

Nouvelles du CERN

Coupe du projet du préinjecteur de Saclay sous pression de 7 atmosphères d'hexafluorure de soufre. L'enceinte qui peut s'ouvrir à la jonction des plaques de base coulisse sur des rails. La colonne accélératrice de même que les générateurs HT sont fixés en porte à faux aux plaques de base, ce qui a posé des problèmes particuliers de résistance des matériaux. On a :

1 — Générateur HT; 2 — Electrode HT; 3 — Tube accélérateur; 4 — Virole centrale; 5 et 6 — Plaques de base; 7 — Ecran capacitif; 8 — Supports isolants; 12 — Electrode intermédiaire; 13 — Résistance de protection; 14 — Moteur; 15 — Arbre isolant; 16 — Alternateur 2000 Hz;

17 — Alternateur 400 Hz; 18 — Anneaux équipotentiels; 19 — Anode contenant la source à ions; 20 — Electrodes d'accélération; 21 — Cathode contenant le triplet de focalisation; 22 — Anneaux équipotentiels.

Préinjecteur de 1,4 MeV

Lorsque fut abordé le programme d'améliorations du synchrotron à protons de 28 GeV, on se préoccupa bien sûr des performances de l'accélérateur linéaire dont la première cavité accélératrice, ou plutôt ses premiers éléments, constitue un goulot d'étranglement. En effet, le débit de la source de protons, l'une des plus puissantes montées sur un accélérateur, est supérieur à ce que le linac peut accepter. On a tout d'abord pensé à redessiner le début de la cavité N° 1, mais il est finalement apparu qu'un préinjecteur de plus haute énergie que l'actuel (de 500 keV) serait une meilleure solution. Par ailleurs, l'étude d'un préinjecteur de haute énergie présente un intérêt dans le cadre du projet de 300 GeV.

Des études ont été entreprises par le Groupe Linac du PS en collaboration étroite avec l'Institut de Physique nucléaire de Lyon et Saclay, qui ont conduit à définir un préinjecteur de 1,4 MeV.

La collaboration avec Lyon portait principalement sur le tube accélérateur, l'IPN fournissant une partie des moyens d'essais dont un imposant hall servant de cage de Faraday et un générateur de 1,5 MeV,

et le CERN apportant le dispositif expérimental et son expérience dans la construction et l'exploitation des tubes accélérateurs. En effet, l'IPN souhaite pour son projet d'accélérateur linéaire d'ions lourds un tube accélérateur de 1 MeV utilisant les techniques très élaborées mises au point au CERN pour la construction du préinjecteur actuel de 500 keV (conception très propre et techniques de collage particulières). Ces techniques ont du reste fait école puisqu'elles ont été reprises à Brookhaven et commercialisées récemment par HVEC en vue de la fourniture à Heidelberg de plusieurs tubes pour son linac à ions lourds.

La collaboration avec Saclay, née spontanément des liens étroits qu'entretiennent les deux centres, permettra au CERN de tirer parti de l'expérience accumulée par Saclay lors de la construction du nouveau préinjecteur très remarquable de Saturne (voir COURRIER CERN vol. 9, page 138).

L'enceinte pressurisée

L'enceinte sera faite d'un cylindre horizontal d'acier de 5,40 m de long et d'environ 2 m de diamètre qui contiendra (voir fig. 1) deux générateurs HT de 750 kV en série, la source et la colonne accé-

