

Physique nucléaire

M. Louis LEPRINCE-RINGUET, membre de l'Institut
(Académie Française et Académie des Sciences), professeur

Les gros appareillages de la physique des particules et leurs orientations expérimentales. Les années de 1970 à 1972 sont des années de profonde transformation dans les équipements destinés à la physique des particules fondamentales. Il y a d'une part des développements dans les moyens d'accélération et dans l'obtention d'interactions nucléaires à énergies très élevées et d'autre part l'apparition d'instruments qui peuvent être d'un type nouveau. Le cours examine ces deux grands chapitres sous l'aspect de la physique : la première partie décrit plus particulièrement les développements récents dans les moyens d'accélération, la deuxième est une revue du programme expérimental auprès des anneaux de stockage et d'intersection du CERN (ISR).

Au premier chapitre, description des différents types de synchrotrons. On suppose connu le principe de cet appareil et on passe en revue les problèmes généraux de son fonctionnement en commençant par le synchrotron à gradient alterné. Il s'agit des problèmes de focalisation (verticale et radiale) et du cas particulier des appareils à focalisation forte comme celui du CERN, l'AGS de Brookhaven et l'appareil de Serpukov. On étudie en particulier la zone de stabilité compte tenu des oscillations verticales et radiales; on étudie aussi la stabilité de phase.

Dans le même chapitre on examine le principe des autres types de synchrotrons : il y a le Z.G.S. (zéro gradient synchrotron) qui existe pour 12,5 GeV au Laboratoire américain d'Argonne. Il y a aussi les accélérateurs à champ fixe et gradient alterné (FFAG) utilisant un champ magnétique constant dans le temps mais variable dans l'espace. La réalisation de ces synchrotrons posent de nombreux problèmes, qu'ils soient à secteurs en spirale ou à secteurs radiaux.

Le chapitre 2 décrit les anneaux de collisions. Il est ouvert par le théorème de Liouville et par ses applications aux faisceaux de particules

chargées soumises à une accélération. L'application du théorème de Liouville dans le cas des accélérateurs et des anneaux de collisions est importante et délicate. Cette application est discutée.

Après cette introduction théorique vient la description générale des ISR avec leurs paramètres, à savoir les caractéristiques des régions d'intersection, qui sont au nombre de 8 avec un angle de $14,8^\circ$, la circonférence de 942,5 mètres et l'énergie maximale de chacun des faisceaux de 28 GeV. Un problème important est celui de la stabilité des faisceaux et un autre celui du remplissage des anneaux. Chaque anneau se remplit par paquets et doit pouvoir en accepter 400, soit, avec l'intensité actuelle du synchrotron, 4×10^{14} protons. Le remplissage comporte trois phases :

- 1) capture des protons injectés dans les puits du système d'accélération,
- 2) accélération rapide et décroissance de la fréquence jusqu'à ce que les protons soient proches de leur position finale,
- 3) approche lente de la position finale, le voltage haute fréquence étant suffisamment faible pour ne pas perturber les paquets précédents.

Le problème du remplissage par paquets successifs est difficile et l'on n'est pas encore parvenu à l'effectuer complètement de façon satisfaisante. L'on a néanmoins réussi à obtenir une intensité d'environ 3 ampères de protons dans chacun des deux anneaux. On souhaite arriver à un courant maximum d'environ 20 ampères par anneau.

Lorsqu'un proton de 25 GeV en rencontre un autre de même énergie arrivant en sens inverse, l'énergie disponible dans la collision est de 50 GeV. Il faudrait un synchrotron de 1340 GeV fonctionnant de façon normale, c'est-à-dire avec cible fixe, pour obtenir la même valeur de l'énergie disponible.

L'un des problèmes délicats est celui de la luminosité, L , donnée par la formule

$$L = \frac{I_1 I_2}{v e^2} \frac{1}{h \sin \frac{\theta}{2}}$$

où I_1 et I_2 sont les deux intensités de protons, v la vitesse des particules, h la hauteur des faisceaux et θ l'angle de collision. La luminosité est reliée au nombre d'interactions dans une intersection par la formule

$$\frac{d \mathcal{N}}{d t} = L \times \sigma$$

Le problème de la durée de vie des faisceaux est délicat. Cette durée dépend des diffusions (nucléaire ou coulombienne) des protons sur les noyaux du gaz résiduel et aussi d'autres phénomènes comme les oscillations des faisceaux. Le vide doit être excellent (10^{-11} torr) et la réalité actuellement correspond bien à la prévision.

A la fin de ce chapitre le schéma du projet d'anneau permettant la collision d'antiprotons sur protons, projet en construction à Novosibirsk, est décrit. Il s'agit de particules d'énergie de 25 GeV, mais les problèmes restent encore à résoudre.

Le chapitre 3 indique l'état des connaissances sur les interactions à très haute énergie. Il s'agit d'expériences à des énergies de plusieurs centaines de GeV obtenues grâce aux rayons cosmiques, ou de récentes expériences faites aux plus hautes énergies des synchrotrons actuels, c'est-à-dire jusqu'à 70 GeV à Serpukov. Ces résultats portent sur la section efficace totale proton-proton, sur la multiplicité des particules chargées en fonction de l'énergie, sur la distribution des moments transverses à diverses énergies. On peut prévoir ces résultats par un modèle thermo-dynamique (Hagedorn) qui est décrit et discuté. Ce modèle permet de prédire le spectre des particules produites pour l'énergie des ISR. Il est attrayant, du fait qu'il ne contient pas de paramètres arbitraires. Sa comparaison avec l'expérience introduit une température T° correspondant à environ 150 MeV et qui apparaît comme une température maximum limite : l'énergie des particules capables d'exister dans un domaine de grande densité d'énergie ne peut pas dépasser cette valeur. Si bien que ce modèle prévoit la création de particules plutôt que l'augmentation de leur énergie au delà de 160 MeV ($1,8 \cdot 10^{12}$ degrés K).

*
**

Les chapitres suivants du cours décrivent les expériences prévues aux intersections des ISR.

Au chapitre 4 on regroupe les projets d'expériences sur les sections efficaces de diffusion élastique proton-proton. Après quelques rappels sur le formalisme de la diffusion, on décrit les expériences prévues. En injectant dans les ISR deux faisceaux d'énergie égale variant entre 10 et 28 GeV, on peut mesurer la section efficace totale proton-proton à des énergies qui seraient pour une machine conventionnelle de 200 à 1 800 GeV. Cette mesure sera un test crucial pour tout modèle asymptotique.

