

Arrêt du SC

On trouvera ici le compte rendu de certaines modifications apportées au synchro-cyclotron du CERN — le SC — en janvier et en février 1964. Les deux premiers chapitres donnent quelques précisions sur la façon dont les protons de haute énergie sont produits par l'accélérateur et sur la source de protons polarisés à installer à une date ultérieure. Le dernier chapitre se rapporte aux essais entrepris en vue d'augmenter l'intensité des faisceaux secondaires produits par bombardement de cibles internes avec des protons.

Comme le rapporte brièvement « Le mois dernier au CERN » dans le numéro de février de *COURRIER CERN*, le synchro-cyclotron de 600 MeV de l'Organisation a été arrêté pendant plusieurs semaines au début de cette année, en partie pour des raisons d'entretien, mais surtout pour permettre l'exécution d'un certain nombre de modifications sur la machine.

Fonctionnement du SC

Avant d'entrer dans les détails, rappelons les caractéristiques principales du système d'accélération du synchro-cyclotron (voir fig. 1). Les protons produits au centre de la machine décrivent une spirale vers l'extérieur, dans un plan horizontal, sous l'effet combiné du champ magnétique et du champ électrique d'accélération. Pendant la moitié environ de chaque tour, les protons voyagent à l'intérieur du « D », boîte métallique creuse ainsi dénommée parce que, dans les premiers cyclotrons, ses faces supérieure et inférieure rappelaient la forme du D majuscule. En face de l'arête du « D » se trouve le « dummy-D », qui se compose essentiellement d'une plaque traversant le milieu de l'entrefer, munie d'une fente horizontale centrale à travers laquelle passent les protons (à droite sur la fig. 2). Le « D » se prolonge en arrière, hors du champ magnétique et son extrémité forme en fait une partie d'un condensateur électrique, l'autre partie étant constituée par les branches du diapason géant (2 m de large et 55 cm de long) relié à l'alimentation radio-fréquence à haute tension. Le « dummy-D » est mis à la terre, ainsi qu'une borne de l'alimentation haute fréquence : la tension entre le « D » et le « dummy-D » oscille donc de positif à négatif, à la fréquence de l'alimentation, ce qui fait que les protons vont toujours d'une tension plus positive vers une tension plus négative en traversant l'ouverture et sont de ce fait accélérés. Le mouvement des branches du diapason fait varier la fréquence de la tension d'accélération entre 30,1 MHz et 16,4 MHz environ, l'inversion de tension entre le « D » et le « dummy-D » restant ainsi synchronisée avec le temps toujours plus long que mettent les protons à accomplir un demi-tour, à mesure que leur énergie augmente. De cette manière, l'accélérateur produit 55 giclées de protons par seconde. Ceux-ci sont soit dirigés sur une cible à l'intérieur de la machine, soit éjectés comme faisceau externe. L'ensemble du système d'accélération, y compris le diapason, est logé dans une enceinte à vide en acier inoxydable, où la pression est maintenue à environ 10^{-6} torr (presque un milliard de fois moins que la pression atmosphérique normale) pendant le fonctionnement.

- A = « D »
- B = « dummy-D »
- C = position des tanks d'azote liquide
- D = allongeur d'impulsions (stochastique C)
- E = régénérateur
- F = canal magnétique
- G = faisceau externe
- H = logement pour diapason, etc.
- I = pompes à vide
- J = boîte ou tank à vide
- K = culasse de l'aimant
- L = position de la source de protons polarisés

1. Plan simplifié du synchro-cyclotron montrant quelques-uns des principaux éléments et la position future de la source de protons polarisés.