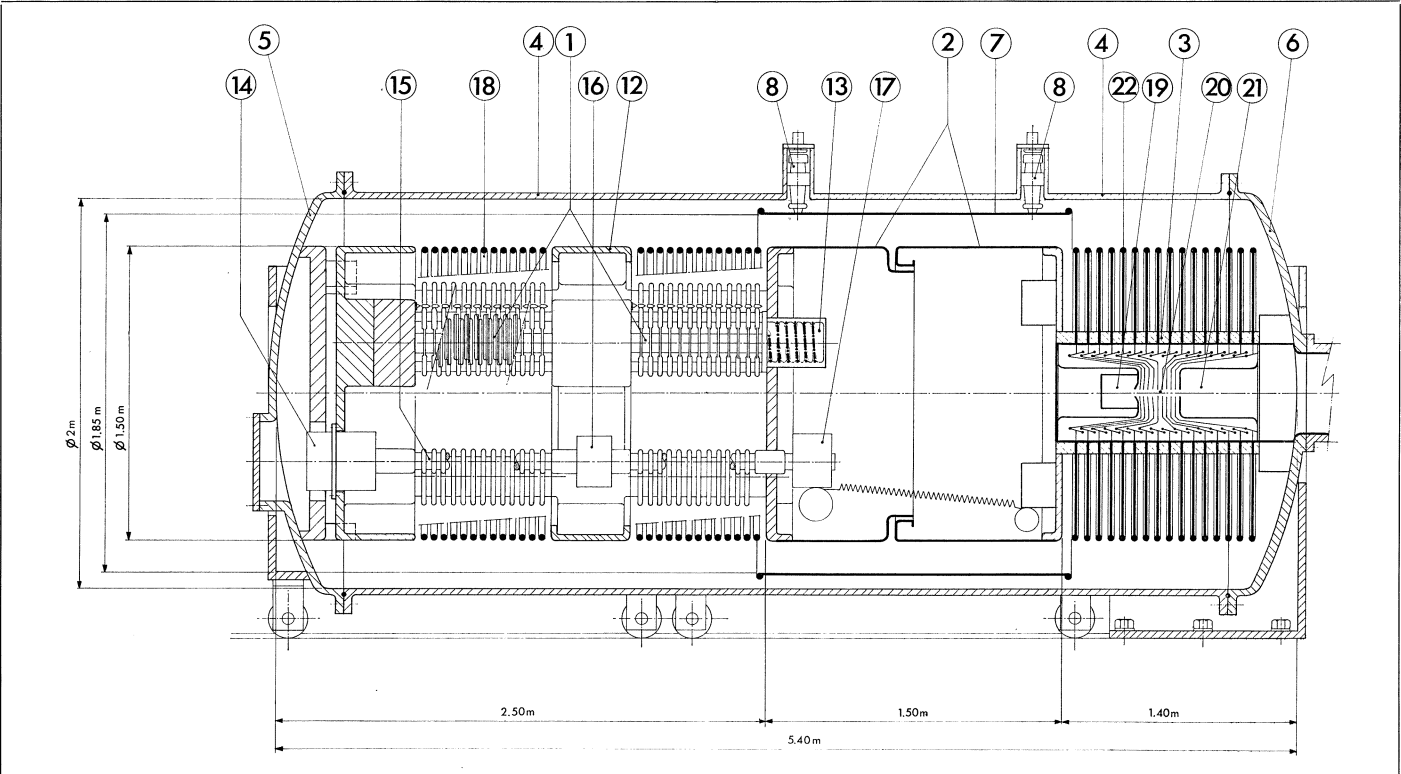
lératrice, un alternateur (à 2000 Hz) entraîné par un arbre isolant fournissant l'énergie nécessaire à l'un des générateurs HT (le premier, dont l'un des pôles est à la masse, étant alimenté par une source au potentiel de masse), un autre alternateur à 400 Hz entraîné par le même arbre et servant aux différentes alimentations de la source. L'enceinte pourra s'ouvrir à la jonction des plaques de base avec le corps central. Le sous-ensemble colonne accélératrice restera fixe par rapport au linac alors que le corps, mobile sur des rails, sera solidaire du sous-ensemble générateur.

Le milieu ambiant consiste en un gaz isolant comprimé et très sec, ce qui impose une électronique conçue pour résister aux surpressions et pour éviter l'absorption d'eau pendant les ouvertures.

Le gaz retenu, du SF₆ (hexafluorure de soufre) à 7 atmosphères, a déjà été utilisé pour l'isolation de générateurs HT où les gradients de champ sont comparables.

