

dance ou de visites, ou en participant aux conférences. Il en résulte que le CERN dispose d'instruments de physique de santé de qualité égale à ce qui se fait autre part au monde. Les excellentes relations entre le groupe de physique de santé et les expérimentateurs résultent en un contrôle extrêmement serré des accélérateurs : **les doses d'irradiation du personnel sont toujours très faibles et nous n'avons jamais enregistré d'accident dû aux radiations.**

Une question parfois posée concerne la protection du personnel qui ne travaille pas sur les accélérateurs proprement dits, et ceci nous fournira l'occasion de préciser la situation au CERN du point de vue des radiations.

Irradiation

D'abord, les accélérateurs sont très fortement blindés et seules les personnes qui se trouvent à proximité immédiate pourraient être exposées aux rayonnements.

Le groupe de physique de santé s'assure par les mesures appropriées que le personnel travaillant dans les bureaux ne peut recevoir d'irradiation importante. Les zones où cette possibilité existe sont rendues inaccessibles et leur accès fait l'objet d'une surveillance sévère afin que personne ne pénètre par inadvertance dans une région potentiellement dangereuse.

A l'extérieur du site, les niveaux de radioactivité font l'objet de mesures : ils demeurent très négligeables.

Au CERN, la plupart des radiations proviennent des accélérateurs et lorsque ceux-ci sont arrêtés, il en va de même des radiations. **Il n'y a donc aucune possibilité de contamination du fait d'un accident survenant aux machines.**

En ce qui nous concerne ici, il existe une différence énorme entre **réacteurs et accélérateurs.**

Un accident arrête les accélérateurs — et par conséquent leurs radiations — tandis que dans le cas d'un réacteur, il pourrait permettre le dégagement de produits radioactifs qui continuent à émettre des rayonnements après l'arrêt du réacteur.

Internationalité

Le groupe de physique de santé est tout à fait international. Au moment où cet article fut écrit, il comptait dix personnes en provenance de sept pays. Le chef de groupe suppléant qui dirigera le groupe jusqu'à l'arrivée de son nouveau chef est **Pierre Guillot**, qui entra au CERN en 1959 après avoir présenté une thèse de docteur ès sciences à l'Institut Pasteur de Paris. Son intérêt se porte principalement sur la dosimétrie des neutrons rapides et sur la spectrométrie des rayonnements vagabonds. De tels problèmes sont compliqués en laboratoire mais on doit ici trouver des méthodes permettant de transporter l'appareillage autour des accélérateurs et d'obtenir rapidement des résultats sûrs. Le technicien le plus ancien est **Sven Larson**, un Suédois qui se joignit à notre groupe fin 1957, après avoir travaillé au Jungfraujoch pendant les premiers moments du CERN. Il dirige le service des instruments et est aidé dans sa tâche par **Piet Varekamp**, un expert hollandais

Suite à la page 8.

Le PS en 1960

par **Pierre GERMAIN**
chef du „Groupe Machine“
Division du Synchrotron

Nous pourrions bientôt célébrer le premier anniversaire de la mise en route de la machine. En effet, le 24 novembre 1959, l'énergie de 25 GeV était atteinte par le PS. Depuis lors que s'est-il passé ?

La situation à la fin de l'année passée pouvait se résumer ainsi. De 2 à $3 \cdot 10^{10}$ protons étaient accélérés à chaque cycle jusqu'à l'énergie de 25 GeV (1). Le coefficient de capture était de 25 % c'est-à-dire qu'environ une particule sur quatre injectées par l'accélérateur linéaire dans la chambre du synchrotron, était effectivement accélérée.

D'une façon générale on pouvait affirmer que le PS fonctionnait remarquablement bien dès le début et fournissait immédiatement un courant supérieur à celui qui était espéré quelques années auparavant. C'était donc d'un accélérateur potentiellement excellent que le «Groupe machine» du PS allait hériter. Cela simplifiait sa tâche considérablement ou plus exactement cela lui permettait de donner immédiatement une plus grande attention à l'achèvement de l'équipement et à l'utilisation de l'accélérateur.