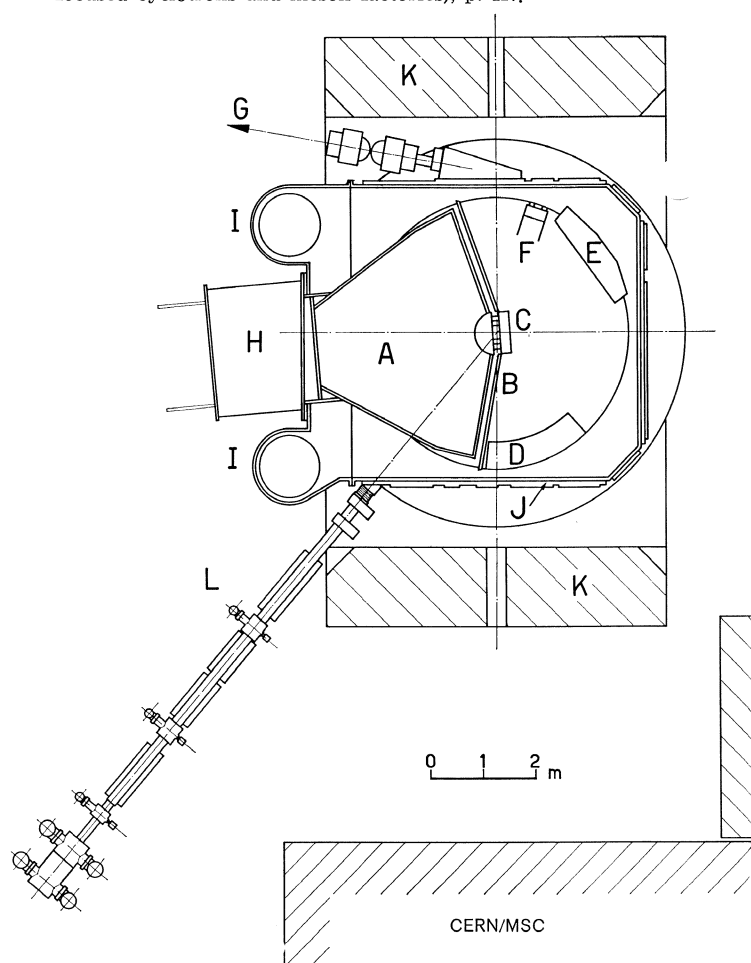
Source de protons polarisés

La tâche principale pendant l'arrêt a consisté à préparer l'installation, à un stade ultérieur, de la source de protons polarisés, mise au point dans la Division MSC*.

Une des propriétés fondamentales de chaque proton est son « spin », concept de mécanique quantique analogue à celui de la rotation d'une toupie autour de son axe. Dans un faisceau de protons normal, les axes de spin sont orientés dans toutes les directions mais, dans de nombreux cas, les résultats des expériences (de la diffusion proton-proton par exemple) pourraient être interprétés beaucoup plus clairement si tous les axes étaient parallèles et si tous les protons tournaient dans le même sens. La source de protons polarisés est destinée à produire ce genre de faisceau « polarisé ».

Pour obtenir un faisceau de protons ordinaires, comme celui employé actuellement dans l'accélérateur, l'hydrogène est envoyé au centre de la machine où les molécules sont dissociées en atomes et ionisées par des électrons dans la « source d'ions ». (Les protons sont les noyaux d'atomes d'hydrogène, des atomes débarrassés de leurs électrons). D'autre part, pour produire des protons polarisés, un appareil beaucoup plus compliqué devra être monté à l'extérieur de l'enceinte à vide du cyclotron. Le premier étage de la source de protons polarisés produit une décharge à radio-fréquence dans

* Voir notamment : L. DICK, Ph. LÉVY, J. VERMEULEN, Characteristics of the CERN polarized-proton source, CERN 63-19 (Proceedings of the international conference on sector-focused cyclotrons and meson factories), p. 127.



l'hydrogène, pour fractionner les molécules sans toutefois causer une forte ionisation. Après cela, les atomes s'écoulent à travers une « tuyère de Laval » sous la forme d'un jet et traversent ensuite un jeu de puissants aimants quadrupolaires, long d'environ 6 m. Dans le champ non uniforme de ces quadrupôles, les atomes se comportent de quatre façons légèrement différentes, déterminées essentiellement par le rapport entre le spin du noyau et celui de son électron orbital. Dans deux cas, les parcours des atomes divergent, alors que, dans les deux autres, ils convergent vers un foyer. Les deux foyers se trouvent en des points différents, de sorte qu'un diaphragme inséré à l'extrémité de l'aimant permet de trier les atomes d'un seul état.