La source et ses alimentations

La source d'ions doit débiter un courant d'environ 500 mA pendant 100 µs avec une intensité d'environ 200 mA/cm² dans une émittance normalisée inférieure à 4,5 π mm



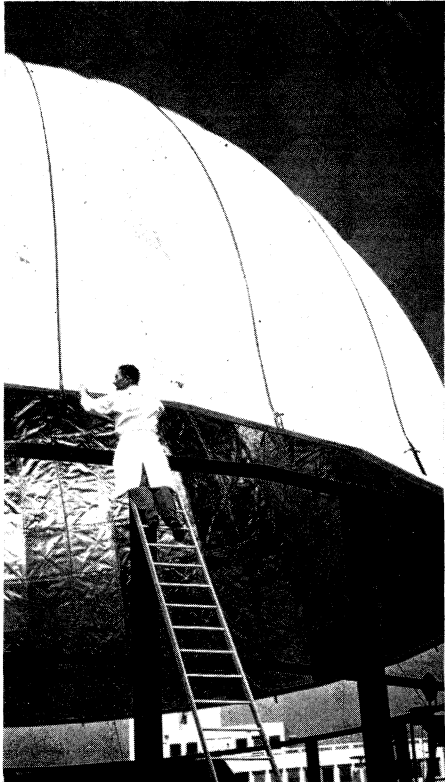
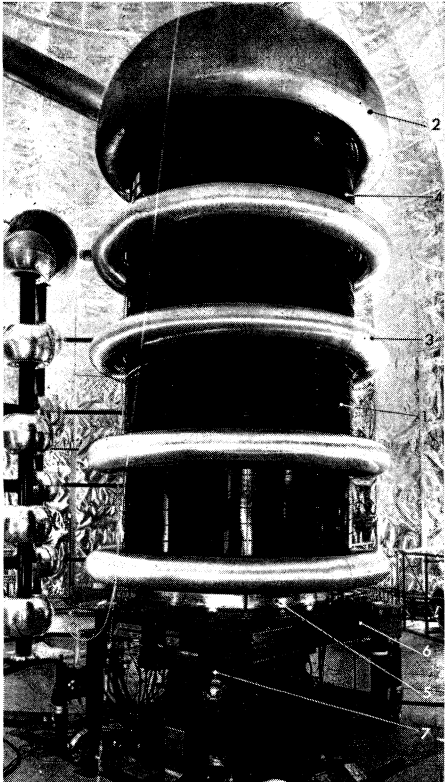
Comme on ne dispose pas d'une enceinte pressurisée pour les essais de la colonne accélératrice, on a placé celle-ci sous une cloche remplie de SF 6 à la pression atmosphérique. Le gaz non pressurisé est suffisant pour l'isolation extérieure de la colonne où le gradient de paroi externe ne dépasse pas 12 kV/cm. On a: 1 — Enceinte isolante; 2 — Electrode HT supérieure; 3 — Anneaux anticorona; 4 — Résistance de répartition dans l'air; 5 — Cône intérieur; 6 — Châssis support; 7 — Groupe de pompage.

(Photo IPN)

Mise en place sur un bâti métallique de la coupole en mousse de polyuréthane et polyester constituant le toit de l'énorme cage de Faraday où ont lieu les essais de la colonne accélératrice mise au point par le CERN et l'Institut de Physique Nucléaire de Lyon.

Cette coupole, très légère mais quand même rigide, est d'un prix de revient très bas par rapport à la construction métallique. La technique de moulage par contact utilisée est due à l'IPN.

(Photo Huguenin)



× mrad pour un taux de répétition de 2 Hz. Ces performances sont atteintes par la source actuelle du PS qui sera donc réutilisée pratiquement telle quelle, à l'exception de l'électronique qui sera miniaturisée. L'hydrogène nécessaire à la marche de la source est stocké dans une bouteille en métal léger qui suffit pour 3000 heures de fonctionnement.

Les informations, commandes et contrôles seront transmis par liaisons à infrarouge selon une technique déjà employée au CERN (voir COURRIER CERN vol. 9, page 103).

Le tube accélérateur

C'est la partie du projet qui nécessite l'étude expérimentale la plus approfondie en raison du niveau plus élevé de la tension et des gradients.