Le « Groupe Machine » du PS

Le « Groupe machine » a été créé pour prendre soin du fonctionnement, de l'entretien et des développements futurs de l'accélérateur. Son origine fut un comité appelé « M.O.C. » (Machine Operation Committee) dirigé par C. J. Zilverschoon en 1959 et c'est à lui que revint la tâche difficile de mettre sur pied la structure et les principes du groupe actuel.

Pour l'année 1960, le programme de notre groupe s'est limité aux catégories de travaux suivants :

- Créer un cadre d'opérateurs et d'ingénieurs de service avec toute l'organisation auxiliaire que cela comporte : procédures de mise en route et de fonctionnement, formation théorique et pratique, protection du personnel et des utilisateurs, etc...
- Développer rapidement le minimum de facilités indispensables pour une utilisation de la machine par les physiciens.
- Achever l'installation de la machine et les équipements auxiliaires en éliminant par exemple les installations provisoires. Etendre les installations de la machine en vue de leur utilisation par les expérimentateurs.
- Comprendre le comportement de la machine et principalement le comportement du faisceau de protons y circulant. Cette compréhension est évidemment essentielle si l'on veut

ultérieurement améliorer les performances de la machine.

- Commencer à détecter et à améliorer les points faibles de l'équipement, inévitables dans une machine aussi originale et aussi complexe que le PS.

Dans l'exécution de son travail le « Groupe machine » a été fortement aidé par les conseils et l'aide effective de nombreux collègues qui, après avoir participé à la construction et à la mise en route de l'accélérateur, ont joint d'autres groupes. Il est agréable de souligner cette précieuse collaboration qui presque un an après la mise en route est encore bien vivante. Le fait n'est pas si fréquent et cela vaut la peine de le signaler. Je cite ici, en espérant n'oublier personne, P. Bramham, M. Geiger, H. G. Hereward, K. Johnsen, P. Lapostolle, B. Montague, C. Schmelzer, W. Schnell, et en fait tout le Comité des Paramètres du PS. Si je ne nomme pas explicitement M. G. N. Hine, c'est qu'il nous a fait le plaisir de joindre le Groupe au cours de cette année !

Le « Groupe machine » n'est d'ailleurs qu'un des groupes chargés du développement des appareillages nécessaires à l'utilisation de la machine par les expérimentateurs.

Le transport des faisceaux, le système d'éjection, les séparateurs électrostatiques, sont du ressort du « Groupe de la chambre à propane » de C. A. Ramm. Le bâtiment des génératrices alimentant le transport de faisceaux et des chambres à bulles, ainsi que le système de refroidissement de ces mêmes appareillages, sont en cours d'achèvement par le « Groupe de construction » de F. Grütter. Enfin, les séparateurs à radio-fréquence sont à l'étude dans le « Groupe de recherches sur les accélérateurs » de A. Schoch.

Le PS au 1er septembre 1960

Il serait fastidieux de détailler les principaux travaux qui ont été effectués cette année sur la machine. Le lecteur intéressé trouvera le détail de ces améliorations dans les rapports trimestriels édités par le groupe. Deux rapports couvrant la période de janvier à juin 1960 ont été édités jusqu'à présent (2).

Je me limiterai ici aux résultats les plus importants intéressant directement l'utilisation de la machine par les expérimentateurs. Il va sans dire que les autres travaux sont, si moins spectaculaires, au moins d'égale importance.

Pour un accélérateur, considéré du point de vue de la physique que l'on compte faire avec lui, un paramètre important est le courant qu'il délivre ou, autrement dit, le nombre de particules qu'il porte à l'énergie maximum à chaque cycle d'accélération. Actuellement ce nombre reste régulièrement entre 2 et $3 \cdot 10^{11}$ protons, ce qui représente par rapport à la fin de l'année passée un gain de l'ordre de 10 fois. Cette grande intensité fait du PS un des synchrotrons

(1) L'énergie maximum du PS est de 28 GeV environ. Elle est cependant rarement utilisée car elle exige un intervalle de temps entre deux cycles d'accélération de 5 secondes alors que pour l'énergie de 25 GeV un intervalle de 3 secondes suffit.