Une première expérience comporte deux séries de systèmes d'hodoscopes symétriques détectant les particules chargées. On peut ainsi couvrir une diffusion à petits angles de 9 à 40 milliradians, une autre région de 25 à 90 mrd et une troisième de 70 à 500 mrd. Un autre système d'hodoscopes

couvre les grands angles. Pour passer du nombre d'interactions à la section efficace en millibarns, il faut mesurer la luminosité, ce que l'on envisage en utilisant un système de chambres à étincelles capables de déterminer les distributions de particules dans les deux faisceaux. On prévoit une précision de 1 à 2 %.

Mesure de la section efficace élastique. Deux expériences sont prévues. La première étudie la diffusion élastique à angles très faibles (1,5 à 10 mrd), la deuxième à des angles de 10 à 100 mrd. A très petits angles la diffusion est dominée par l'interaction coulombienne, et, dans la première expérience, il s'agit d'une région intermédiaire dans laquelle les amplitudes de diffusion coulombienne et nucléaire sont du même ordre de grandeur et interfèrent. L'expérimentation pour une diffusion à très petits angles est délicate, car les particules ne s'écartent que très peu des faisceaux de protons. On utilise en particulier des aimants « septum » qui produisent un champ magnétique très localisé dans l'espace. Pour les petits angles on espère obtenir un événement par seconde.

L'expérience à grands angles permettra entre autres de déterminer la variation de la pente du pic de diffraction en fonction de l'énergie, ce qui est un test important des modèles de Regge. En effet, la dominance de l'échange du Pomeron à haute énergie impose que les pentes des pics de diffraction varient de la même façon, quelle que soit la section efficace considérée.

Le chapitre 5 décrit les expériences sur la production d'isobares. Les processus les plus simples à étudier après les diffusions élastiques sont les réactions à quasi deux-corps dans lesquelles on produit un isobare qui se désintègre en pion-nucléon. Il est intéressant d'étudier aux énergies des ISR toutes les données déjà obtenues avec les accélérateurs conventionnels à des énergies plus faibles : décroissance rapide des sections efficaces de production pour les isobares $I = 3/2$, valeur relative des sections efficaces selon le spin et la parité, pentes des sections efficaces différentielles avec le spin et l'isospin. Les expériences proposées utilisent un gros système d'analyse d'intérêt général en cours de réalisation, le SFM (Split — Field — Magnet) qui est un grand aimant à « champ coupé » ; ce grand aimant sera un appareil d'usage général pour le travail expérimental auprès des ISR, il sera installé tout autour de l'intersection n° 4 avec un champ magnétique vertical de 1,8 Tesla de signe opposé sur chaque côté d'intersection. Cette disposition a l'avantage d'être en grande partie autocompensatrice, de sorte que l'effet sur le faisceau de protons peut être relativement bien corrigé par un simple aimant compensateur additionnel. Le volume entre les pôles, 1 m de hauteur, 5 m de longueur et une largeur de 2 à 3 m, permettant l'installation d'un important équipement d'analyse

dans le champ magnétique. L'expérience sur la production des isobares utilise divers dispositifs de comptage (Čerenkov, hodoscopes...) et aussi un grand compteur de neutrons constitué de sandwiches de plaques d'acier, de scintillateurs et de chambres à étincelles de façon à permettre de localiser avec précision le point d'intersection du neutron et de déterminer sa direction.

Le chapitre 6 examine la production de particules stables. On s'attend à une multiplicité moyenne des particules chargées de l'ordre de 14 : les événements à haute multiplicité constitueront donc l'essentiel des interactions. La mesure du spectre des particules stables est très importante, car elle permet de tester les modèles proposés (modèle thermodynamique, modèle des boules de feu, pionisation). Trois expériences sont prévues qui couvrent différentes régions angulaires : l'une de 20 à 150 mrd, une autre de 100 à 300 mrd, enfin une expérience à grands angles de 30 à 90° pour des énergies supérieures à 5 GeV. Un autre but de cette expérience est l'étude du spectre des pions et kaons de haute énergie à 90° nécessaire pour calculer le fond des muons émis à grand transfert dans la recherche du méson W. L'étude de la production des particules à grands angles est également intéressante dans la recherche des particules très lourdes qui nécessitent des collisions très inélastiques.

Le chapitre 7 étudie les expériences pour la recherche du boson intermédiaire et des dileptons. Le boson intermédiaire a été recherché sans succès dans les expériences neutrino qui ont donné une limite inférieure de sa masse à 1,8 GeV. On l'étudie par l'observation des μ de grand transfert. L'étude des bosons vectoriels va donc consister en celle de la distribution des moments transverses de muons provenant d'une interaction. Mais il faudra faire attention aux autres causes de production des muons. Ils sont détectés par un télescope à parcours couvrant un grand angle solide, constitué de compteurs, chambres à étincelles et absorbants. Ces derniers sont formés de fer magnétisé qui permet de déterminer le signe, et dans une certaine mesure le moment, des muons.

Pour ce qui est des dileptons, les études de masses invariantes de groupes de particules ont été très utiles pour la découverte des nouvelles résonances. Aux ISR la masse invariante peut être reconstruite sans champ magnétique si les particules sont des muons (le parcours détermine l'énergie). Pour les électrons, l'intensité de l'impulsion dans le Čerenkov à verre au plomb est une bonne mesure de l'énergie. On se propose d'étudier le spectre de masse des paires d'électrons et d'y chercher des pics.

Le dernier chapitre discute les expériences de recherche des quarks et du monopole magnétique. Les anneaux d'intersection du CERN peuvent en principe détecter les quarks jusqu'à la masse de 28 GeV, mais l'espoir de

trouver des quarks de masse élevée est très faible si l'on en croit le modèle thermodynamique de Hagedorn prévoyant un taux de production qui décroît exponentiellement avec la masse. Néanmoins une expérience est prévue pour chercher des particules de masse élevée et pas obligatoirement de charge fractionnaire. Pour le monopole magnétique, prévu par Dirac, et qui apporterait à l'électromagnétisme une symétrie qui lui manque actuellement, on envisage soit une expérience d'ionisation dans l'émulsion (le monopole fait perdre par ionisation une énergie nettement plus élevée que des particules chargées), soit une expérience permettant d'emprisonner les monopoles dans un matériau magnétique en entourant une des intersections de fer et, après une longue exposition, en effectuant sur ce fer des mesures magnétiques précises.

