

Le plus grand aimant supraconducteur en Europe

Un aimant supraconducteur, le plus grand et le plus puissant qui ait jamais été construit en Europe, a été essayé au CERN en janvier. Cet aimant fait partie d'un dispositif expérimental qui servira à l'une des études de prototypes qui doivent préparer la construction de la plus grande chambre à bulles européenne.

La grande chambre à bulles à hydrogène, qui selon les plans les plus récents aura un diamètre de 3,7 m et un «volume utile» de 22 m³, est financée conjointement par le CERN, la République fédérale d'Allemagne et la France. On prévoit qu'elle entrera en service au CERN en 1972, où elle sera installée à l'extrémité du nouveau grand hall d'expérimentation à proximité des anneaux de stockage à intersections (on trouvera une description complète du projet dans le COURRIER CERN vol. 7, page 143).

Il a fallu faire appel à de nombreuses techniques nouvelles pour augmenter les dimensions des plus grandes chambres à bulles actuelles (dont la chambre du CERN de 2 m est un exemple typique) et atteindre les proportions envisagées pour la chambre européenne. L'une de ces techniques consiste à utiliser un aimant supraconducteur pour obtenir un champ précis de 35 kG dans le volume utile de la chambre. Dans sa conception actuelle, l'aimant comprendra deux bobines cylindriques identiques qui entoureront la chambre et seront séparées par un intervalle de 50 cm, garni d'entretoises capables de résister à la force d'attraction d'environ 8500 tonnes qui sera à l'œuvre entre les bobines lorsqu'elles seront excitées. Aucun circuit fer principal de retour de flux ne sera nécessaire, mais la chambre tout entière sera logée dans un écrin d'acier à faible teneur en carbone, destiné à empêcher l'énorme champ de dispersion d'affecter les autres instruments. On estime que chaque bobine aura un diamètre interne de 4,7 m et un diamètre externe de 5,7 m, sur 1,6 m de hauteur. Chacune sera excitée par un courant de 8000 à 10000 A, à partir de sources d'une tension de 10 à 20 V. Pour obtenir les températures extrêmement basses auxquelles se manifeste la supraconductivité, chaque bobine sera plongée dans un bain d'hélium liquide.

On n'a jamais fabriqué d'aimant supraconducteur de pareilles dimensions, et il

faudra toute une série d'essais pour en fixer les détails et le dessin définitif. L'une des questions les plus importantes est le choix des matériaux et de la méthode de fabrication du ruban supraconducteur formant les enroulements.

Le dispositif expérimental a été baptisé «BRARACOURCIX» (de l'expression «à bras raccourcis», signifiant «de toutes ses forces», en hommage à ce chef-d'œuvre de la littérature française qu'est «Astérix le Gaulois»...). Il est le fruit des recherches du groupe de construction de la grande chambre à bulles européenne, travaillant en collaboration avec des entreprises industrielles et avec le laboratoire de cryogénie du Département de Physique II du CERN.

Deux bobines supraconductrices, de 40 cm de diamètre intérieur, 70 cm de diamètre extérieur et 33 cm de haut, sont immergées dans un cryostat rempli de près de 70 litres d'hélium liquide à — 269° C. L'une des bobines (fabriquée par la Compagnie Générale d'Electricité, France) est formée d'un conducteur composite, comprenant des fils d'un alliage de titane et de niobium (le supraconducteur) entouré d'une gaine stabilisatrice d'aluminium très pur. L'autre bobine (fabriquée par Siemens, Allemagne) utilise également un alliage de niobium-titane, mais stabilisé dans du cuivre de haute qualité. Ces bobines utilisent en tout sept kilomètres de ruban supraconducteur.

Les bobines sont excitées par un courant de 1000 A, donnant un champ magnétique de plus de 60 kG au centre du dispositif. C'est dans ce champ qu'on placera des échantillons de différents types de conducteurs composites pour en étudier les propriétés. Il faut en particulier que le conducteur soit apte à jouer son rôle aux températures de l'hélium liquide, tout en portant un courant de 8000 à 10000 A dans un champ de 51 kG, sans production de chaleur.

