essai de 7 mètres de longueur a été construite et

installée dans un aimant prototype.

C'est pour maintenir à un niveau acceptable le rayonnement synchrotronique émis par les faisceaux (et par conséquent l'énergie que le système radiofréquence doit fournir pour maintenir constante l'énergie des particules) que le rayon de LEP a une aussi grande dimension. La perte d'énergie sous forme de rayonnement synchrotronique augmente comme la quatrième puissance de l'énergie du faisceau, mais elle est inversement proportionnelle au rayon.

Malgré les grandes dimensions du LEP, il sera nécessaire de compenser une perte de puissance d'environ 25 MW lorsque la machine sera exploitée à 86 GeV. La consommation d'énergie sera donc une charge significative pour l'exploitation du LEP. On prévoit que la consommation totale du CERN (compte tenu de la fermeture d'autres machines et des nouvelles économies d'énergies réalisées actuellement) pourrait croître jusqu'à environ 800 GWh par an à la fin des années 1980, lorsque le LEP sera entré en service. A titre de comparaison, cette consommation était de 660 GWh en 1978 et représentait alors environ 0,06 pourcent de la consommation d'énergie électrique en Europe.

Environ 22 km du grand anneau seront occupés par des aimants de courbure. La machine comportera en outre près de 2000 aimants de focalisation et de correction (quadrupôles, sextupôles, etc.). Les aimants de courbure se distinguent essentiellement de ceux qui équipent les accélérateurs et les anneaux de stockage classiques par le fait qu'ils n'ont à produire que des champs très faibles (0,123 T, même à 130 GeV). Cette caractéristique a permis de mettre au point une technique nouvelle de fabrication des aimants qui s'est traduite par une réduction sensible des coûts.

Au lieu que les culasses des aimants soient réalisées en tôles d'acier étroitement assemblées, ces tôles, épaisses de 1,5 mm, sont

Une cavité à faibles pertes à l'échelle 1/2 que l'on a soumise à des essais préliminaires afin de pouvoir transférer de l'énergie des cavités de l'anneau du LEP lorsqu'elle n'est pas nécessaire pour l'accélération des paquets de particules. Cette idée particulièrement judicieuse permettrait de réduire la consommation d'énergie du LEP. Une cavité à faibles pertes devant fonctionner à pleine énergie est presque achevée.

(Photo CERN 338.4.79)

espacées de 5,5 mm et l'espace libre est rempli de mortier anticorrosion à faible retrait. Cela donne des aimants qui ont d'excellentes propriétés mécaniques et des propriétés magnétiques satisfaisantes pour un prix inférieur de moitié environ à celui des aimants classiques. Un modèle en grandeur réelle (5,68 m de long) a été essayé en novembre et toutes les valeurs fixées pour les différents paramètres ont été atteintes. Une autre décision génératrice d'économies a été de choisir pour l'alimentation électrique des barres d'aluminium refroidies par eau formant un double circuit autour de l'anneau, les aimants étant ainsi reliés en série.

Le système d'accélération par haute fréquence est un élément crucial de la machine, puisque c'est à ce niveau que les besoins en matière d'énergie ont des répercussions importantes. On se propose d'installer, dans un premier stade, des cavités en cuivre fonctionnant à la fréquence de 353 MHz. Pour atteindre 86 GeV, il faudra 768 cavités réparties de part et d'autre des longues sections droites sur une distance totale de 1629 m.

On procède actuellement à différentes mesures pour tenter d'optimiser le système HF. La première concerne les sources de courant HF. Des programmes de développement ont été lancés en collaboration avec l'industrie européenne pour améliorer l'efficacité des klystrons ou des tétrodes. On suit de près les progrès accomplis dans la mise au point de nouveaux dispositifs: le gyrocon et le tirotron (étudiés respectivement à Los Alamos et à Stanford).

En second lieu, on étudie actuellement une technique nouvelle, selon laquelle la puissance HF est transférée depuis les cavités de l'anneau, où une puissance HF considérable est dissipée sous forme de chaleur, dans des cavités de stockage à faible perte pendant les intervalles séparant le passage des paquets de particules. Des cavités de stockage sphériques en feuille de cuivre ont été



réalisées au CERN en demi-grandeur et des facteurs Q représentant 95% de la valeur théorique ont été mesurés. Un résonateur de stockage de 500 MHz pour des essais à haute puissance est en construction.

A plus long terme, la principale contribution à la solution du problème de la puissance HF viendra du développement de cavités supraconductrices. Avec des cavités en cuivre, il est difficile d'envisager d'accroître l'énergie maximum du LEP sensiblement au-delà de 90 GeV et la moindre consommation d'énergie électrique qui caractérise les cavités supraconductrices sera certainement nécessaire pour atteindre l'énergie nominale maximum de 130 GeV.