SÉMINAIRES

11 janvier 1971, P. LAPOSTOLLE (C.E.R.N., Genève), *Limitation d'intensité dans les accélérateurs et anneaux d'intersection* ;

18 janvier, E. BARRELET (Laboratoire de Physique, École Polytechnique), *Qui a peur de $\pi \pm p \rightarrow \pi \pm p$?* ;

25 janvier, A. PEVSNER (C.E.R.N., Genève et John Hopkins University, U.S.A.), *Processus cohérents — Interactions dans le deutérium* ;

1^{er} février, P. MUSSET (Laboratoire de Physique, École Polytechnique et C.E.R.N., Genève), *Interactions profondément inélastiques des neutrinos* ;

8 février, Y. GOLDSCHMIDT-CLERMONT (C.E.R.N., Genève), *Expérience à haute statistique dans K^+p . Collaboration internationale* ;

15 février, M. CROZON (Collège de France et C.E.R.N., Genève), *Les instruments de mesure électroniques : performances actuelles et développements possibles* ;

22 février, A. MULLER (C.E.N., Saclay), *Expérimentation avec Mirabelle* ;

1^{er} mars, A. REALE (Frascati, Rome), *Résultats expérimentaux récents obtenus auprès des anneaux de stockage « ADONE » à Frascati* ;

22 mars, C. FRANZINETTI (Université de Turin), *Interactions inélastiques de neutrinos à haute énergie*.

CONFÉRENCES DE LOUIS LEPRINCE-RINGUET EN 1971

10 janvier, *Lille*, Université Populaire, *Les remises en question : aspects scientifiques et aspects humains* ;

13 janvier, *Bruxelles*, L'entreprise de demain, *L'Europe face aux problèmes scientifiques* ;

14 janvier, *Bruxelles*, Les Amitiés Françaises, *L'homme et le développement scientifique* ;

27 janvier, *Corbeil-Essonne*, Cadres I.B.M., *Progrès des sciences et des techniques, leur apport au développement de la civilisation* ;

2 au 3 février, *Alger*, Institut d'Etudes Nucléaires, — *Science et Religion* ;
— *Connaissance des particules fondamentales de la matière, anti-matière, résonances* ;

14 février, *Cannes*, Association de défense des sites et de l'environnement de la Côte d'Azur, *Bienfaits et méfaits de la science dans l'évolution de l'humanité* ;

25 février, *Paris*, Ecole des Attachés de Presse, *Le C.E.R.N.* ;

26 février, *Cannes*, Conférence de l'Enseignement Supérieur, *Importance de la recherche fondamentale et de ses applications* ;

27 février, *Menton*, Les grandes conférences de Menton, *Importance de la recherche fondamentale et de ses applications* ;

3 mars, *Rouen*, Ecole Supérieure de Commerce, *Attitude d'esprit devant la vie actuelle* ;

17 mars, *Paris*, Lycées Condorcet et Racine, *Science et Foi* ;

23 mars, *Paris*, Halles, Pavillon 2000, *Les scientifiques devant le christianisme* ;

30 mars, *Versailles*, Ecole Sainte-Geneviève, *Les scientifiques devant le christianisme* ;

Du 4 avril au 2 mai, *Madagascar* : Tamatave, Fianarantsoa, Tananarive, *L'évolution de la science en France et en Europe* ;

Antsirabe, *La vie des scientifiques* ;

Ile Maurice, Université Populaire, *Les Particules fondamentales de la matière* ;

— Port-Louis, *Science et civilisation* ;

Tanzanie — Dar es Salam, Université, *La physique des particules fondamentales* ;

— Alliance Française, *Science, technique et civilisation* ;

Kenya, Nairobi, *The Science evolution of France and Europe* ;

10 mai, Annecy, Centre d'information et d'analyse des problèmes industriels, *Les remises en question* ;

12 mai, Valence, Rotary-Club et Lions International, *L'impact de la science et de la technique sur le monde moderne et sur les modes de pensée des hommes* ;

13 mai, Avignon, Centre Culturel avignonnais, *Progrès moral et progrès technique* ;

14 mai, Aix-en-Provence, Enseignement catholique, *Formation scolaire et éducation en fonction des impératifs scientifiques et techniques* ;

18 mai, Brest, Société française de Physique, *Les particules fondamentales* ;

22 mai, Meudon, Comité de sauvegarde des sites, *Bienfaits et méfaits de la science* ;

4 juin, Mantes, *Les remises en question scientifiques* ;

8 juin, Orléans, Institut universitaire de Technologie (parrainage de la promotion), *Réflexions sur l'enseignement supérieur*.

En dehors des conférences, diverses interventions à la Télévision (avec René Clair et avec Xenakis) et à la Radio.

ACTIVITÉ DU LABORATOIRE DE PHYSIQUE NUCLÉAIRE

Au cours de l'année 1970-1971, l'activité de recherche du laboratoire de Physique nucléaire s'est poursuivie dans le domaine de la physique corpusculaire de haute énergie au moyen de la technique des chambres à bulles. Par ailleurs, la construction de la chambre à « streamers », entreprise en 1969, est terminée. Les premières expériences sont en cours.

A. — *Développement de l'équipement*

L'effort technique du laboratoire a principalement porté sur la construction de l'appareil de dépouillement et de mesure automatique Coccinelle et sur la fin de la réalisation de l'appareil de détection « chambre à streamers ».

Il a poursuivi les améliorations indispensables au bon fonctionnement des tables de prémesures, du F.S.D. et du L.S.D.

1. — *Appareils de détection*

a) *Chambre à « streamers »*

Une maquette de chambre à streamers de surface $1,2 \times 0,75 \text{ m}^2$ et de profondeur 20 cm, équipée de son alimentation de très haute tension et de son générateur d'impulsions (de type « Blumlein ») a été construite et exploitée en collaboration avec le laboratoire de physique de l'Ecole Polytechnique et le laboratoire de l'accélérateur linéaire de Paris XI (Orsay).

L'étude entreprise sur ce modèle a permis de maîtriser le fonctionnement de ce type de détecteur. L'étude a porté en particulier sur la mémoire, sur le système de détection (optique et film), sur l'uniformité de l'efficacité dans tout le volume, sur la forme de l'impulsion et sur la précision à atteindre.

b) *Construction d'appareillages*

Parallèlement à l'étude menée sur cette maquette la construction d'un appareillage complexe a été entreprise au début de l'année 1970 en vue d'une série d'expériences auprès du synchrotron à protons du CERN.

Cette expérience se décompose en trois phases :

La première porte sur l'étude d'un faisceau séparé d'hypérons de 15 GeV/c qui a été menée au cours du premier trimestre 1971.