A ce stade, lorsque la source sera installée, les atomes pénétreront dans l'entrefer séparant les pôles magnétiques du SC. Puisque les atomes sont tous de la même sorte, l'action du champ magnétique sera la même sur chacun d'eux, et tous les spins se trouveront alignés dans la même direction. Puis les atomes seront de nouveau ionisés au centre de la machine, par collision avec des électrons, ce qui donnera des protons polarisés prêts à être accélérés.

Pour obtenir de bons résultats, le faisceau atomique doit arriver exactement au centre de l'accélérateur et l'ionisation doit s'effectuer dans une région à température très basse. Ces conditions sont nécessaires pour réduire le nombre des molécules d'eau résiduelles présentes dans l'enceinte, même à basse pression, afin que celles-ci ne puissent constituer une source concurrente de protons non polarisés.

On se propose de garder la partie centrale de l'accélérateur à cette indispensable basse température, au moyen de deux tanks remplis d'azote liquide, fixés au « dummy-D » et reliés par 12 tiges de saphir, de 20 cm de long et de 2 cm de diamètre chacune, à deux petites électrodes « D » auxiliaires à l'intérieur du « D » principal. Les tiges de saphir sont bonnes conductrices de la chaleur, de sorte que les « D » auxiliaires seront eux aussi maintenus à basse température, mais elles constituent de mauvais conducteurs électriques, ce qui empêchera la tension à radio-fréquence appliquée aux « D » d'apparaître sur les tanks d'azote liquide. Pour permettre ces modifications, l'ensemble du premier « dummy-D » a été retiré pendant l'arrêt et remplacé par un nouveau, fabriqué dans l'Atelier principal du CERN. Ce nouveau « dummy-D » comporte six parties (trois au-dessus et trois au-dessous de l'ouverture centrale) et les deux parties centrales pourront être enlevées en vue de l'installation des tanks d'azote liquide. Comme les tanks eux-mêmes seront très lourds, il a également fallu installer des rails de support spéciaux sur les pôles magnétiques, afin de faciliter le montage et le démontage et de soutenir le tank supérieur pendant le fonctionnement.

Pour permettre aux protons polarisés de pénétrer dans la zone centrale, des trous ont été découpés dans le « D » et la gaine du « D » et il a fallu fabriquer un nouveau couvercle pourvu d'ouvertures temporairement obturées, afin de ménager des hublots latéraux au tank à vide. Ce matériel a été installé pendant l'arrêt. De plus, le futur parcours des protons polarisés à l'extérieur du cyclotron a été déterminé par alignement optique et marqué convenablement. Des socles ont été encastrés dans le sol, prêts à recevoir l'appareil tout entier lorsqu'il sera terminé.

Après l'achèvement d'autres travaux et le remontage de la machine, divers essais ont été exécutés sur le système ainsi modifié. Il a été constaté notamment que, lorsque les maquettes des tanks d'azote liquide ont

CERN/PI 47.2.64



2. Vu la radio-activité à l'intérieur du tank à vide du cyclotron, les travaux ont dû, ici, être exécutés rapidement et avec précision. Cette tâche n'est guère facilitée par l'étroitesse de l'entrefer séparant les deux pôles de l'aimant.