(2) CERN 60-23 et 60-29 : « Quarterly Reports No 1 et 2 ».



ayant actuellement le flux de particules le plus élevé par seconde, et cela indépendamment du fait qu'il dépasse en énergie tous les accélérateurs existants sauf un.

Cet accroissement de courant a été obtenu d'une part par une augmentation de l'intensité de sortie de la source à ions produisant les protons, d'autre part grâce à l'installation d'un groupeur de particules à l'entrée du premier tank de l'accélérateur linéaire — ce qui permet de gagner un facteur 2 environ en intensité — et enfin par une amélioration du même ordre dans le coefficient de capture des particules par le synchrotron lui-même. Si à la fin de l'année passée une particule sur quatre injectées par l'accélérateur linéaire dans le synchrotron était accélérée, aujourd'hui environ **deux sur trois** le sont régulièrement. Le coefficient de capture est donc d'environ 65 %, au lieu de 25 %.

Les expérimentateurs n'utilisent cependant pas directement le faisceau primaire circulant dans la machine. On utilise une cible qui n'est le plus souvent qu'un morceau d'aluminium ou de beryllium, amené à la fin du cycle dans le faisceau primaire de protons à haute énergie circulant dans la machine. Ce sont les interactions des protons avec cette cible qui donnent les faisceaux secondaires.

Une assez faible proportion des protons traversant la cible sont déviés et sortent de la machine. Ils traversent la paroi de la chambre à vide et forment dans le hall expérimental un faisceau de protons dont l'énergie est à peu près identique à l'énergie du faisceau primaire et dont l'intensité est suffisante pour les chambres à bulles, les émulsions photographiques et même pour certaines expériences avec compteurs.

La grande majorité des protons traversant la cible interagissent cependant avec les noyaux de la cible elle-même et au cours de ces interactions, des particules secondaires (mésons π^+ et π^- , mésons K^+ et K^- , protons et antiprotons, deutérons, etc...) sont produites. C'est le comportement de ces particules secondaires qui est étudié par les équipes expérimentales. Grosso-modo deux types d'impulsions de particules secondaires sont demandés par les expérimentateurs. Actuellement nous sommes en mesure de leur fournir ces impulsions dans des conditions satis-

faisantes et sûres, ce qui n'était pas le cas à la fin de l'année passée.

Le premier type d'impulsion est une **longue impulsion de grande intensité** utilisée pour les compteurs : la plus grande partie possible des protons primaires circulant dans la machine sont amenés à agir sur la cible et fournissent d'une façon assez uniforme des particules secondaires pendant quelques centièmes de secondes.

Le second type d'impulsions est une **impulsion brève de faible intensité** : une fraction faible des protons primaires agissent sur la cible et fournissent les particules secondaires pendant quelque dix millièmes de secondes. Ce type d'impulsion brève est utilisé pour les expériences avec les chambres à bulles. Il nous est possible actuellement de fournir au cours du même cycle d'accélération les deux types d'impulsions : une fraction des protons étant utilisée pour donner une impulsion brève et le restant étant utilisé pour fournir l'impulsion longue. Il est bien évident que produire des particules à différents moments du cycle et aussi à différents endroits de la machine présente un très grand intérêt. Il devient en effet possible dans ce cas d'utiliser la machine simultanément pour plusieurs expériences : par exemple une chambre à bulles et un groupe de comptage utilisant deux cibles différentes. Dans ce domaine nous avons fait assez de progrès pour résoudre les problèmes simples de simultanéité.

Utilisation de la machine en 1960

Je n'entrerai pas dans l'exposé des programmes expérimentaux actuellement en cours : ceci serait du ressort d'un autre auteur.

Il faut cependant se rappeler que jusqu'à présent, principalement en raison du fait que l'accélérateur a fonctionné plus rapidement et peut-être mieux que prévu, le « transport de faisceaux » a été très réduit. On appelle transport de faisceaux cet ensemble d'électro-aimants, de lentilles magnétiques, de génératrices d'alimentation et de connexions, qui permet de définir dans le hall d'expériences un faisceau de particules secondaires de caractéristiques données.