La deuxième porte sur l'étude de la section efficace totale d'interaction des hypérons qui doit commencer à la fin du mois de juin 1971.

La troisième porte sur l'étude de la désintégration leptonique des hypérons et doit débiter à la fin de l'année 1971.

α) *Etude du faisceau*

La maquette de chambre à streamers, placée dans le faisceau, tout en contribuant à l'étude de celui-ci en prenant 45 000 photographies qui sont actuellement en cours de dépouillement, a permis de vérifier les conditions de fonctionnement de la chambre.

β) *Etude de la section efficace totale*

La construction de quatre chambres à fils est en cours d'achèvement ; ces chambres constituées chacune de 24 plans de fils permettent de déterminer les coordonnées d'une trajectoire dans un plan perpendiculaire à celle-ci avec une précision de 100 microns. Une de ces chambres a été testée dans le faisceau au cours de la première phase.

γ) *Etude de la désintégration leptonique*

Deux grandes chambres à streamers respectivement de 600 litres et 1 800 litres sont en cours de construction. La première de 3 mètres de longueur utile est destinée à l'étude des angles, la seconde, placée dans un champ magnétique, permet la mesure des impulsions.

Un aimant en H de 65 cm d'entrefer, actuellement en cours de montage, possède une ouverture de 90×140 cm² dans la culasse supérieure afin de permettre la photographie des événements. Il doit fournir une induction magnétique de 0,8 à 1,6 teslas selon la géométrie utilisée.

Un Čerenkov à seuil de 1 200 litres, destiné à être disposé entre les deux chambres à streamers est en cours de tests.

Un hodoscope de 25 plans de scintillateurs verticaux et de 3 plans horizontaux, prévu entre le Čerenkov et l'entrée de la deuxième chambre à streamers est en cours d'étude.

Un compteur à neutrons constitué de 60 chambres à étincelles séparées par 59 plaques d'acier de 10 mm d'épaisseur est en cours de construction. Il est destiné à matérialiser le neutron dont l'angle pourra ainsi être mesuré. Un premier lot de ces chambres a été testé dans le faisceau au cours de la première phase.

Deux systèmes optiques distincts ont été spécialement étudiés pour photographier d'une part la première chambre à streamers, et d'autre part la deuxième chambre à streamers et le compteur à neutrons. Un système à miroirs fournit dans chacun des cas une vue stéréoscopique permettant la reconstitution dans l'espace des événements. L'ensemble des dispositifs mécaniques et optiques a été étudié de manière à obtenir une précision de 0,2 m rad. et ± 100 μ dans l'espace. Des grilles servant d'étalonnage, placées dans l'espace de chaque détecteur, permettent de corriger les différentes distorsions et de raccorder les différents espaces.

L'ensemble de ces études et expériences a été dirigé par J. BADIÉ, ingénieur docteur ès sciences, R. VANDERHAGHEN, chargé de recherche au CNRS, I. et H. VIDEAU, attachés de recherche au CNRS, R. BLAND, attaché de recherche au CNRS, assistés de Ph. DELGROS et Ch. GREGORY, ingénieurs

de physique nucléaire des Enseignements supérieurs, de J. CAILLET, assistant, de M. LE GAY et B. MONTES, dessinateurs de physique nucléaire des Enseignements supérieurs, de L. CARLINO et P. MENAGER, dessinateurs contractuels du CNRS, de L. KALT et R. VASCHY tous deux agents contractuels du CNRS, de l'atelier du laboratoire de physique de l'Ecole Polytechnique dirigé par E. BOULANGER, chef d'atelier, et de l'atelier du laboratoire du Collège de France, dirigé par J. MORINAUD, agent contractuel du CNRS.

2. — *Appareils de mesure*

Le développement des appareils de mesure se poursuit d'une part par l'amélioration des appareils existants F.S.D. et L.S.D., d'autre part la construction de l'appareil de mesure automatique Coccinelle.

a) *F.S.D.*

Après les modifications faites sur l'appareil pendant le deuxième semestre 1970, la production des mesures a repris et, au rythme actuel (16 heures par jour), les demandes représentent deux années de travail.

Un effort particulier a été fait depuis quelques mois pour mettre au point des programmes d'étalonnage de l'appareil et de test des mesures effectuées. Ceci permet maintenant de contrôler régulièrement le comportement du F.S.D. et la qualité de ses mesures.

Les opérateurs assurant le fonctionnement de l'appareil sont J. DA PIEDADE et M. TOURE, agents contractuels du CNRS.

G. SIMONNEAU, technicien principal de physique nucléaire des Enseignements supérieurs, assume la responsabilité du bon fonctionnement des dispositifs électroniques et D. MARCHAND, dessinateur de physique nucléaire des Enseignements supérieurs, est chargé de l'entretien des dispositifs mécaniques.

Il est envisagé de modifier le programme qui, au moyen du calculateur connecté CDC 160 A, contrôle et commande le fonctionnement du F.S.D. C'est un travail important; F. GARIC, technicien principal de physique nucléaire des Enseignements supérieurs, en a commencé l'étude.

La coordination de cette équipe est assurée par G. LABROSSE, chargé de recherche au C.N.R.S.

L'exploitation du programme FILTRE est sous la responsabilité de B. TON THAT, agent contractuel du CNRS. H. VIDEAU et E. LEBRETON, ingénieurs du CNRS, sont chargés du développement de ce programme.

b) *Tables de prémesures*

L'ensemble des douze tables de prémesure, dont le rôle est de fournir les données indispensables pour la mesure des événements au F.S.D., est maintenant installé. Les développements ont porté sur l'amélioration de l'avance automatique du film et la précision du positionnement, la fiabilité de l'enregistrement des données sur bande magnétique et la correction des distorsions de mesure.

Le développement et le maintien en bon état de marche de l'appareillage sont assurés par J. WAISBARD et D. MONNOT, tous deux techniciens des Enseignements supérieurs. L'organisation de l'exploitation, la gestion du personnel et le contrôle des mesures sont assurés par B. LEGAL, agent contractuel du CNRS, et J.-C. COUILLARD, agent contractuel des Enseignements supérieurs.