On a procédé à quelques expériences préliminaires, en vue de protéger le dispositif expérimental contre les défaillances des bobines supraconductrices. Le danger couru sera facile à comprendre lorsqu'on saura qu'une énergie de 2MJ se trouve emmagasinée dans les bobines quand elles sont excitées au maximum. En cas de dérangement, un dispositif de sécurité permet de transférer cette énergie à deux résistances extérieures. Au cours des essais du dispositif de sécurité, le transfert au niveau d'énergie de 1,2 MJ s'est déroulé sans incident mais au niveau de 1,7 MJ, des courants de Foucault trop

BRARACOURCIX — dispositif expérimental comprenant le plus grand aimant supraconducteur en Europe, destiné à l'étude de divers supraconducteurs en vue de choisir le meilleur pour l'énorme aimant qui équipera la grande chambre à bulles européenne.

importants ont chauffé et déformé un écran de radiation et endommagé le cryostat.

Les essais reprendront prochainement, et l'on espère soumettre divers rubans supraconducteurs à un examen suffisamment approfondi pour pouvoir, avant la fin de l'année, commander le conducteur de l'aimant de la grande chambre à bulles européenne.

Lentille quadripolaire supraconductrice pour le CERN

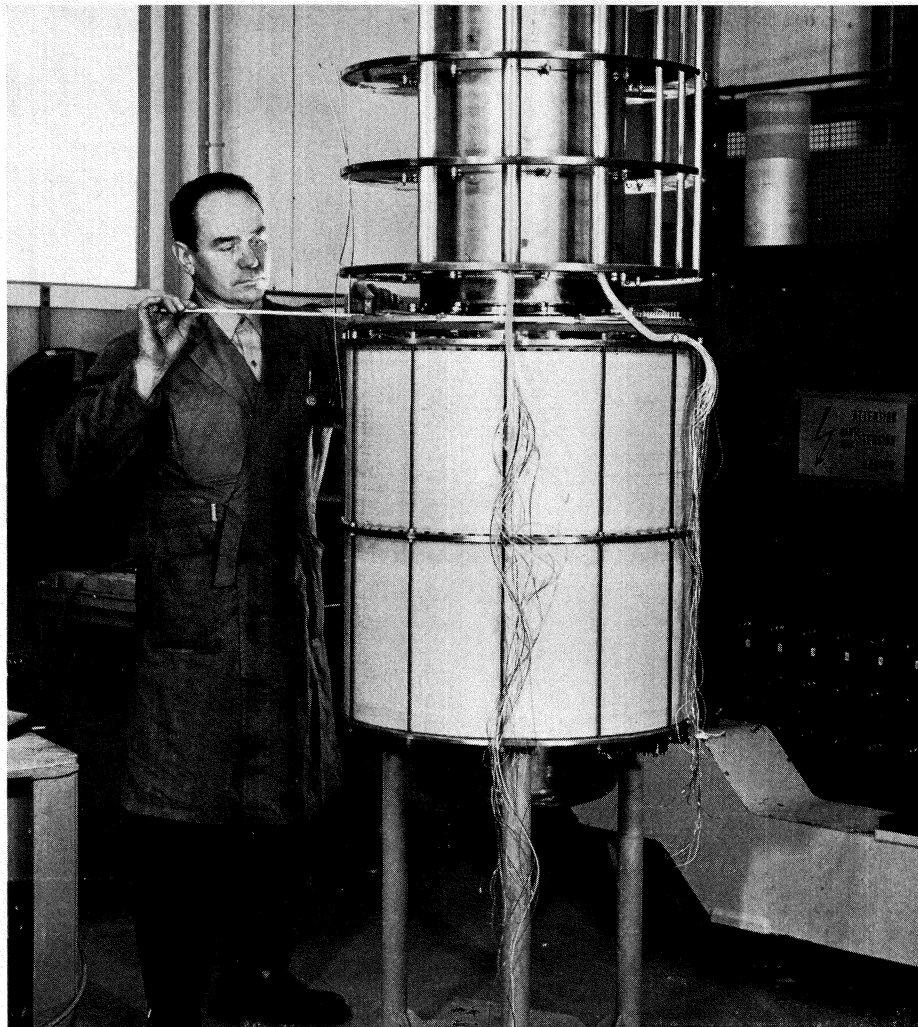
Le Ministère de la Technologie du Royaume-Uni a passé une commande de £ 25 000 auprès de l'Oxford Instrument Company, pour la fabrication d'une lentille quadripolaire supraconductrice qui fera l'objet d'un prêt à long terme au CERN. Le but poursuivi par le Ministère est de permettre à l'industrie de se familiariser, à l'occasion d'un projet particulier, avec les techniques de la supraconductivité dont on prévoit que les applications ne cesseront de s'étendre, sans se limiter naturellement aux laboratoires équipés d'accélérateurs.