La structure accélératrice n'est pas définitivement choisie; elle pourrait être du type Pierce hybride qui, tout en offrant une grande souplesse, reste satisfaisante du point de vue de l'optique du faisceau. Elle serait alors du type Pierce (champ accélérateur croissant) jusqu'à 700 keV, et à champ constant au-delà. Une structure Pierce pure aurait conduit à des gradients de champs prohibitifs en fin d'accélération.

Les électrodes, au nombre de 7 à 10 (nombre qui sera précisé à l'issue des essais), sont toutes en titane, métal qui a donné de très bons résultats dans le préinjecteur actuel. Affinées en leur centre afin de s'approcher le plus possible de l'équipotentielle théorique, elles sont supportées par trois barres ovalisées et laissent de ce fait un espace de pompage important pour le débit d'hydrogène de la source et le dégazage des électrodes en formation HT.

Le vide qui doit atteindre 2×10^{-4} torr de mercure en présence d'un débit important d'hydrogène est assuré par une pompe

de 1000 l/s au minimum; plusieurs types sont actuellement à l'essai.

Le générateur HT

Il consiste en deux générateurs de 750 kV, répliques pratiquement inchangées de ceux du préinjecteur de Saclay; ils devraient être capables de débiter un courant continu de 500 μ A et un courant de pointe dix fois supérieur.

Ils sont du type cascade série à redresseurs au sélénium et capacités céramiques, et isolés par une résistance de protection qui limite le débit en cas de claquage.

Le pôle négatif du premier générateur est à la masse, ce qui permettra de l'alimenter avec une alimentation extérieure. L'alimentation du deuxième générateur est assurée par un alternateur 2000 Hz placé au potentiel de + 750 kV et entraîné par le même arbre que l'alternateur à 400 Hz de la source.

La compensation de la charge de faisceau, c'est-à-dire de la baisse de tension consécutive au débit du faisceau (qui peut atteindre 110 kV) est assurée par une alimentation extérieure. Elle établit entre une « chemise capacitive » disposée autour de la source et la masse une charge qui croît proportionnellement au courant de décharge (lui-même proportionnel au courant de faisceau).

La régulation de cette tension de compensation est assurée par une boucle d'asservissement commandée par un transformateur de courant de faisceau.

Etat actuel de l'essai Berthe d'un prototype de tube accélérateur

L'expérimentation du tube accélérateur à 1,2 MV (compromis entre l'énergie du tube du CERN et celle du tube de Lyon) porte le nom d'essai « Berthe ».

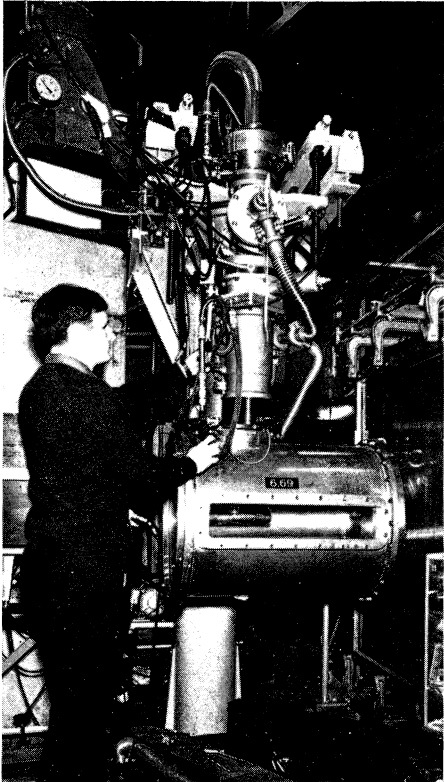
La participation du CERN porte sur la construction du tube et du dispositif expérimental et l'envoi de personnel. Tandis que Lyon, qui a construit un hall d'essai, fournit un générateur de 1,5 MV et du personnel.

Le hall d'essai en forme de coupole de 16 mètres de diamètre et de 12 mètres de hauteur utilise une technique originale de « moulage au contact ». La construction comprend une légère structure métallique habillée d'une enveloppe moulée de fibres de verre et mousse rigide armée de polyester. Elle se caractérise par son faible poids et son prix réduit. Sa face intérieure est revêtue d'aluminium.