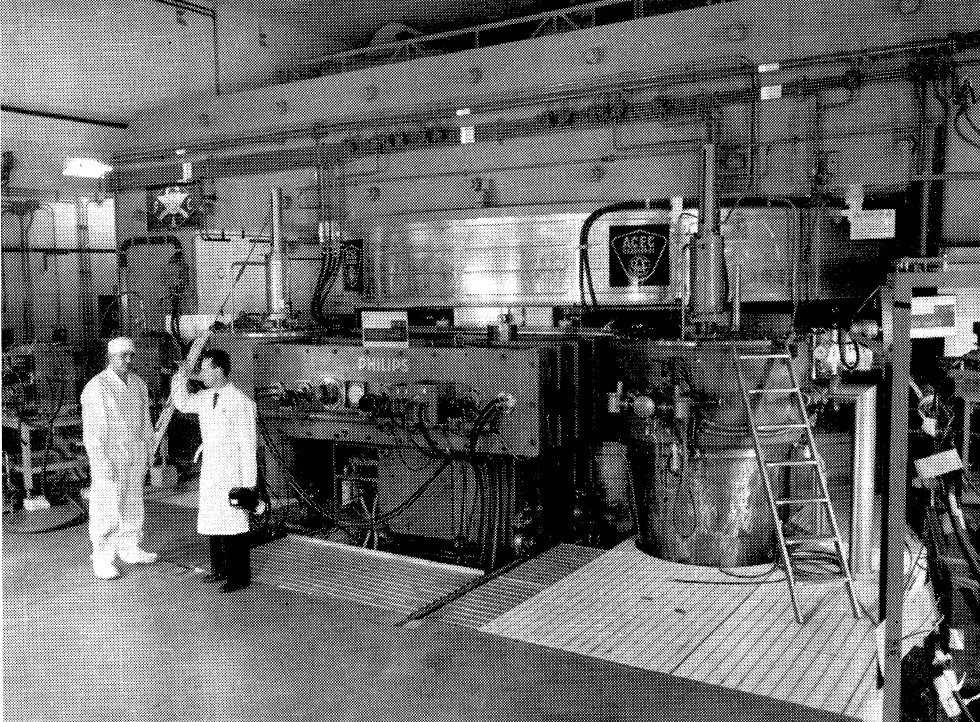
été installées dans la section centrale du « dummy-D », le courant du faisceau accéléré n'a pas diminué.

Mesures du champ magnétique

Différentes études effectuées au CERN et ailleurs ont montré que l'intensité et la pureté du faisceau accéléré dans un synchro-cyclotron dépendent grandement de la précision du champ magnétique au centre de la machine, où les protons ont une énergie faible et doivent être soigneusement guidés vers la bonne orbite. Bien que le champ magnétique du synchro-cyclotron ait été soigneusement étudié en 1955-56, lors de la construction de l'accélérateur, de nombreuses modifications ont été apportées depuis lors, dont il a fallu évaluer les effets. En outre, des mesures bien plus précises sont actuellement possibles et c'est pourquoi on a profité du long arrêt momentané pour procéder à une nouvelle inspection de la zone centrale.

Le système de mesure était basé sur « l'effet Hall » qui se produit lorsqu'une plaque parcourue par un courant est placée dans un champ magnétique, la direction du courant étant perpendiculaire aux lignes de force du champ. Il apparaît alors sur les faces de la plaque une tension transversale, perpendiculaire aussi bien à la direction du courant qu'à celle du champ, et proportionnelle au champ. On a utilisé des générateurs Hall en matériaux semi-conducteurs, arséniure d'indium ou antimoine d'indium, en raison de leur efficacité. Des mesures ont été faites dans le plan médian de l'entrefer du synchro-cyclotron pour des distances s'échelonnant entre 0 et 40 cm du centre et selon différents diamètres, de manière à couvrir toute la zone circulaire. Huit réglages différents du courant magnétique ont été employés dans la gamme de 1700 à 2400 A. Pour éliminer les effets de fluctuations dans l'ensemble du champ magnétique ou dans la température, le champ a été mesuré en chaque point par rapport à un point fixe au centre. Les différences entre les tensions fournies par les deux générateurs Hall ont été relevées automatiquement par enregistreur, pour faire ressortir la variation du champ le long de chaque diamètre déterminé.

En même temps, la valeur absolue du champ en un point déterminé a été mesurée avec une grande précision au moyen d'un fluxmètre basé sur le principe de la résonance magnétique nucléaire.