Malgré cela, la nature et l'intensité des particules secondaires en fonction de leur énergie et de leur angle de

production commencent à être connues. Des mesures de sections efficaces de ces particules dans de l'hydrogène liquide ont été faites. Deux chambres à bulles, celle de 32 cm à hydrogène liquide de Ch. Peyrou et celle de 1 m à propane de A. Lagarrigue ont été placées dans des faisceaux secondaires et purent prendre quelques dizaines de milliers de photos. D'autre part, des émulsions nucléaires ont été exposées dans différents faisceaux et à différentes énergies.

Du 1er janvier au 1er septembre 1960, soit pour une période de huit mois, l'accélérateur a fonctionné en tout ou en partie pendant 1600 heures environ. Sur ce temps, quelque 780 heures ont été utilisées pour obtenir un faisceau accéléré, le reste du temps ayant été absorbé par les mises en route de la machine et surtout les études sur la machine ou parties de machine.

A partir de l'année prochaine la machine fonctionnera probablement 100 heures par semaine.

Pendant la même période de huit mois l'efficacité de l'accélérateur, c'est-à-dire le rapport entre le temps d'accélération effective et le temps d'accélération prévue, s'est situé en moyenne entre 75 et 80 % ce qui représente un indice d'efficacité satisfaisant, compte tenu surtout de sa « jeunesse » et de sa complexité plus grande.

Pour terminer ce paragraphe sur l'utilisation de la machine, décrivons rapidement comment le programme d'utilisation de machine a été fixé jusqu'à présent.

Un programme général avec allocation du temps de machine entre les différents expérimentateurs est fixé environ tous les trois mois par le coordinateur de recherches.

Le programme détaillé de chaque semaine est fixé le jeudi de la semaine précédente lors d'une séance d'horaire organisée par le « Groupe machine ». La disposition exacte des faisceaux, les caractéristiques exactes des cibles, les mesures de sécurité à prendre y sont discutées et fixées avec les groupes expérimentaux intéressés.

Le résultat de cette séance d'horaire est la publication du programme hebdomadaire du PS, largement distribué dans le CERN et donnant les indications

Suite page 8.

Le synchro-cyclotron

Dérivé du cyclotron, auquel il ressemble extérieurement, le synchro-cyclotron — ou SC — incurve la trajectoire des particules accélérées. Il les force à traverser un grand nombre de fois une électrode accélératrice appelée « D » en raison de sa forme en demi-cylindre plat. Les particules sont injectées 54 fois par seconde à partir d'une source au centre de la boîte à vide. Chaque poussée accélératrice augmente la vitesse du proton auquel la force centrifuge donne une trajectoire en forme de spirale croissante.

Le processus d'accélération dure 9 millisecondes, temps au cours duquel les particules effectuent 150 000 tours dans la boîte à vide, soit environ 2500 km, et atteignent 80 % de la vitesse de la lumière ! Lorsque le faisceau pulsé de protons arrive à son énergie d'utilisation — 600 MeV au maximum — c'est-à-dire à la périphérie de la boîte à vide, il est deux moyens de l'utiliser. Le faisceau de protons peut être extrait tel quel et amené vers l'appareillage expérimental. Ou bien le faisceau peut frapper une cible à l'intérieur même de l'enceinte à vide ; on obtient de cette façon une source de particules secondaires — neutrons ou mésons pi — qui sont dirigées à leur tour vers les appareils d'expérience.

La grande photographie montre le saint des saints du SC, la salle de la machine, où personne n'accède lorsqu'elle fonctionne.