Le prototype de tube accélérateur de 18 sections est de type CERN et contient l'anode et la cathode mobiles ainsi que les électrodes intermédiaires à essayer. Pour les essais au-dessus de 850 kV, il est placé dans une enceinte isolante de SF6 à la pression atmosphérique (fig. 2).

Les essais ont porté d'abord sur la tenue HT dans le vide de 2 électrodes en alliage de titane en fonction de leur espacement. Des champs moyens de 200 kV/cm sur 1 cm et de 130 kV/cm sur 6 cm ont pu être tenus. Puis un modèle de structure accélératrice à 5 électrodes (anode, cathode, 3 électrodes intermédiaires avec trou central pour le faisceau futur) a été mis sous tension.

Le cap de 1 MV a été passé le 20 janvier 1970 avec une certaine émotion. Une semaine plus tard, après réajustement des éclateurs de protection longitudinaux extérieurs du tube accélérateur, 1230 kV ont été atteints sans difficulté, avec un courant interélectrodes continu inférieur à 0,01 μ A produisant un taux de rayonnement inférieur à 0,1 mrad/h à une distance de 10 mètres. Des essais de durée sont venus confirmer ces résultats démontrant que les électrodes de titane, la technologie avancée du tube accéléra-



CERN/PI 1.2.70

teur, l'emploi d'un système de vide ultra-propre (avec pompes turbo-moléculaires dans ce cas), permettent d'obtenir les performances requises d'un tube accélérateur de haute énergie à fort gradient d'accélération.

Après une période d'arrêt, à Pâques 1970, consacrée à des perfectionnements divers, les essais devraient se poursuivre jusqu'aux vacances d'été 1970.

Cible à hydrogène autonome

Pour nombre d'expériences de physique réalisées auprès des accélérateurs de particules, on a besoin de cibles constituées par de l'hydrogène liquide. Cette substance est retenue en raison de la structure très simple de ses atomes (composés d'un seul proton autour duquel circule un unique électron). En effet, comme c'est le cas de la plupart des expériences, on s'intéresse à la collision d'une particule incidente (un proton accéléré dans la machine ou des particules secondaires telles que des pions ou des kaons) avec les protons de la cible. Si donc l'atome du corps constituant la cible a une structure complexe (plusieurs protons, plusieurs neutrons et plusieurs électrons), l'influence des forces de liaisons très considérables qui existent entre les protons et les neutrons rend les réactions entre les particules incidentes et les protons beaucoup plus difficiles à étudier; par ailleurs, il faut utiliser un système de filtrage éliminant les particules résultant des collisions des particules incidentes avec les neutrons et électrons ce qui complique d'autant les expériences, ou même les rend impraticables.

L'hydrogène liquide constituant la cible est contenu dans un petit flacon cylindrique horizontal lui-même placé sur la trajectoire du faisceau.

Vue prise au CERN au début de février de la cible à hydrogène de l'expérience CERN/Serpoukhov, essayée dans les conditions de fonctionnement définitives.

A l'intérieur de l'enceinte à vide, on peut voir à travers la fenêtre en mylar le petit cylindre noir horizontal qui constitue la cible proprement dite. En haut à gauche, placé sur un bloc en béton se trouve le liquéfacteur. La circulation entre ce dernier et la cible s'effectue par gravité.

Or l'hydrogène ne reste liquide (à la pression normale) que si la température est de 20,4° K. Malgré les précautions prises pour l'isolation thermique, il s'évapore lentement; il faut donc réapprovisionner régulièrement la cible en hydrogène liquide.

Dans la majorité des cas, on utilise pour cela des bonbonnes d'hydrogène liquide isolées thermiquement dites « dewars », qui sont reliées à la cible par des tubulures, tandis qu'on laisse s'échapper à l'air libre, par un évent, le gaz sortant de la cible.