3. Contrôle des radiations : Rodolphe Deltenre, muni d'un contrôleur portatif de radiations, vérifie l'indication du dosimètre de poche remis à Marcel Stucki pour son travail à l'intérieur de la salle des machines du synchro-cyclotron. On distingue, sur toute la largeur de la photographie, l'aimant de l'accélérateur avec une des deux bobines d'excitation annulaires parfaitement visible. Le logement prévu pour le diapason et l'appareillage connexe apparaît entre les bobines au centre de la photographie ; à droite, on aperçoit le sommet de l'une des grandes pompes à diffusion, dont la partie inférieure est située dans la salle au-dessous.

Nouveaux câbles ; systèmes électrique et à vide

Un grand nombre de nouveaux câbles ont été posés pour le transport de courants forts ou de faibles signaux électriques émis par des appareils d'expérimentation. Partant du centre de distribution de câbles coaxiaux au-dessous de la salle centrale du SC, un jeu complet de câbles de signalisation a été installé pour servir la nouvelle salle de comptage N° 4. Dans l'autre direction, des câbles spéciaux à faible perte et des câbles à 30 conducteurs pour signaux de commande ont été posés entre le centre de distribution et la salle d'expérimentation des protons et quelques câbles supplémentaires ont été ajoutés pour le hall du cyclotron. Ici également, de nouveaux câbles ont été installés en prévision de la mise en service de la source de protons polarisés. Des câbles supplémentaires pour courants forts ont été installés pour l'alimentation des aimants de transport des faisceaux, de même qu'un nouveau tableau de distribution secondaire. Des travaux ont également été effectués sur les génératrices pour les électro-aimants et sur le système de ventilation des générateurs principaux de l'aimant du SC. Un nouveau système d'alarme*, destiné à révéler tout défaut de fonctionnement de n'importe quelle partie du SC, a été installé.

Le système prévu pour le dégazage de l'alimentation de l'eau de refroidissement a été terminé. Toutes les pompes hydrauliques et pompes à vide en service ont été révisées en détail et de nouveaux groupes de pompage ont été prévus pour être fixés aux tubes de faisceaux secondaires, de façon à pouvoir les vider, si nécessaire. Toujours dans le cadre des préparatifs concernant la source de protons polarisés qui nécessite un meilleur vide à l'intérieur du tank, un jeu complet de nouvelles conduites à vide, avec une résistance à l'écoulement plus faible, a été fixé entre les pompes mécaniques et les deux grandes pompes à diffusion.

Système à radio-fréquence

Au cours des années, les améliorations successives du synchro-cyclotron sont venues accroître le volume du matériel à radio-fréquence utilisé, et l'espace disponible est devenu toujours plus encombré. Durant le dernier arrêt, le système complexe de commandes de démarrage de l'installation a été remanié et remplacé en partie par de nouveaux éléments, de manière à occuper beaucoup moins de place. Parmi les nombreux

ses modifications apportées figurent celles intéressant le pupitre de commande principal, avec une nouvelle disposition des boutons de commande et indications de verrouillage, reliés au nouveau système d'alarme.

D'autres travaux, en plus de l'entretien général, ont porté sur l'installation de nouveaux éléments dans la nouvelle salle d'équipement, mise en service pour la première fois en 1962 et qui dispose actuellement d'une installation radio-fréquence modernisée, à peu près complète.

Juste avant l'arrêt, l'un des ressorts de soutien du diapason s'est rompu et, par mesure de prudence, les trois ressorts ont été remplacés. Depuis la première mise en service du diapason, l'ouverture minimum entre les branches et le stator relié au « D » a été réduite de plus de la moitié de sa valeur initiale, en raison de la gamme de fréquences plus étendue qu'exige actuellement l'accélérateur. La position du diapason demande donc un réglage plus précis qu'auparavant, et elle a été à nouveau soigneusement vérifiée. Il est intéressant de noter que ce diapason, usiné dans un seul bloc d'aluminium, totalise actuellement quelque 30 000 heures de service.

Cibles

Au cours des années de service du SC, de nombreuses unités de cibles ont été fabriquées et introduites dans la machine, pour servir de sources de faisceaux secondaires. Toutes ces unités ont été enlevées pendant l'arrêt, examinées et remises en état.