Là repose le bloc massif d'un **électro-aimant** de 2500 tonnes. Sa culasse horizontale est constituée de 18 plaques d'acier magnétique de 11 m de long, 1,5 m de hauteur et 36 cm d'épaisseur. L'électro-aimant est excité par deux immenses bobines. L'une est nettement visible sur le cliché : son revêtement d'aluminium scintille sur le haut de la photo. L'autre lui est symétrique mais, tapie dans l'ombre, est difficilement discernable. Chacune des bobines pèse 55 tonnes, mesure 7,2 m de diamètre et est composée de 9 galettes de conducteurs en aluminium de 19 cm² de section. Le conducteur est percé d'un trou central de 3 cm² assurant la circulation de 30 000 litres/heure d'eau de refroidissement déminéralisée. Cette précaution est exigée en raison du passage du courant continu d'excitation de 1750 ampères sous 400 volts. L'acheminement de ces deux bobines depuis leur lieu d'origine en Belgique, constitua une entreprise considérable, par péniche sur le Rhin et remorque spéciale en Suisse.

Le **champ magnétique** engendré par l'électro-aimant est constant : 18 500 gauss, chiffre que l'on peut comparer au champ magnétique terrestre : 1 gauss, ou à celui auquel peuvent résister les meilleures montres anti-magnétiques : 1000 gauss. Le champ de 18 500 gauss se referme sur la chambre à vide logée entre les pôles de 5 m de diamètre de l'électro-aimant — forgés à Rotterdam et usinés au Creusot. Son rôle est d'y « focaliser » les particules accélérées sur l'orbite en spirale.

La **chambre à vide** où circulent les protons a un volume de 23 m³ et ses parois d'acier inoxydable sont épaisses de 60 mm. Il y règne un vide de 10⁻⁵ mm de mercure au moins, soit une pression 76 millions de fois inférieure à celle de l'atmosphère qui nous entoure. Ce vide est créé et entretenu par deux grandes pompes à vide dont l'une est nettement visible à l'avant-plan du cliché.

Le **système de radiofréquence** module, ou change, la polarité du champ électrique alternatif accélérateur de particules. Ces oscillations diminuent avec l'augmentation de vitesse et de masse des particules, de 29,3 à 16,4 MHz (millions de périodes par seconde). Le point le plus spectaculaire du système est peut-être le modulateur en forme de diapason, long de 0,5 m, large de 2 m, logé dans la protubérance de la boîte à vide visible à gauche de la pompe.

Le **bâtiment** de béton où fonctionne le SC a pour mission d'arrêter les radiations indésirables. Les murs qui entourent le SC comme un écran ont jusqu'à 5,8 m d'épaisseur et sont percés de deux portes de 200 tonnes, coulissant pesamment pour obturer les deux entrées. Le poids total de béton — ordinaire ou additionné de baryte — atteint 22 000 tonnes.

Le **prix** du synchro-cyclotron ? Vingt-quatre millions de francs suisses environ, bâtiments compris. Quant au **personnel** chargé de l'entretien, du fonctionnement et des développements techniques, il totalise 26 personnes, non compris, bien entendu, les physiciens expérimentateurs.

Suite page 8.