Cette lentille quadripolaire sera la plus puissante jamais fabriquée en Europe et elle donnera un champ magnétique dont le gradient sera d'au moins 5,5 kG/cm dans une ouverture cylindrique de 70 cm de long et 10 cm de diamètre. Le champ magnétique au contact de la bobine supraconductrice sera d'environ 50 kG.

Outre l'Oxford Instrument Company, le projet fait appel au Culham Laboratory au Royaume-Uni (qui possède une solide équipe d'experts des techniques de la supraconductivité) ainsi qu'à un groupe du CERN dirigé par A. Asner. Le CERN a établi la spécification relative à l'aimant, a dessiné et fabriqué un modèle d'enroulement pour la bobine et a fourni l'acier inoxydable des pièces polaires, l'appareillage pour l'enroulement des bobines et le cryostat.

Pour les quatre enroulements, on utilisera environ quatre kilomètres d'un supraconducteur mixte, qui sera fourni par Imperial Metal Industries. Ce conducteur comprendra seize fils de niobium-titane enrobés dans un ruban de cuivre. A titre d'essai préliminaire avant la construction de la lentille, le conducteur a été enroulé en solénoïde et a donné de bons résultats à Oxford, avec une densité générale de 120 A/mm² dans un champ maximum de 54 kG.

L'Oxford Instrument Company est chargée de la fabrication et des essais de l'aimant.



CERN/PI 3.12.67

On espère que le premier enroulement pourra être prêt pour les essais vers la fin de mars.

Nouvelles applications de la supraconductivité

Pour terminer ce chapelet de nouvelles sur le développement de la supraconductivité au CERN, mentionnons trois autres applications possibles que l'on envisage actuellement pour les aimants supraconducteurs:

- a) Un aimant pour le projet Oméga. Le projet Oméga fait partie de la seconde phase du programme des améliorations du synchrotron à protons, et prévoit un nouvel appareillage important destiné aux expériences d'électronique. Le groupe chargé d'étudier le projet se concentre sur l'utilisation de chambres à étincelles dans un champ magnétique et dessine actuellement les plans d'un aimant supraconducteur.
- b) Un aimant destiné à une nouvelle version encore plus précise de l'expérience avec l'anneau de stockage de muons. Cette expérience, en cours d'achèvement au synchrotron à protons, se propose de mesurer la force g-2 du muon avec une très grande précision. Les projets en vue d'une nouvelle expérience en sont encore à leurs débuts, mais l'utilisation d'un aimant supraconducteur offre la possibilité de créer un champ magnétique

stable qu'on pourra reproduire presque au millionième près. Ce degré de précision n'a jamais encore été demandé à un aimant supraconducteur.

- c) Un aimant pour la nouvelle cible de protons polarisés. Dans ce type particulier de cible, on se sert de l'aimant pour aligner les spins des protons, ce qui permet d'obtenir des renseignements supplémentaires lors des collisions de particules. On envisage sérieusement la possibilité d'utiliser à cette fin les champs extrêmement puissants que donnent les aimants supraconducteurs.

Toujours plus vite

Le numéro de janvier mentionnait brièvement (page 7) les problèmes liés à l'excitation des aimants de déflexion rapide du booster, qui injectera les protons dans le PS à une énergie beaucoup plus élevée. Sans les progrès considérables réalisés au cours des dernières années dans la technique des aimants d'éjection, tout le projet du booster eût été impossible, du moins sous sa forme actuelle.

De toute façon, les exigences relatives à la rapidité d'excitation de ces aimants restent sévères. Ils doivent atteindre le champ magnétique maximum en 50 ns seulement (50 milliardièmes de seconde). A cet effet, le courant alimentant les bobines d'excitation doit passer de zéro à 4000 A en moins de 15 ns, l'établissement du champ lui-même réclamant 35 ns.

Pour enclencher ce courant d'excitation, on utilisera non plus des éclateurs, mais des thyratrons au deutérium à haute tension, qui présentent beaucoup moins de fluctuations et ont un fonctionnement plus sûr. Toutefois, les thyratrons s'enclenchent très lentement (environ 50 ns) en comparaison des éclateurs asservis et il importe de trouver un moyen de les faire agir plus rapidement sur les bobines magnétiques. De manière ingénieuse, A. Bruckner a proposé d'utiliser entre les thyratrons et les bobines un réseau passif non linéaire de mise en forme de l'impulsion et ce procédé a été expérimenté récemment avec succès.