Ces travaux, comme de nombreux autres, ont été compliqués par la radio-activité des cibles. Afin de manipuler celles-ci en toute sécurité, une enceinte de protection en béton a été construite dans la salle des protons, et toute une équipe s'est acquittée des travaux nécessaires, au rythme de deux personnes à la fois, relayées toutes les six heures.

Contrôle des radiations

La totalité des travaux dans l'accélérateur ou à proximité de ce dernier ont d'ailleurs été freinés par la radio-activité résiduelle qui subsiste lorsque la machine est mise à l'arrêt. Comme personne ne doit s'exposer à recevoir plus qu'une certaine dose de radiations pendant une période déterminée, nombre des travaux ont été répartis entre un certain nombre de personnes et chaque opération dut être planifiée à l'avance avec le plus grand soin et surveillée étroitement pendant l'arrêt. Heureusement, l'intensité des radiations s'estompe

* F. HOFFMAN, Un nouveau système d'alarme général, CERN 64-7.

de façon constante à un taux que l'expérience passée rend assez bien connu. De plus, des registres sont tenus de la dose reçue par chaque personne du CERN exposée aux radiations. La collaboration étroite entre les groupes de la Division MSC, de la Physique de Santé et des ateliers, a donc permis d'établir le programme de travail, et chaque détail a été exécuté en temps voulu, sans heurt.

Au total, 217 personnes ont participé aux travaux, le gros de l'effectif étant fourni par l'Atelier principal et par l'équipe de nettoyage, sans compter les divers groupes SC. Avant de pénétrer dans la zone contrôlée, chacun recevait des vêtements de protection, un dosimètre de poche et un film-badge. A l'expiration de son temps de travail autorisé (calculé sur la base de son exposition totale antérieure), chaque travailleur était remplacé par un autre, chargé de poursuivre la tâche. La lecture du dosimètre indiquait en tout temps la dose supplémentaire de radiations reçue par le travailleur et des mesures effectuées ensuite sur le film-badge assuraient un nouveau contrôle. A l'intérieur du tank, à certains endroits où la radio-activité était au début assez élevée pour délivrer la dose admissible annuelle en moins d'une heure, les travaux n'ont pas commencé avant que presque un mois ne se soit écoulé après l'arrêt. Malgré cela, dans les zones les plus exposées, des périodes de travail de 10 à 15 minutes seulement par semaine et par personne ont pu être autorisées. De cette façon, l'exposition moyenne pendant les deux mois d'arrêt a été maintenue à moins de 0,6 rem, la valeur maximum de 3 rem étant admise pour une période de 13 semaines.

Comme indiqué plus haut, certaines pièces ont été enlevées de l'accélérateur et traitées dans des enceintes dressées à cet effet dans la salle des protons. On a procédé à une partie de l'usinage des pièces radio-actives en utilisant des instruments portatifs enfermés dans des enveloppes en plastique et des aspirateurs destinés à recueillir la poussière. La radio-activité de ces pièces n'était pas très grande, mais les instruments en question ne sont toutefois pas utilisés à des fins ordinaires, pour éviter tout risque de contamination des appareils construits pour les expériences.

Hormis la tâche de surveiller l'entrée et la sortie des personnes dans la zone contrôlée (683 contrôles en tout), le Groupe de Physique de Santé a procédé à des contrôles périodiques de l'intensité des radiations et

vérifié la présence éventuelle de poussières radio-actives dans l'atmosphère.

Progrès techniques

Bien que l'arrêt proprement dit ait pris fin le 19 février, l'accélérateur n'a pas été réutilisé pour des expériences de physique avant le 6 mars. La période intermédiaire servit à réaliser une série de recherches ayant pour objet essentiel d'augmenter l'intensité des faisceaux de particules secondaires sans accroître le courant de protons accélérés.