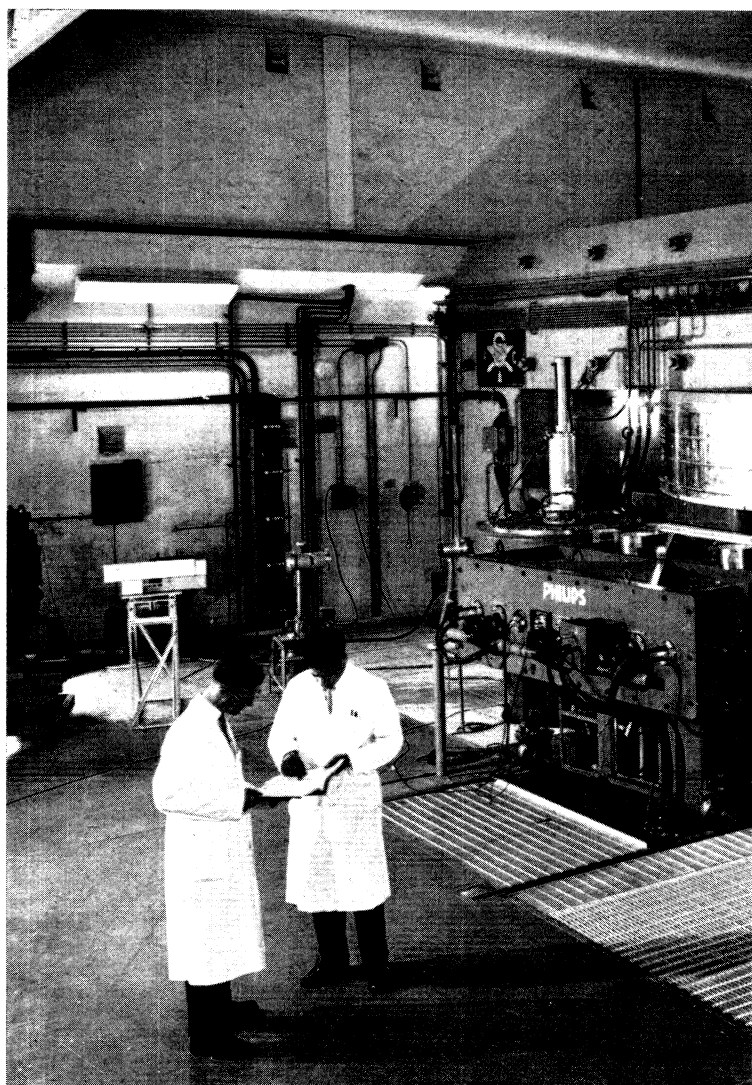
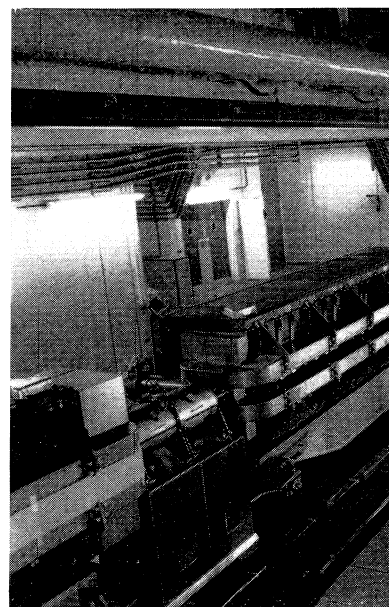
Les deux accélérateurs de particules construits au CERN pour l'étude de la structure de la matière ont nom synchro-cyclotron et synchrotron. Quelles sont les différences et les similitudes que masquent ces deux vocables rugueux ?

Divers points communs caractérisent tous les accélérateurs :

- une source de corpuscules à accélérer ;
- une enceinte à vide leur permettant de se déplacer sans être freinés exagérément par les molécules d'air, et
- une cible, intérieure ou extérieure.

Comme tous les accélérateurs, les machines du CERN font toutes deux usages de phénomènes

Similitudes



„Physique de santé”

Suite de la page 4.

des circuits à transistors, par **Klaus Klein**, un mécanicien allemand spécialisé et par **Jean Wiesmann**, un français responsable des réparations, de l'étalonnage et du câblage. Les mesures des niveaux de radiations sont du ressort de **Leo Haemers** qui vient de l'équipe du cyclotron d'Amsterdam. Le travail administratif du groupe est partagé : **Jennifer Shaw** (Grande Bretagne) tient les dossiers tandis que **Gabrielle Andreossi** (Suisse), prend soin de la correspondance, au secrétariat de la Division SST. Le service de dosimétrie photographique fonctionne grâce à **Maria Schuler**, qui est suisse également. Enfin le groupe a accueilli un étudiant stagiaire, **Die-trich Zawischa** qui poursuit ici les études de dosimétrie des neutrons par activation de métaux, travail qu'il avait entrepris dans sa ville natale de Vienne.

Le groupe fait ainsi preuve d'intérêts variés depuis l'administration jusqu'à l'électronique rapide. Mais la partie la plus stimulante de ses activités est sans contredit due à l'intérêt humain qu'elles comportent.



Le PS en 1960

Suite de la page 5.

voulues sur les heures d'utilisation, les utilisateurs et les conditions d'accès à la machine.

*

Citer tous les membres du « Groupe machine » qui ont eu à cœur, cette année, non seulement de faire fonctionner le PS à la satisfaction des expérimentateurs, mais encore de prévoir l'avenir et des performances meilleures est une chose impossible.