Le système envisagé permet d'obtenir, grâce à des noyaux de ferrite, une inductivité saturable le long de la ligne de retard. Dans la mesure où les noyaux sont saturés, leur impédance diminue fortement et le courant augmente brusquement. On a déjà atteint des temps de montée à la sortie de la ligne qui sont assez courts, soit 10 ns à 30 kV, pour 1000 à 1500 A. En montant en parallèle plusieurs lignes de retard, il devrait être possible de satisfaire aux exigences des aimants de déflexion du booster.

Photographie étonnante prise dans la salle de contrôle du synchrotron à protons. Elle illustre le comportement du faisceau au cours de ses premiers quarante tours dans l'accélérateur, par enregistrement des signaux perçus par un oscilloscope dans un des «poste de détection» situés dans l'enceinte de l'anneau du synchrotron. Les protons en orbite dans l'anneau passent entre les électrodes du poste, où ils provoquent une décharge. Il est possible de régler le signal envoyé par les électrodes de manière à donner des renseignements sur l'intensité du faisceau de protons ou sur sa position dans l'enceinte à vide.

Dans le cas présent, il s'agit de signaux proportionnels aux intensités. On remarque environ quarante traces (dans le sens vertical), chacune correspondant à un tour du faisceau autour de l'anneau. En se reportant d'abord à la trace du bas, on voit l'intensité du faisceau lors de son premier tour après l'injection. On notera que cette intensité est presque constante, étant donné que le faisceau est distribué uniformément lors du remplissage de l'anneau. Si maintenant on observe la septième trace, par exemple, à partir du

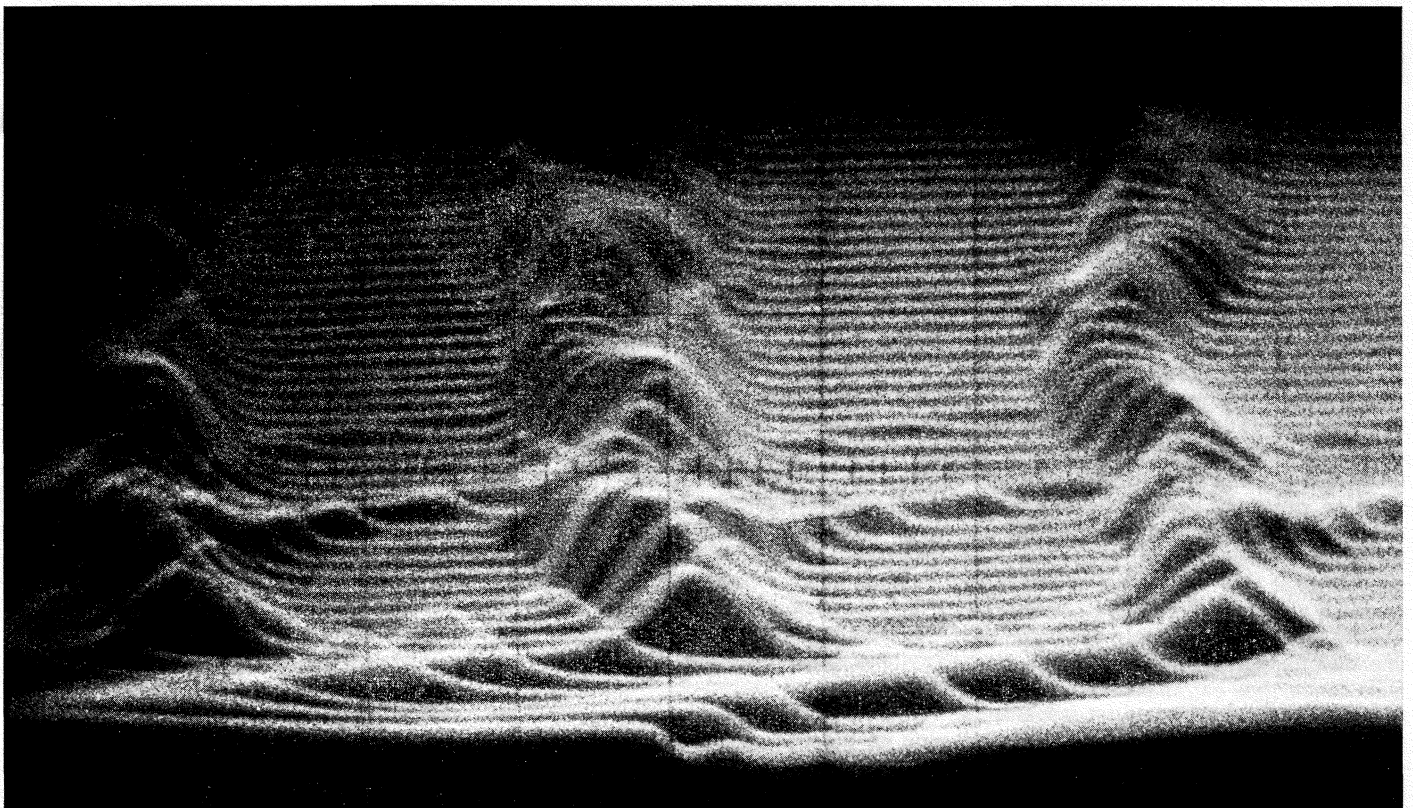
bas, le dispositif h.f. a réparti le faisceau en paquets et, au lieu d'une intensité à peu près constante, le signal fait un bond chaque fois qu'un paquet passe entre les électrodes.