Au cours de l'année 1970-1971, 120 000 prémesures ont été effectuées. La très grosse majorité des événements correspondants ont été ensuite mesurés au F.S.D. Cependant les résultats des prémesures relatifs à l'expérience de diffusion arrière $\bar{p} p \rightarrow p \bar{p}$, ont été directement utilisés pour la reconstruction géométrique et l'analyse dynamique des événements.

c) *ION II*

L'appareil semi-automatique de détection et de mesure des distances entre bulles, mis au point ces dernières années (et appelé ION II) permet d'atteindre une précision de l'ordre de 10 %. Cet appareil a été réalisé avec le concours de la SFAT. La mesure de l'ionisation des traces permet de lever les ambiguïtés cinématiques entre événements ; elle est actuellement utilisée pour distinguer entre les hypothèses $K_L^0 \rightarrow \pi\mu\nu$ et $K_L^0 \rightarrow \pi e\nu$ dans une étude de la loi $|\frac{\Delta S}{\Delta Q}| = 1$ à partir des K_L^0 produits dans l'interaction

$K^+ p \rightarrow K_L^0 p \pi^+$. Cette mesure est menée en collaboration avec le CERN et Saclay.

La mise au point de cet appareil, les essais et l'étalonnage ont été réalisés par J. LEBOS, technicien supérieur des Enseignements supérieurs, avec l'aide des bureaux de dessin et de l'atelier de mécanique. J. LEBOS a tiré de cet appareil le sujet de sa thèse C.N.A.M. soutenue en décembre 1970 et en dirige actuellement l'exploitation.

d) *Exploitation du L.S.D.*

La mise en exploitation de cet appareil de mesure automatique de clichés de chambres à bulles a été réalisée en fin 1970 après des essais et mises

au point qui ont permis de vérifier que ses performances remplissent les espoirs que nous avons mis dans cet appareillage : fidélité, précision, souplesse d'utilisation.

Les six premiers mois de fonctionnement ont été consacrés à la mise en exploitation effective, comprenant la formation des opérateurs, la définition de conditions d'étalonnage adaptées aux différents types de film, le démarrage de la chaîne d'exploitation de programmes de traitement des données,... Pour ce faire, quatre types de tests sur des expériences différentes ont été entrepris :

— une remesure de 3 000 événements des types $\bar{p} p \rightarrow 2$ et 4 branches, à l'arrêt, mesures déjà effectuées sur l'appareil F.S.D. quelques années auparavant : une comparaison poussée des résultats obtenus pour chaque événement au niveau de la géométrie et de la cinématique nous a permis de constater que, pour ce type d'événements, les performances des appareils étaient très similaires et les taux de remesures plutôt inférieurs dans le cas du L.S.D. en dépit de l'absence de prémesures ;

— une mesure préliminaire de 4 000 événements du type $\bar{p} p \rightarrow 2$ et 4 branches à 480 MeV/c, ceci en vue de démarrer une vaste expérience d'environ 120 000 mesures (expérience de formation de résonances dans les réactions $\bar{p} p \rightarrow n \pi$ entre 0 et 1,1 GeV/c) et d'étudier les meilleures conditions de digitisation de l'appareil ;

— une mesure de 4 000 événements du type $\pi^- d \rightarrow 3$ branches ou 3 branches + proton lent à 9 GeV/c, ceci représentant le début d'une exploitation de 40 000 mesures demandées pour le L.P.N. (Paris VI), ce test étant destiné à vérifier les performances de l'appareil à plus haute énergie, où la précision de mesure est cruciale ;

— une mesure de 1 000 événements de $\bar{p} p \rightarrow 4$ branches à 1,6 GeV/c en vue d'une exploitation future de 40 000 événements de ce type, également pour le L.P.N.

A la suite de ces essais, qui ont été satisfaisants, la mesure de l'expérience de formation $\bar{p} p \rightarrow n \pi$ s'est mise en place et l'appareil mesure à un taux moyen de 40 événements/heure sur ce type de photographies.

La supervision de la marche de l'appareil est assurée par C. GHESQUIÈRE, maître de recherche au CNRS. L'entretien et le contrôle du fonctionnement sont assurés par M. FORLEN, technicien principal de physique nucléaire des Enseignements supérieurs, avec l'appui du bureau de dessin et de l'atelier de mécanique. L'organisation de l'exploitation est assurée par C. RASPIENGEAS, aide-technique au CNRS, et la programmation associée est supervisée par LAI VAN THAP, collaborateur technique de physique nucléaire des Enseignements supérieurs. Les postes d'opérateurs sont tenus par des personnels rémunérés à la vacation.

e) *Coccinelle*

Cet appareil effectuera le dépouillement et la mesure automatique des clichés des grandes chambres à bulles, à commencer par Mirabelle.

La construction et la mise au point de l'appareil se poursuivent et doivent conduire à une mise en service au début de 1972.

L'ensemble des dispositifs de génération et de contrôle du spot électronique servant à analyser les clichés sont en état de marche. Les essais effectués sur des mires d'étalonnage et sur des clichés de chambre à bulles ont montré que la partie logique de l'électronique de contrôle ainsi que les amplificateurs de déflexion fonctionnent correctement. La console de l'opérateur, avec ses écrans de visualisation graphique et analogique, son crayon lumineux et les différentes touches de fonction, est également en état de marche.

L'étude des dispositifs d'avance du film et de commutation des vues est terminée, et la construction en est en cours. Ce système permet, par une commutation mécanique rapide, d'accéder à 4 vues différentes sur trois ou quatre films de 70 mm. Il assure également la projection optique d'une quelconque des quatre vues. L'appareil est prévu pour fonctionner avec les films des chambres à bulles BEBC et Gargamelle, aussi bien qu'avec ceux de Mirabelle.

De nouvelles études ont abouti à une version entièrement digitale du corrélateur câblé. Ce dispositif permettra la détection automatique des éléments de trace en simultanéité avec le balayage. Trente-deux modules semblables correspondant aux trente-deux angles quantifiés sont en cours de construction.

Un système de programmes, spécialisé dans le dépouillement et la mesure des grandes chambres à bulles, a été élaboré. Il comprend un « processeur » qui génère, selon des instructions enregistrées ou bien selon les directives de l'opérateur, des appels à un ensemble de « procédures ». Un éditeur de liens et son exécuter sont inclus dans le système, et permettent d'employer de façon très souple un nombre pratiquement illimité de « procédures », grâce à un disque rapide qui a été adjoint au calculateur CII-9010.

Enfin un système conversationnel permettant la mise au point et l'étalonnage de l'appareil a été mis en service.

La mise en œuvre de cet appareil a été assurée par B. EQUER, maître de recherche au CNRS, G. FONTAINE, attaché de recherche au CNRS, J.-J. JAEGER et A. KARAR, ingénieurs de physique nucléaire des Enseignements supérieurs, M. BERMOND et D. BOGET, techniciens supérieurs de physique nucléaire des Enseignements supérieurs.