Il a été constaté que, pour des pions de faible énergie, l'intensité du faisceau secondaire en provenance d'une cible interne pouvait être pratiquement doublée par l'emploi d'une « fenêtre » plus mince dans la paroi latérale du tank à vide. La perte causée par la fenêtre est due à la diffusion de pions hors du faisceau ; un nouveau gain semble pouvoir être réalisé en plaçant sous vide le faisceau secondaire sur toute sa longueur. On a démontré également que l'intensité du faisceau de pions dépend, dans une large mesure, des dimensions du tube qu'il parcourt et on prévoit la possibilité de l'augmenter encore par un facteur 3 en portant le diamètre du tuyau de 14 à 20 cm. Cette dernière innovation surtout entraînerait un grand nombre de modifications de l'installation existante, mais on espère que ces diverses améliorations pourront être apportées au cours des quelque douze mois à venir.

Pour l'instant, le « régénérateur » et le « canal magnétique », qui à eux deux composent le système d'extraction du faisceau de protons primaire, ont été mis en place à l'intérieur du tank à vide de l'accélérateur. Pour juger de l'effet de cette installation sur l'intensité du faisceau lorsque celui-ci n'est pas éjecté mais dirigé sur cible interne, des essais de marche comparatifs de l'accélérateur ont été faits avant et après le remontage des pièces. Tandis que la présence du régénérateur ne produisait aucun effet, la présence du canal magnétique amputa le faisceau secondaire de quelque 40 %. On se propose à présent de modifier le montage du canal magnétique afin de le déplacer dans une région moins dangereuse lorsqu'il n'est pas en service.

Indépendamment des essais mentionnés plus haut et relatifs aux modifications prévues pour la source de protons polarisés, tous les ensembles de cibles qui avaient été nettoyés et remis en état ont été essayés dans l'accélérateur pendant cette période ●

Le mois dernier au CERN (suite)

proton-proton à de petits angles. A cet effet, il était nécessaire que le synchrotron fonctionne à basse intensité ; une fois l'accélérateur et la cible convenablement ajustés, il fallait que le faisceau soit coupé et les émulsions introduites dans une boîte à vide spéciale, et restent là durant environ une heure, jusqu'à ce que le vide complet soit rétabli et que le faisceau soit alors ramené immédiatement sur la cible. Il ne fallait que quelques impulsions du faisceau pour irradier l'émulsion, car un trop grand nombre aurait produit un bruit de fond excessif. Une expérience analogue a été effectuée en février par un groupe mixte de DESY (Hambourg) et du CERN, mais avec le faisceau de protons d'éjection rapide, dont la distribution très

étroite permettait l'emploi d'une cible d'hydrogène gazeux. Bien qu'effectuée à titre d'essai, cette exposition préliminaire a si bien réussi que ses résultats figureront à côté de ceux des expositions ultérieures dans les résultats définitifs. Une autre exposition d'émulsions, effectuée en mars dans le faisceau α , avait pour objet l'étude des hyperfragments produits par des kaons négatifs de 5 GeV/c.

A dater du 1^{er} mars, **Pierre Lapostolle**, chef de la Division MSC depuis le début 1961, a été affecté à la Division de Recherches sur les Accélérateurs où il dirige un nouveau Groupe d'études créé en vue d'étudier un **injecteur plus puissant pour le synchrotron à protons du CERN**. Actuellement, les protons sont injectés par l'accélérateur

linéaire à une énergie de 50 MeV et beaucoup sont perdus au cours des premiers tours dans le synchrotron à cause des fluctuations relativement grandes du champ magnétique de guidage encore faible et des effets de répulsion plus sensibles entre les particules au début du cycle. Pour surmonter ces difficultés, il a été proposé de construire un nouvel accélérateur linéaire permettant d'injecter des protons de 200 MeV. On doit pouvoir obtenir de cette manière un faisceau accéléré final d'une intensité bien plus élevée.

Le successeur de M. Lapostolle n'ayant pas encore été désigné, c'est **Pierre Germain**, en sa qualité de chef de la Division MSP, qui assumera également les fonctions de chef de la Division MSC jusqu'au mois de juin ●