La photographie montre le passage de trois seulement des vingt paquets formés dans l'anneau; la trace voisine vers le haut représente les mêmes trois paquets lors de leur tour suivant.

Après six tours dans l'anneau, le «système d'asservissement du faisceau» est mis en marche, et les paquets ne peuvent plus «glisser» par rapport à la tension de la cavité accélératrice (sur laquelle le déclencheur de l'oscilloscope est synchronisé); d'où la position relativement stable des crêtes après les premiers sept tours. Ce système d'asservissement a pour effet d'accorder le voltage d'accélération aux positions des paquets, telles qu'elles sont données par les électrodes de détection.

Le synchrotron du CERN a été le premier accélérateur à être équipé d'un dispositif de contrôle automatique du faisceau.

La distance entre deux crêtes (en suivant l'horizontale) mesure le temps qui s'écoule entre deux passages de paquets dans le poste de détection — soit environ 0,3 μ s.



Aimant de déflexion rapide à large ouverture

En février, un aimant de déflexion rapide à large ouverture, du type qui sera utilisé dans le système d'éjection rapide du synchrotron à protons, a fonctionné pour la première fois sous tension nominale.

Le rôle d'un aimant de déflexion rapide consiste à dévier les protons accélérés vers un aimant à septum qui achève d'infléchir le faisceau venant du synchrotron vers une zone expérimentale. Un tel déflecteur porte le nom de «kicker», qui est parfaitement approprié, cet aimant provoquant dans l'anneau du synchrotron un brusque déplacement du faisceau, qui contraint les protons à quitter leur orbite normale.

Dans l'accélérateur du CERN, le faisceau en circulation contient vingt paquets de protons et il se peut qu'on ait seulement besoin de quelques-uns de ces paquets pour les expériences qui utilisent la ligne du faisceau d'extraction rapide. (D'autres fois, ce sont tous les paquets qui doivent être éjectés.) Pour être à même d'agir sur un paquet particulier en vue de son éjection, sans affecter la circulation des autres paquets, il faut pouvoir exciter et désexciter l'aimant de déflexion rapide dans l'intervalle de temps séparant le passage de deux paquets successifs par l'aimant. Dans le PS, cet intervalle est d'environ 100 ns et il est évident que l'obtention de champs magnétiques intenses en un temps aussi court pose des problèmes.

Le système «conventionnel» d'éjection rapide utilise un petit aimant de déflexion rapide qui est mis en place dans l'enceinte à vide à la fin du cycle d'accélération du synchrotron. Cette technique est liée au fait que la totalité de l'ouverture de l'enceinte à vide est nécessaire pour le faisceau, lorsque les protons viennent d'être injectés dans l'anneau — il ne peut y avoir aucun aimant sur leur passage. Puis, quand les protons sont accélérés, le faisceau se contracte sous l'effet des forces de focalisation et il est possible d'introduire un aimant autour du faisceau concentré et de l'enclencher au moment voulu en vue de l'éjection. De cette façon, il suffit d'établir le champ magnétique sur une ouverture ayant une section de quelques centimètres carrés seulement. D'autre part, ce système comporte un mécanisme hydraulique, qui permet d'avancer et de reculer l'aimant dont le fonctionnement doit être très précis.