Les programmes ont été mis au point par B. EQUER, A. DIONIGI, C. FRITSCH, tous deux collaborateurs techniques au CNRS.

L'ensemble de la mécanique a été étudié et réalisé par D. MARCHAND et J. MORINAUD.

3. — *Installations de calcul scientifique*

Les calculs nécessaires à l'analyse des clichés de chambres à bulles et l'obtention des résultats se poursuivent au Centre de Calcul de Physique nucléaire du quai Saint-Bernard. Ce centre est équipé d'un ordinateur CDC 6600 couplé à un ordinateur CDC 3300. L'unité centrale a été utilisée pendant environ 1 500 heures en 1970 dont plus du tiers pour les laboratoires du Collège de France.

J. LEBLANC, agent contractuel du C.N.R.S., a participé au sein d'une équipe inter-laboratoires à la mise au point des programmes généraux de traitement des données. B. GARIC, agent contractuel du CNRS, dirige l'équipe assurant l'exploitation et la mise au point des systèmes du centre, P. CURTZ, ingénieur de physique nucléaire des Enseignements supérieurs, et D. SULTAN, agent contractuel du CNRS, font également partie de cette équipe. La direction du centre est assurée par M. BLOCH, maître de conférence à l'Ecole Polytechnique.

La gestion du centre de calcul a été assurée par son Comité scientifique qui comprend tous les directeurs des laboratoires de physique de haute énergie de la région parisienne sous la présidence de M. J. TELLAC.

B. — *Activité de recherche proprement dite*

Le laboratoire poursuit ses expériences auprès du synchrotron à protons du C.E.R.N. au moyen des chambres à hydrogène liquide de 81 cm de Saclay et de 2 m du C.E.R.N. Comme par le passé une collaboration étroite est poursuivie avec diverses équipes des laboratoires de Physique nucléaire des hautes énergies de Paris VI, du C.E.N. de Saclay, du C.E.R.N. et de Pise s'intéressant aux mêmes problèmes scientifiques.

1. — ANTIPROTONS A L'ARRET : ANNIHILATIONS EN π

Cette expérience comportait la mesure de 50 000 événements sur le F.S.D. du Collège de France, parallèlement à une mesure analogue de 70 000 événements au C.E.R.N. Les études suivantes, utilisant l'ensemble de ces mesures, ont été terminées au cours de l'année.

a) *Etude de la réaction $\bar{p} p \rightarrow \omega^0 \pi^+ \pi^-$*

Cette étude a été poursuivie en utilisant à la fois les distributions angulaires de la normale au plan de désintégration de l' ω , et le diagramme de Dalitz de la réaction. Elle conduit, pour le système $\omega \pi$, à de fortes présomptions en faveur de l'existence, dans la région de masse voisine de 1230 MeV/c², de deux résonances de spin 1 et de parités opposées : l'une, le méson B (Bouddha), de parité +, l'autre, le ρ' , de parité —.

D'autre part, la présence de f^0 dans le système $\pi^+ \pi^-$ opposé à l' ω^0 est confirmée.

Cette étude constituera le sujet de la thèse de doctorat d'état de P. FRENKIEL, maître-assistant à l'Université Paris VI.

b) *Etude de la réaction $\bar{p} p \rightarrow \eta^0 \pi^+ \pi^-$*

Cette étude a été poursuivie en utilisant le modèle d'interaction dans l'état final. Elle a conduit à une détermination des rapports d'embranchement pour la désintégration du méson A_2 (canaux $\eta \pi$, $\rho \pi$, $K \bar{K}$) ainsi que

des rapports $\frac{\eta^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma}{\eta^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0}$ et $\frac{\eta^0 \rightarrow \text{neutres}}{\eta^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0}$. Elle a constitué le

sujet de thèse de 3^e cycle de P. ESPIGAT, collaborateur technique des Enseignements supérieurs.

c) *Etude générale des événements à 2 π^0*

Une méthode originale de traitement de ce type d'événements a été développée, et appliquée à la recherche de certaines voies particulières. Les applications ont porté sur la recherche des productions $\bar{p} p \rightarrow \eta^0 \eta^0$, $\eta^0 \omega^0$, $\omega^0 \omega^0$ dans les annihilations $\bar{p} p \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^- \pi^-$ ($n \pi^0$) à l'arrêt, et $\bar{p} p \rightarrow \omega^0 \omega^0$ dans les annihilations à 700 MeV/c.

Cette étude constituera le sujet de la thèse de doctorat d'Etat de G. FONTAINE.

d) *Etude générale des annihilations proches de l'arrêt*

La mesure des événements où l'antiproton est supposé s'arrêter a fourni de l'ordre de 10 % d'événements en vol, dans lesquels l'antiproton au moment de l'annihilation a une impulsion résiduelle de 100 à 250 MeV/c. Il s'agit de rechercher la section efficace totale et d'étudier le comportement des annihilations à très basse énergie, correspondant à des états de moments

angulaires différents, ainsi que la variation en fonction de l'énergie des différents canaux d'annihilations. Cette étude constituera le sujet de la thèse de 3^e cycle de LAI VAN THAP.

Contribuent à ces recherches au Collège de France M. BLOCH, C. GHESQUIÈRE, P. FRENKIEL, G. FONTAINE, P. ESPIGAT, LAI VAN THAP.

2. — ANTIPROTONS DE 450, 700 et 1200 MeV/c :

RESONANCES PRODUITES DANS LES ANNIHILATIONS EN π

L'étude à 700 MeV/c de la voie particulière $\bar{p} p \rightarrow \eta^0 2 \pi^+ 2 \pi^-$ ($\eta^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$), préalablement sélectionnée parmi les annihilations en $3 \pi^+ 3 \pi^- \pi^0$, a abouti à une nouvelle mise en évidence d'une désintégration du D^0 et du E^0 en $\eta^0 \pi^+ \pi^-$ par l'intermédiaire du « δ ». Ce résultat a donné lieu à une communication à la Conférence de Bologne (avril 1971). La détermination des rapports d'embranchement

$$\frac{(D^0 \text{ ou } E^0) \rightarrow K \bar{K} \pi}{(D^0 \text{ ou } E^0) \rightarrow \delta^\pm \pi^\mp}, \text{ ainsi que l'analyse des propriétés de désinté-}$$

gration, en relation avec le spin de ces résonances, sont en cours, en collaboration avec le C.E.R.N.