Ce problème est attaqué sur deux fronts. En premier lieu, une collaboration CERN - DESY - Karlsruhe a préparé deux cavités supraconductrices monocellulaires pour les faire fonctionner dans les conditions d'exploitation normales d'un anneau de stockage, en les installant sur la machine DORIS de DESY. Nous avons rendu compte, à la page 20, des résultats des essais à Karlsruhe.

En second lieu, plusieurs universités européennes (Gênes, Paris XI-Orsay, Wuppertal) collaborent avec le CERN pour le développement de cavités supraconductrices. Une cavité monocellulaire en niobium a fonctionné récemment à 500 MHz. On a obtenu des valeurs de Q de $2,1 \times 10^9$ pour de faibles gradients de champ, valeurs qui diminuent jus-

qu'à $1,7 \times 10^9$ avec un gradient de champ accélérateur de 3 MV/m. Un gradient maximum de 4,6 MV/m a été atteint, la limitation étant due à un claquage thermique au niveau d'une soudure. Dans une prochaine étape, on entreprendra de construire des cavités multicellulaires et l'on s'efforcera d'atteindre avec ces structures des chiffres semblables.

D'autres systèmes du LEP auront recours à l'expérience acquise et aux équipements mis au point au CERN dans le cadre des accélérateurs actuels. En particulier, le système de commande s'inspirera de la conception nouvelle mise au point avec tant de succès pendant la construction du SPS de 400 GeV (voir notamment le numéro de décembre 1973). Les besoins du système de refroidissement par eau et du système d'alimentation électrique pourront heureusement être assurés par les conduites et les lignes qui ont été amenées sur le site du CERN pour le SPS (respectivement depuis le lac Léman et la centrale électrique EDF de Génissiat).

Tous les halls d'expériences des sections droites sont conçus pour accueillir des systèmes de détection qui ne devraient pas, en général, être beaucoup plus importants que ceux qui sont installés actuellement sur PETRA ou PEP (compte tenu de l'évolution probable des techniques de détection). Cinq de ces halls disposeront d'un espace suffisant pour permettre des travaux sur un système de détection tandis qu'un second système restera en service

Une cavité HF supraconductrice à cellule unique récemment soumise à des essais avec succès au CERN. La réalisation de cavités supraconductrices est d'une importance capitale si l'on veut atteindre les énergies de crête nominales du LEP.

(Photo CERN 3.12.79)

sur l'anneau. Un équipement dit «push-pull» permettra d'échanger les deux détecteurs. Pour l'instant, il n'a pas été nécessaire d'étudier dans le détail des systèmes particuliers, mais on commencera à le faire en juin, lors d'une réunion à Uppsala (voir page 24).