L'idée d'un déflecteur rapide à large ouverture — un grand aimant fixe qui établit le champ voulu sur la totalité de l'ouverture de l'enceinte à vide — a été avancée il y a quelques années par H. Fischer. Les travaux se sont ensuite poursuivis sous la direction de D. Fiander et l'équipe intéressée fait à présent partie du groupe Aimant et Ejection que dirige A. Asner de la Division du Synchrotron Injecteur.

L'aimant est du type à ligne de retard, avec des conducteurs internes et externes de forme cylindrique et à connexion croisée, et il crée un champ vertical sur l'ouverture de l'enceinte à vide. (Les personnes auxquelles ce type d'aimant est familier seront probablement en mesure d'y voir clair dans l'agencement que représente notre photographie de couverture. Le rectangle blanc du centre entoure la section de l'ouverture sur laquelle s'applique le champ. En haut et en bas, on aperçoit les conducteurs à connexion croisée.)

L'aimant a une longueur de 2 m et produit un champ maximum de 750 G à travers une ouverture de $10,5 \times 7$ cm². Il reçoit un courant de 8000 A de deux lignes 110 kV, qui sont symétriques par rapport à la terre. L'excitation se fait par l'intermédiaire de deux éclateurs, synchronisés à 10 ns près. (D. Fiander et D. Zanaschi ont mis au point des éclateurs spéciaux à faibles fluctuations.) Le temps de montée du champ est de 90 ns, ce qui permet d'atteindre le champ magnétique voulu dans l'intervalle de temps entre le passage de paquets successifs.

Les essais ont démontré que selon les exigences des expériences, il est possible d'exciter et de désexciter l'aimant de déflexion de manière qu'il dévie soit un, deux ou trois paquets, soit l'ensemble des vingt paquets. Avec un intervalle allant de 100 à 150 ms, l'aimant peut également être enclenché deux fois et dévier chaque fois un, deux ou trois paquets. Il peut donc recevoir deux impulsions pendant le «palier» d'un cycle d'accélérateur, ce qui est particulièrement avantageux pour les expériences de chambres à bulles. On est en train d'adapter la chambre à bulles de 2 m du CERN, afin d'être en mesure de la faire fonctionner deux fois par cycle et par conséquent de prendre les clichés à un rythme deux fois plus rapide qu'actuellement.

La construction et la mise en marche de ce premier aimant de déflexion rapide à large ouverture ont posé maints problèmes délicats, dont la solution facilitera

l'étude de tout autre aimant de ce type (par exemple pour l'éjection des faisceaux du PS destinés aux ISR). On pourrait notamment construire un second modèle sous la forme de deux unités, afin de ramener la tension élevée de 110 kV à des valeurs plus commodes de l'ordre de 60 - 80 kV. Il convient également d'envisager le remplacement des éclateurs par des thyatronns au deutérium. Enfin, en vue de réduire le travail de l'aimant de déflexion proprement dit, on examine la possibilité d'installer dans l'anneau du PS des aimants quadripolaires, qui provoqueraient une déviation rapide complémentaire.