D'autre part, dans le but de mieux connaître les propriétés de désintégration du méson $E^0 \rightarrow \eta^0 \pi^+ \pi^-$ et de poursuivre l'étude de la voie $\bar{p} p \rightarrow \omega^0 2 \pi^+ 2 \pi^-$ (étude de la désintégration du méson D^0 selon la voie $\rho^0 \pi^+ \pi^-$, confirmation éventuelle d'un nouvel effet résonnant $\omega^0 \pi$), 20 000 annihilations en 6 branches à 450 MeV/c ont été dépouillées et sont actuellement à la mesure sur IEP.

P. RIVET, sous-directeur, J. SIAUD, C. DEFOIX, L. DOBRZYNSKI, A. NASCIMENTO, chargés de recherche au C.N.R.S., participent à cette étude.

3. — ANTIPROTONS A L'ARRET : ANNIHILATIONS EN $K \bar{K} n \pi$

Le regroupement des données des différentes séries de clichés obtenues auprès de l'accélérateur du C.E.R.N. entre 1961 et 1965 a permis de préciser certaines données concernant l'annihilation de l'antiproton selon les voies $K_1^0 K_1^0 \omega^0$ et $K^+ K^- \omega^0$.

Les résultats de cette étude ont été publiés dans la revue Nuclear Physics et concernent les estimations de la masse, de la largeur et du rapport d'embranchement de l' ω^0 selon le mode $\pi^+ \pi^- \pi^0$ et les modes ne comportant que des particules neutres. De plus, cette étude a montré que les voies

étudiées $K \bar{K} \omega^0$ pouvaient comporter une certaine proportion d'événements à quasi deux corps, en l'occurrence $\bar{p} p \rightarrow \Phi^0 \omega^0$ et $S^* \omega^0$.

Ce travail a été réalisé par C. d'ANDLAU et J. COHEN-GANOUNA, maîtres de recherche au C.N.R.S., en collaboration avec le C.E.R.N.

4. — ANTIPROTONS DE 300 A 500 MeV/c : ANNIHILATIONS COMPORTANT AU MOINS UN K_1^0 VISIBLE

Cette expérience fait partie d'une vaste étude, concernant la formation de résonances en fonction de l'énergie, devant couvrir la plage d'impulsion comprise entre 250 et 1200 MeV/c.

Parmi les séries de clichés disponibles, celles présentant un échantillonnage important donneront lieu à une étude des états finals $K \bar{K} n \pi$ et des productions de résonances mésoniques, en particulier les D^0 (1280), E^0 (1420) et F_1 (1540).

Actuellement, sont en cours d'étude deux séries de clichés : elles concernent les annihilations d'antiprotons dont l'impulsion moyenne est centrée respectivement à 360 et 480 MeV/c.

L'équipe du laboratoire de Physique nucléaire qui poursuit cette étude est composée de C. d'ANDLAU, J. COHEN-GANOUNA, P. PETITJEAN, attaché de recherche au C.N.R.S., et J. O'NEALL, chargé de recherche au C.N.R.S.

5. — DIFFUSION ELASTIQUE VERS L'ARRIERE DES ANTIPROTONS SUR PROTONS A BASSE ENERGIE

Cette étude est entreprise dans le cadre de l'expérience de formation de résonances en fonction de l'énergie citée ci-dessus. L'état actuel de ce travail est le suivant : la diffusion vers l'arrière des antiprotons a été étudiée dans un intervalle d'impulsion 350 — 650 MeV/c. Les distributions angulaires font apparaître une accumulation d'événements au voisinage de $\cos\theta^* = -1$, qui demeure stable dans la zone 375 — 575 MeV/c. Ce fait semble montrer qu'une interprétation purement diffractive du phénomène observé n'est pas compatible avec nos résultats. Une estimation du fond non résonnant au voisinage de $\cos\theta^* = -1$, à partir de modèles rudimentaires tels que le disque totalement absorbant, a montré que ce fond est négligeable. Il paraît alors raisonnable d'attribuer l'accumulation arrière à un phénomène de résonance dans la voie directe. Les variations en fonction de l'énergie de la section efficace différentielle intégrée sur les

intervalles suivants de $\cos\theta^*$ (— 1 ; — 0,9) et (— 1 ; — 0,8) font apparaître une structure qui semble correctement décrite par une courbe de Breit-Wigner dont les paramètres ont été estimés à $M = 1940 \text{ MeV}/c^2$ et $\Gamma = 65 \text{ MeV}/c^2$.

La prise en considération des hypothèses simplificatrices précédentes a permis une tentative d'attribution de spin et de parité : des hypothèses envisagées ($J = 1$ à 6), les spins 0 et 1 sont exclus, les spins 3 et 6 sont possibles, tandis que le spin 4 semble fortement favorisé. L'identification de cet effet avec le méson S (1930) montre que son isospin doit être 1 , et l'hypothèse de spin 4 le place précisément sur la trajectoire dégénérée d'échange du ρ et du A_2 ; sa parité serait alors positive. Ces résultats doivent faire l'objet d'une communication au Congrès d'Amsterdam (juin-juillet 1971).

L'équipe chargée de cette étude est composée de C. d'ANDLAU, J. COHEN-GANOUNA, M. DELLA NEGRA, chargé de recherche (actuellement aux Etats-Unis), M. LALOUX et P. LUTZ, attachés de recherche au C.N.R.S., sous la direction de A. ASTIER, sous-directeur du laboratoire.

6. — ANTIPROTONS DE 250 à 1200 MeV/c :

FORMATION DE RESONANCES

Cette expérience a pour objet la formation de résonances en fonction de l'énergie, leur désintégration conduisant à un état final constitué exclusivement de mésons π (annihilations en deux, quatre et six branches). Il s'agit de compléter l'analyse similaire faite sur les états finals comportant au moins un V^0 , à partir du même lot de 650 000 photographies, réparties en treize bandes d'énergie de 250 à 1200 MeV/c. La moitié environ des sept branches d'énergies les plus basses (250 — 830 MeV/c) a été dépouillée au cours de cette année et un premier ensemble de 120 000 mesures doit être effectué sur le L.S.D. Les tranches d'énergie inférieure sont traitées par l'Institut de Physique de l'Université de Pise (Italie), 350 000 mesures étant prévues au total. Dans une première étape, la recherche de résonances en formation s'effectuera à partir de l'étude en fonction de l'énergie de voies aisément séparables telles que $\bar{p} p \rightarrow 2 \pi^+ 2 \pi^-$, $\omega^0 \pi^+ \pi^-$: elle devrait permettre d'aboutir à un premier résultat au cours de l'année 1972.