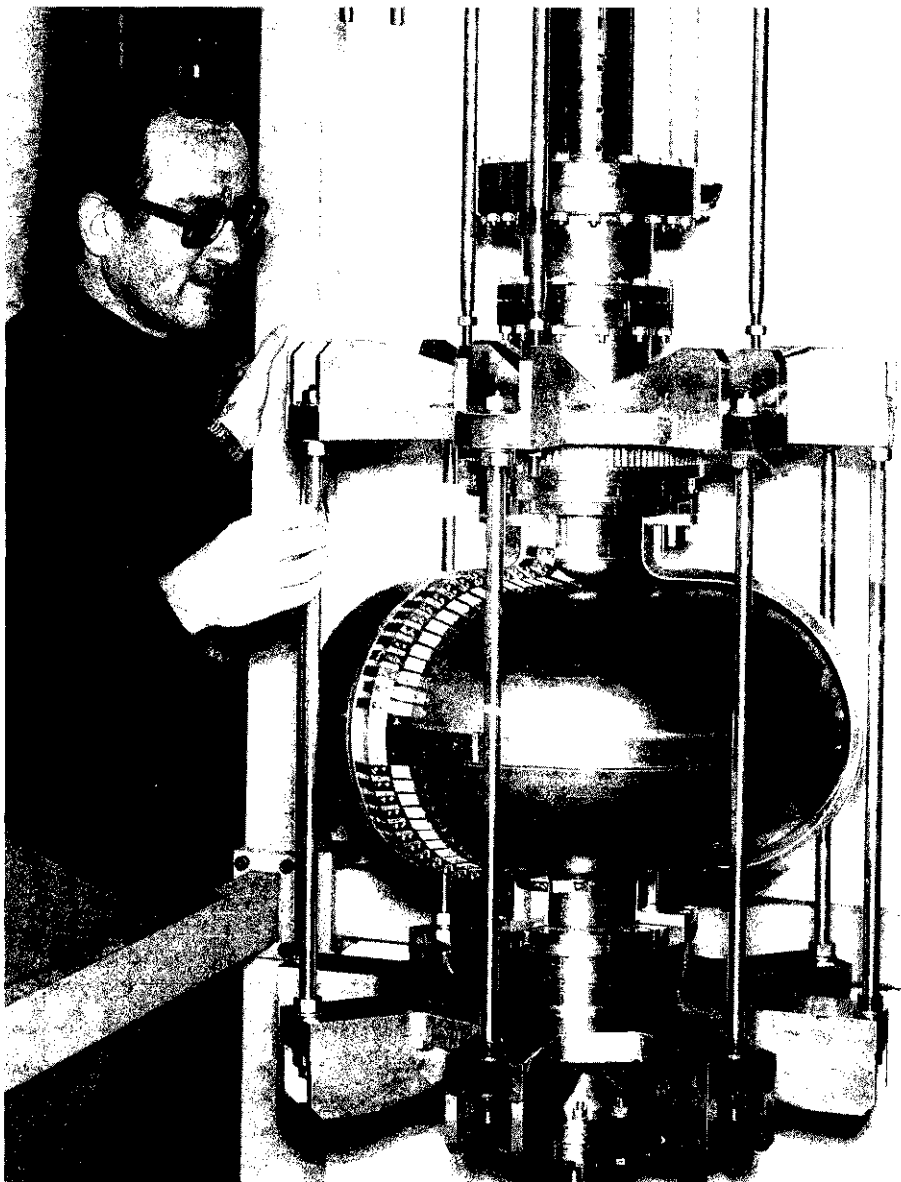
L'ECFA est à l'origine d'une étude des ressources financières et en main-d'œuvre dont dispose la communauté des physiciens européens des hautes énergies (voir l'article suivant), étude qui a pour objet de s'assurer que l'entrée en service du LEP ne modifiera pas les méthodes actuelles de collaboration dans les expériences entreprises au CERN par les centres de recherche européens. Il semble que, si l'aide est maintenue au niveau actuel, un excellent programme d'expériences pourra être mis sur pied avec le LEP.

Coûts et délais

L'étude technique du LEP exposée dans le «Livre rose» permet une estimation des coûts et du calendrier de la construction. La communauté des physiciens des hautes énergies souhaite vivement que la machine entre en service dès que possible, pour que le CERN conserve l'excellente position qu'il a acquise parmi les laboratoires mondiaux de physique des hautes énergies.

Vers le milieu des années 80, les possibilités de recherche offertes par les excellentes machines qui fonctionnent maintenant au CERN seront probablement surclassées par suite de l'entrée en service du doubleur d'énergie et d'ISABELLE. On espère que les premiers faisceaux du LEP pourront suivre de près.

La rapidité avec laquelle le LEP pourra entrer en exploitation dépendra essentiellement du rythme annuel des dépenses que pourront consentir les Etats membres du CERN. Il est proposé que le financement du projet LEP soit assuré dans les limites des budgets annuels du



CERN (600 millions de francs suisses aux prix de 1978) en arrêtant ou en réduisant les programmes de recherche avec certaines des machines actuelles du CERN et en restreignant les travaux de développement futurs concernant les machines. C'est ainsi qu'on envisage de fermer les anneaux de stockage à intersections, et peut-être le synchro-cyclotron de 600 MeV, et de restreindre le développement de la recherche avec le SPS.

La quasi-totalité des éléments du LEP devra être en place pour permettre à l'exploitation de commencer, mais deux éléments pourront être portés par étapes à leur plein développement. L'un est la quantité de puissance HF installée; l'autre est le nombre de systèmes de détection mis en place pour les expériences. De ce fait, le programme de physique sera probablement entrepris selon des étapes correspondant à l'installation progressive des cavités HF (ce qui permettra d'atteindre successivement des énergies maxi-

males toujours plus élevées) et à celle des expériences autour des régions de collision.

L'étape définie par l'installation de la totalité des cavités en cuivre est appelée étape 1. Elle correspond à une puissance HF disponible de 96 MW donnant une énergie maximum d'environ 90 GeV (suffisante pour la production de la particule W). On pourra cependant commencer l'exploitation au niveau d'une étape 1/6, avec une puissance HF de 16 MW donnant une énergie de 50 GeV (suffisante pour la production de la particule Z) ou à celui d'une étape 1/3, avec 32 MW de puissance HF et une énergie de 65 GeV.