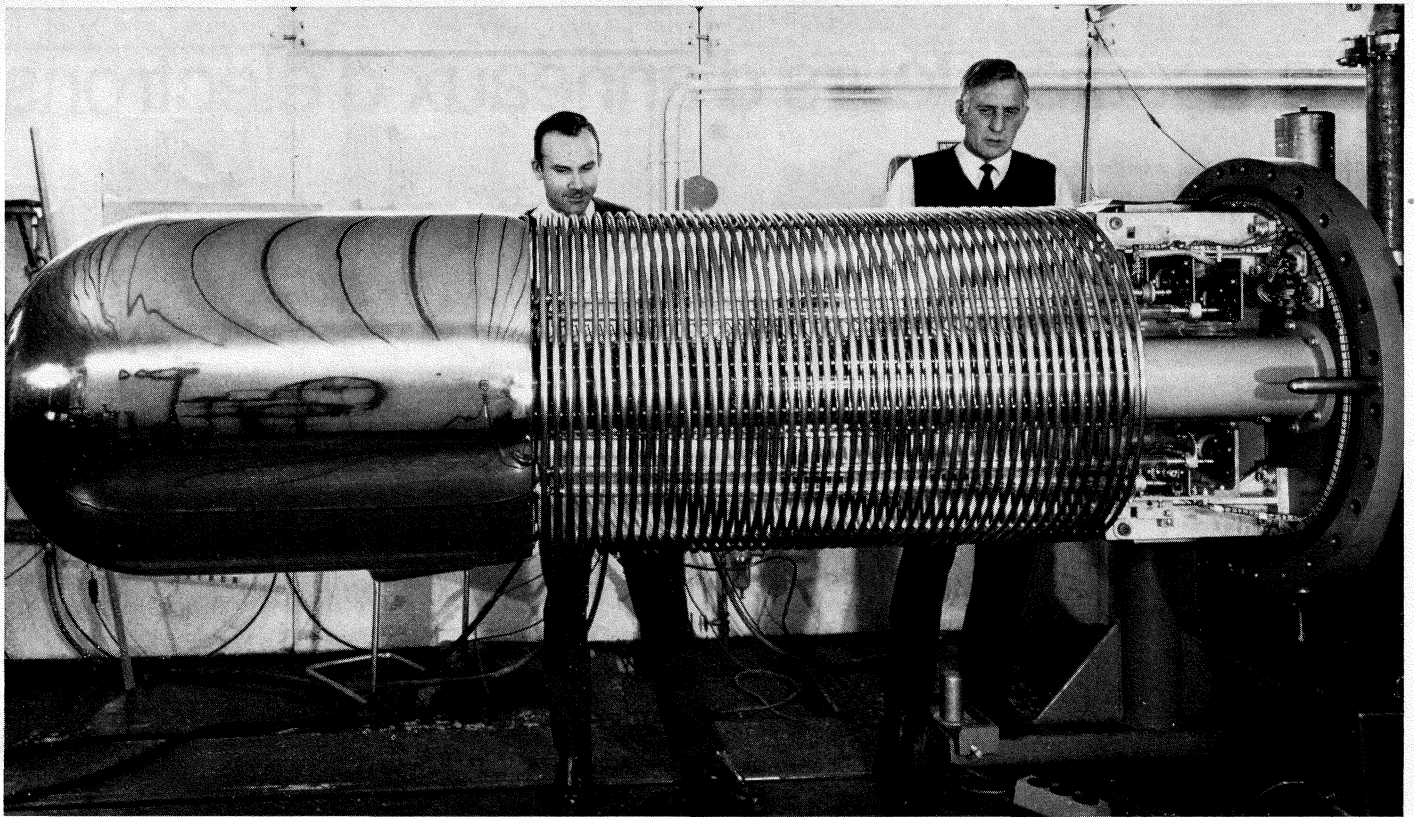
L'assemblage de l'aimant, avec ses alimentations et le matériel de mesure, a eu lieu dans l'extension du hall Sud. Un essai de durée va maintenant se poursuivre pendant quelques mois, afin de contrôler la fiabilité des divers éléments pour plusieurs millions d'impulsions. Si tout se passe normalement, l'aimant sera ensuite mis en place dans la section droite 66 du PS, au cours de l'arrêt qui débute en mai, et il ne manquera pas d'accroître la souplesse des systèmes d'éjection rapide.

Conférence sur la Biologie moléculaire

Une seconde conférence européenne sur la biologie moléculaire a été organisée au CERN du 22 au 25 janvier, sous la présidence du Professeur Olivier Reverdin. La première conférence avait eu lieu au CERN en avril 1967, et l'une de ses principales décisions avait été de constituer un groupe de travail chargé d'étudier les modalités d'une coopération européenne dans le domaine de la biologie moléculaire. Ce groupe s'est réuni l'année dernière en juin et en septembre, pour préparer un projet qui fut le principal point à l'ordre du jour de la conférence de janvier.

Les treize Etats membres du CERN et les trois Etats qui jouissent du statut d'Observateur ont été invités à envoyer leurs représentants, et certaines organisations internationales, telles que l'UNESCO, l'OMS et le CERN même y ont détaché des observateurs.

La conférence a abouti à un accord entre douze Etats européens (les membres du CERN à l'exception de la Belgique), qui permettra à la Conférence européenne de Biologie moléculaire de poursuivre ses réunions pendant les cinq prochaines années au moins. Ces réunions auront pour



CERN/PI 242.1.68

but essentiel de venir en aide à l'OEBM — l'Organisation européenne de Biologie moléculaire.