L'équipe qui s'occupe de ces événements est composée de C. DEFOIX, L. DOBRZYNSKI, J. O'NEALL, et P. ESPIGAT.

THÈSES

J. LEBOIS, thèse du CNAM : *Etude de l'ionisation d'une réaction $\bar{p} p \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^- \pi^-$ sur l'appareil ION II* (14 décembre 1970).

P. BENKHEIRI, thèse de 3^e cycle : *Détermination des sections efficaces $K \pi$ par diverses méthodes d'extrapolation* (5 juin 1971).

P. ESPIGAT, thèse de 3^e cycle : *Annihilations à l'arrêt $\bar{p} p \rightarrow \eta \pi \pi$. Mesure de rapports de désintégration du η^0 .*

CONFÉRENCES ET CONGRÈS

A. ASTIER a été rapporteur des résonances bosoniques à la XV^e Conférence internationale sur la Physique de Haute Energie, Kiev, U.R.S.S., 26 août-4 septembre 1970.

A. ASTIER a fait une conférence à l'Université populaire catholique de Luxembourg le 21 septembre 1970. Sujet : *Crise de la vérité.*

Les chercheurs du laboratoire de Physique nucléaire du Collège de France ont participé à la conférence sur la Physique des Hautes Energies organisée par la Société française de Physique à Aix-en-Provence, 29 septembre-2 octobre 1970.

B. EQUER, G. FONTAINE et B. TON THAT ont participé à une journée d'études sur le F.S.D. organisée par M. BLOCH à l'Ecole Polytechnique, 19 octobre 1970.

A. ASTIER a fait une conférence à l'Ecole supérieure de Guerre le 30 octobre 1970. Sujet : *L'orientation de la recherche en physique moderne.*

A. ASTIER a fait une conférence aux Anciens Elèves de l'Ecole Polytechnique le 9 février 1971. Sujet : *La physique des hautes énergies.*

M. BLOCH a fait une conférence sur les particules élémentaires aux Elèves de l'Ecole militaire de l'Air en stage à l'Ecole Polytechnique, 4 mars 1971.

A. ASTIER a participé aux Colloques d'Evian organisés par la Société française de Physique, 25-29 mai 1971.

B. EQUER a fait une conférence à l'Equipe de Mathématique et d'Automatique Musicale (E.M.A.Mu.), le 21 juin 1971. Sujet : *La reconnaissance des formes en physique nucléaire.*

PUBLICATIONS

Ph. DELCROS, *Results achieved with a rapid-cycling hydrogen bubble chamber (Proceedings of the International Conference on Bubble Chamber Technology, Argonne National Laboratory, june 1970).*

M. BLOCH, G. FONTAINE, E. LILLESTØL, *A method for the study of events with two missing neutral particles. Search for the reaction $\bar{p} p \rightarrow 2 \omega^0 \rightarrow 2 \pi^+ 2 \pi^- 2 \pi^0$ in annihilations at rest (Nuclear Physics, B 23, p. 221-226, 1970).*

G. FONTAINE, G. REBOUL, *Automatic gain control in signal processing for bubble chamber pictures (Proceedings of the 1970 Cambridge Conference on Data Handling systems in high energy physics, Section V, vol. I, 383, 1970).*

B. EQUER, G. FONTAINE, G. REBOUL, *The use of Coccinelle, a CRT digitizer to scan and measure big bubble chamber pictures (Proceedings of the 1970 Cambridge Conference on Data Handling systems in high energy physics, Section V, vol. I, 371, 1970).*

B. TON THAT, en collaboration avec l'I.P.N., *Results on the use of a simple geometry for filtering H.P.D. data (Proceedings of the 1970 Cambridge Conference on Data Handling systems in high energy physics, Section IX, vol. II, 685, 1970).*

A. ASTIER, *Pourquoi un grand accélérateur de particules? (Revue Les Etudes, 164-195, février 1971).*

C. d'ANDLAU, J. COHEN-GANOUNA, *$\bar{p} p$ annihilations at rest. The $K \bar{K} \omega$ channel. Mass, width and branching ratio of the ω — meson (Nuclear Physics, B 27, 140-148, 1971).*

C. DEFOIX, *Mise en évidence du méson δ dans la désintégration des mésons D^0 et E^0 (Proceedings of the International Conference on Meson Spectroscopy, Bologne, avril 1971, à paraître).*

P. ESPIGAT, C. GHESQUIÈRE, E. LILLESTØL en collaboration avec le C.E.R.N., *$\bar{p} p$ annihilations at rest into $\eta^0 \pi^+ \pi^-$ (Physics Letters, à paraître).*

Communications au Congrès de la Société française de Physique sur les Particules élémentaires à Aix-en-Provence (septembre-octobre 1970) :

C. d'ANDLAU, A. ASTIER, J. COHEN-GANOUNA, P. LUTZ, *Structure dans l'hémisphère arrière de la voie élastique $\bar{p} p \rightarrow p \bar{p}$.*

M. BLOCH, P. ESPIGAT, G. FONTAINE, P. FRENKIEL, C. GHESQUIÈRE, *Résultats généraux sur les états finals $n \pi$ dans les annihilations d'antiprotons à l'arrêt.*

M. BLOCH, G. FONTAINE, E. LILLESTØL, *Procédé d'exploitation des événements à deux particules neutres. Application à la production de deux ω^0 dans les annihilations d'antiprotons à l'arrêt.*

C. DEFOIX, *Etude des annihilations $\bar{p} p \rightarrow \eta^0 4 \pi$ et $\omega^0 4 \pi$ à 0,7 et 1,2 GeV/c : la mise en évidence des désintégrations du D^0 en $\delta \pi$ et $\rho^0 \pi^+ \pi^-$ et du E^0 en $\delta \pi$.*

P. ESPIGAT, C. GHESQUIÈRE, E. LILLESTØL, *Etude de la production et de certains rapports de branchement à la désintégration du η dans les antiprotons à l'arrêt.*

P. FRENKIEL, C. GHESQUIÈRE, E. LILLESTØL, *Les systèmes $\omega \pi$ et $\pi \pi$ observés dans les annihilations $\bar{p} p$ à l'arrêt : $\bar{p} p \rightarrow \omega^0 \pi^+ \pi^-$.*

P. RIVET, J. SIAUD, *Résonances liées à l' ω^0 dans les annihilations à 1,2 GeV/c en $3 \pi^+ 3 \pi^- \pi^0$.*