Mais, on le sait, le mélange hydrogène plus air est fortement détonnant; si une étincelle se produit en présence d'une fuite, c'est souvent l'explosion. Donc, un dewar de près de 200 litres à proximité d'une expérience est en danger — d'autant plus que ce dewar, il faut le changer périodiquement et que chaque raccordement doit être fait avec des précautions particulières. Enfin, l'hydrogène ainsi perdu coûte cher.

Pour simplifier les problèmes de sécurité on a conçu des cibles à hydrogène où l'hydrogène circule en circuit fermé et se recondense une fois gazeux dans un échangeur où ses calories excédentaires sont prélevées par une circulation d'hélium liquide qui n'est pas explosif. Mais la consommation d'hydrogène se trouve remplacée par une consommation d'hélium (encore plus cher que l'hydrogène) et si les problèmes de sécurité sont simplifiés, il n'en reste pas moins qu'on est astreint à changer périodiquement les dewars; la solution idéale est donc de se rendre indépendant de toute source extérieure d'approvisionnement.

C'est celle qui a été adoptée pour la cible de l'expérience du CERN qui sera montée auprès de l'accélérateur de Serpoukhov (voir page 78 de ce numéro). Cette cible qui ne consomme ni hydrogène ni hélium a été retenue non seulement en raison de la simplification des problèmes de sécurité, (elle ne contient en effet qu'un litre d'hydrogène), mais aussi en raison de sa grande simplicité de fonctionnement d'autant plus nécessaire qu'il est difficile de prévoir exactement quelles seront dans un laboratoire dont on n'est pas le familier, les possibilités exactes d'approvisionnement.

Ce dispositif réalisé au CERN par le groupe Mazzone est, comme l'indique la photo, constitué de deux éléments distincts: d'une part la cible proprement dite entourée d'une enceinte à vide percée de fenêtres en mylar très mince (12/100 mm)

pour le passage vers l'avant et sur les côtés des particules émergentes, et d'autre part, un liquéfacteur-réfrigérateur utilisant l'hélium comme fluide échangeur, et qui a pour but de reliquéfier l'hydrogène gazeux sortant de la cible. Ces deux éléments sont reliés par deux tubulures isolées par du vide où la circulation de l'hydrogène s'effectue par gravité. Le vide qui assure l'isolement du liquéfacteur aussi bien que de la cible et des tubulures qui les séparent est fourni par une pompe à diffusion d'huile qui donne environ 10⁻⁶ torr.

Avant son départ, cette cible (de même que tous les autres constituants de l'expérience) a été essayée au CERN dans les conditions réelles de fonctionnement en attendant son démontage et son expédition pour Serpoukhov.

Les physiciens qui conduisent l'expérience sont enchantés car pour eux, si ce n'est pour les pions incidents, la cible a tout simplement cessé d'exister.

Essai d'automation au PS

Une expérience peu ordinaire a été réalisée le 29 janvier 1970 au cours d'une des séances d'étude du synchrotron à protons, dans le cadre des recherches actuelles du groupe « Contrôles » sur l'utilisation des calculateurs en ligne dans le domaine du contrôle des accélérateurs.

Après avoir coupé toutes les corrections dipolaires qui guident le faisceau dans le plan horizontal, celui-ci ne pouvait plus être accéléré et ne faisait qu'une trentaine de tours dans la machine (environ 200 μ s).

Après des optimisations successives, le calculateur IBM 1800 rattaché à la salle de commande du PS, obtenait à nouveau un faisceau normalement accéléré d'une intensité de 96 . 10¹⁰ protons par impulsion, alors qu'avant le début des essais l'intensité était d'environ 80 . 10¹⁰ protons par impulsion.

Le programme utilisé optimise l'intensité du faisceau circulant à un instant du cycle en modifiant des éléments définissant la trajectoire d'injection dans le plan horizontal (28 enroulements dipolaires et 3 inflecteurs électrostatiques).

Si cette expérience ne préfigure pas l'opération de demain, elle permet de réaliser l'assistance que peut apporter l'utilisation des calculateurs pour le contrôle des accélérateurs. Des travaux sur la question sont en cours dans plusieurs autres laboratoires (voir COURRIER CERN