L'OEBM est une institution privée, créée en 1963 sur l'initiative d'un certain nombre de sommités de la biologie moléculaire en Europe. Elle a son siège social à Genève et, jusqu'à présent, a été principalement financée par un don de la Fondation Volkswagen. Le soutien de nombreux pays européens va permettre à l'Organisation de développer ses activités, en accordant des bourses d'étude et de recherche, en aidant les universités à accueillir des professeurs spécialisés, en organisant des cours et des réunions d'étude.

La Conférence permanente pourra également envisager d'autres formes de coopération. En particulier, plusieurs pays s'intéressent beaucoup à la création d'un Laboratoire européen de Biologie moléculaire.

La nécessité d'un laboratoire de ce genre découle de raisons assez différentes de celles qui ont motivé la création du CERN. Il ne s'agit pas tant de concentrer des ressources financières pour pouvoir construire un équipement très onéreux, mais plutôt de créer un centre où il serait possible de grouper des compétences et des techniques différentes mais complémentaires, dont chacune ne représenterait en elle-même qu'une dépense modeste, mais dont l'ensemble dépasse les moyens de la plupart des nations (en termes financiers mais surtout humains).

On a étudié en détail la structure éventuelle de ce laboratoire. L'effectif se monterait finalement à quelque 560 personnes, comprenant 150 scientifiques et ingénieurs constituant un personnel « permanent », 60 savants visiteurs, 40 boursiers titulaires de leur doctorat et 310 techniciens et administratifs. Comme au CERN, on a beaucoup insisté sur la nécessité de ne pas drainer en trop grand nombre les spécialistes les plus qualifiés des universités et centres de

recherche nationaux. L'exploitation du laboratoire a été estimée à un total annuel d'environ 39 millions de francs suisses.

Un programme de recherches a également été examiné, les études étant groupées en cinq catégories :

- i) structure et fonction des protéines ;
- ii) virus ;
- iii) base chimique de la réaction immuno-logique ;
- iv) fonctionnement du système nerveux ;
- v) souche K12 de la bactérie *Escherichia coli*, organisme unicellulaire caractéristique (cette étude est connue sous le nom de projet K).

Les gouvernements européens n'ont encore décidé aucune mesure concrète pour la création de ce laboratoire, mais il figurera à l'ordre du jour de la Conférence permanente. Une session spéciale de la Conférence aura lieu avant la fin de l'année, à l'occasion de la ratification de l'accord intervenu en janvier.

Ejection selon la résonance $6\frac{1}{3}$

Au synchrotron à protons, l'éjection lente utilisant la résonance $6\frac{1}{3}$ a fait récemment l'objet d'essais, qui ont été couronnés de succès.

Nous avons exposé les difficultés de l'éjection lente dans COURRIER CERN, vol. 7, page 151, en annonçant que des essais effectués au PS avaient permis d'atteindre une efficacité de 80 %. D'autre part, parmi les avantages de cette méthode, il en est un que ne mentionnait pas cet article et qui consiste en la possibilité de répartir efficacement les protons, lorsqu'on utilise en même temps une cible interne. Il est parfois très commode que le faisceau accéléré puisse principalement servir à

des expériences dont les faisceaux proviennent d'une cible interne, tandis qu'un faible pourcentage du faisceau (par exemple 5 ou 10 %) est essoré en vue d'alimenter la ligne du faisceau d'éjection lente. Ce procédé permet aux expérimentateurs utilisant ce dernier faisceau de disposer d'une certaine quantité de protons pour régler et essayer l'appareillage. La résonance entière que l'on établissait jusqu'à présent pour l'éjection lente n'est pas compatible avec une telle répartition.

Ch. Iselin a mis au point la théorie de l'éjection selon la résonance $6\frac{1}{3}$, qui semble mieux appropriée au partage du faisceau. Des essais ont eu lieu au PS et l'efficacité obtenue a été de 50%. En raison des exigences du programme de l'accélérateur, on a réalisé les essais d'éjection dans la ligne de faisceau de la section droite 58. D'autres essais suivront bientôt, à la section droite 62, où le système sera finalement installé comme nouveau moyen de partage du faisceau.

CORRECTION: Dans le numéro de janvier (page 10), nous avons rapporté que le contrat relatif aux enroulements polaires des aimants des ISR avait été passé avec Brown, Boveri et Cie (Suisse)... Il convient de lire: Brown, Boveri et Cie (République fédérale d'Allemagne)...