Le calendrier élaboré dans l'étude technique permettra d'atteindre l'étape 1/3 en 1988 avec la mise en service de quatre zones d'expérimentation, si l'autorisation de construire le LEP est donnée en 1981. Le coût du projet à l'étape 1/3 est estimé à 1065 millions de francs suisses et un montant supplémentaire de 210 millions de francs suis-

ses sera nécessaire pour atteindre l'étape 1.

L'énergie maximum pourrait être portée à un niveau légèrement supérieur à 90 GeV par l'installation de cavités en cuivre supplémentaires, mais tout progrès significatif vers l'objectif de 130 GeV fixé pour l'étape 2 exigera l'installation de cavités supraconductrices. Tant que le programme de développement pour la

fabrication de ces cavités n'aura pas sensiblement progressé, on pourra difficilement se prononcer au sujet des coûts et du calendrier nécessaires en vue de l'étape 2.

Le projet LEP tel qu'il est décrit dans le « Livre rose » est fermement appuyé par la communauté des physiciens européens des hautes énergies. Une présentation formelle du projet aux délégués des douze

Etats membres du CERN est envisagée pour le mois de juin. On espère que l'autorisation de construire le LEP sera obtenue une année après, en juin 1981, et qu'elle aura reçu toutes les approbations gouvernementales requises à la fin de la présente année.

Si l'on y parvient, le LEP pourrait commencer à prendre forme au début de 1982.

La physique des hautes énergies en Europe

Un inventaire complet des activités et ressources en physique des hautes énergies dans les Etats membres du CERN a été dressé par un groupe de travail de l'ECFA (Comité européen sur les futurs accélérateurs), placé sous la présidence de John Mulvey. Il s'agissait de dresser un tableau de la situation actuelle en Europe et de voir si elle paraît bien adaptée à l'exploitation efficace des machines qui pourraient être construites sur le continent (notamment le LEP) et dans le reste du monde. Un rapport (ECFA/RC/79/47) a été présenté à l'ECFA.

La communauté des physiciens des hautes énergies dans les douze Etats membres du CERN compte environ 2000 expérimentateurs et 1000 théoriciens attachés à quelque 140 universités et instituts de recherche. Quatre-vingt-huit pour-cent des expérimentateurs sont disséminés dans les centres de recherche européens tandis que douze pour-cent sont employés dans les deux principaux laboratoires disposant d'accélérateurs: le CERN et DESY. Près d'un quart des physiciens sont des étudiants dont 190 environ obtiennent chaque année leur diplôme. La moitié de ces jeunes

chercheurs abandonnent ce domaine d'activités au cours des trois années suivant l'obtention de leur diplôme.

Une étude, réalisée il y a un an, faisait apparaître que cinquante à soixante pour-cent des expérimentateurs utilisaient le synchrotron à protons de 400 GeV du CERN (le SPS), tendance qui se prolongera avec l'utilisation prochaine de cette machine pour les collisions de faisceaux proton-antiproton. Environ 1350 personnes au total participaient au programme de recherche du CERN (sans compter le synchro-cyclotron). Près de 320 physiciens utilisaient les machines à électrons: positons dont 230 travaillaient à DESY avec PETRA. Quelque 90 physiciens menaient l'essentiel de leurs activités d'expérimentation dans les laboratoires des USA (principalement le Laboratoire Fermi et le SLAC) et 25 à Serpoukhov (dont la moitié avec la chambre à bulles Mirabelle). Pour compenser ce mouvement, quelque 70 physiciens américains et 90 physiciens soviétiques et d'Europe de l'Est travaillaient au CERN et 20 autres physiciens américains à DESY. A propos des chambres à bulles, on notera avec

intérêt que depuis la précédente étude, en 1966, le nombre des expérimentateurs utilisant uniquement les chambres à bulles ou les émulsions est tombé de 55 à 19%.

Les crédits servant à financer directement le programme expérimental (non compris les traitements, les frais généraux et le coût d'utilisation des ordinateurs centraux) étaient estimés à environ 146 millions de francs suisses en 1978. Environ la moitié de ce montant provenait des deux laboratoires hôtes, tandis que 13 millions de francs suisses sur le solde fourni par les universités étaient absorbés par les frais de déplacement et de subsistance. En 1978, les effectifs participant au programme d'expérimentation (ingénieurs, techniciens, programmeurs) étaient de l'ordre de 2650 années/homme, dont un tiers environ fourni par les deux laboratoires hôtes.

La taille des collaborations s'est accrue avec la complexité des expériences et un groupe d'une quarantaine de physiciens est maintenant normal, certains atteignant 70 à 80. L'effectif moyen d'une équipe fournie par un seul institut s'établit à 6,5.