Je saisis l'occasion de les remercier ici, sachant la valeur de leur travail souvent ingrat. Je le ferai au travers du comité du « Groupe machine » dont les membres actuels sont H. von Ballmoos, F. Bonaudi, G. Brianti, A. Decae, H. Fischer, J. Y. Freeman, J. A. Geibel, M. Georgijevic, J. Gervaise, M. G. N. Hine, U. Jacob, G. L. Munday, K. H. Reich, P. H. Standley, C. S. Taylor et B. Vosicki.

Un index pour Courrier CERN

Le contenu des « COURRIER CERN » depuis août 1959 sera répertorié dans le numéro de décembre 1960. Il a paru rationnel, en effet, de ne pas publier d'index après les douze premiers numéros, mais de le faire en fin d'année.

Similitudes et différences

Suite des pages 6 et 7

Le synchro-cyclotron

Suite de la page 6.

Enfin, quel est le rang du SC dans le monde des accélérateurs ? Parmi les quelque 18 synchro-cyclotrons en service, celui du CERN est le **troisième** de par la puissance d'accélération (600 MeV), après celui de 730 MeV de Berkeley en Californie, et celui de 680 MeV de Dubna, en Russie.

Le synchrotron

Suite de la page 7.

portes verrouillées. Entre les deux salles d'expériences — nord et sud — la radioactivité risque d'être plus intense en raison de la présence des cibles. Là, le plafond du tunnel est constitué de béton spécial de 2 m d'épaisseur à base de gravier de baryte, d'une densité de 3,5 t/m³. Ses parois comportent une succession de blocs amovibles, afin de ménager à volonté les ouvertures destinées à admettre les faisceaux dans les salles d'expériences.

Le synchrotron a coûté **120 millions de francs suisses** : un demi-paquet de

cigarettes à chacun des 220 millions d'habitants des 12 Etats membres du CERN.

L'équipe du « Groupe de la machine » chargée de l'exploitation du PS et de son développement futur, compte 139 personnes. La conduite proprement dite de la machine requiert la présence d'une dizaine d'opérateurs.

Quant au **rang** du PS, le synchrotron du CERN est le second accélérateur du monde avec ses 28 GeV, après le synchrotron de 31 GeV démarré par Brookhaven le 30 juillet.

Quelques caractéristiques comparées des accélérateurs du CERN

	SC (Synchro-cyclotron)	PS (Synchrotron)
Données de base		
● particules accélérées	protons	protons
● énergie cinétique maximum	600 MeV	28 000 MeV
● source d'ion située	au centre de la boîte à vide	en amont d'un accélérateur linéaire
● prix	24 millions Fr.S.	120 millions Fr.S.
Aimants et excitation		
● champ magnétique en gauss	constant : 18 500	variable entre 147 et 14 000
● poids de l'aimant	1 x 2500 t	100 x 28,7 t
● poids des bobines d'excitation	2 x 55 t	100 x 1,2 t
● puissance maximum fournie à l'aimant	700 kw	32 000 kw
● entrefer	45 cm	10 cm
Radiofréquence d'accélération		
● dispositif	un D	16 cavités
● fréquence en MHz	décroissante de 29,3 à 16,4	croissante de 2,9 à 9,55
● gain par tour	4 keV	54 keV
● nombre de tours	150 000	450 000
● vitesse des particules à l'énergie maximum (en % de la vitesse de la lumière)	80 %	99,94 %
● fréquence des accélérations	54 par seconde	1 par 3 (à 25 GeV) ou 5 sec. (à 28 GeV)
● durée de l'accélération	9 millisecondes	1 seconde
Système à vide		
● chambre à vide	cubique, 23 m ³	toroïde 14 x 7 cm de sect. - 628 m de long
● épaisseur paroi	jusqu'à 60 mm	2 mm
● matériaux	acier inoxydable	acier inoxydable
● pompes	2	66 + 5
● pression admise	10 ⁻⁵ mm Hg	10 ⁻⁵ mm Hg