

## Physique nucléaire

M. LOUIS LEPRINCE-RINGUET, membre de l'Institut

(Académie Française et Académie des Sciences), professeur

### *Les systèmes de K neutres*

Le sujet du cours était essentiellement une étude de l'évolution des systèmes de mésons K neutres et des phénomènes de régénération qui accompagnent cette évolution.

Les divers K neutres ont été introduits avec une étrangeté différente : dans la réaction  $\pi^- + p \rightarrow \Lambda^0 + K^0$  c'est un  $K^0$  que l'on produit avec  $S = +1$  ; dans la réaction  $\pi^+ p \rightarrow p + K^+ + \bar{K}^0$  ou  $K^- + p \rightarrow n + \bar{K}^0$  c'est un  $\bar{K}^0$  avec  $S = -1$ .  $K^0$  et  $\bar{K}^0$  ne sont pas des états propres de C.

Si on introduit l'interaction faible qui ne conserve pas l'étrangeté on doit pouvoir passer de  $K^0$  à  $\bar{K}^0$ , soit directement par  $\Delta S = 2$ , soit indirectement avec un état intermédiaire et  $|\Delta S| = 1$  des deux côtés. L'état intermédiaire  $\pi^+\pi^-$  ou  $\pi^0\pi^0$  est un état propre de C dans le cas présent où  $l = 0$ . Il faut considérer alors que les particules physiques qui donnent  $\pi^+\pi^-$  ou  $\pi^0\pi^0$  sont des états propres de C, d'où :

$$K_1^0 = \frac{K^0 + \bar{K}^0}{\sqrt{2}}$$

$$K_2^0 = \frac{K^0 - \bar{K}^0}{\sqrt{2}}$$

$K_1^0$  est un état  $C = +1$ , c'est lui qui donne  $2\pi$  avec une vie brève.

$K_2^0$  est un état  $C = -1$  qui ne peut pas donner  $2\pi$  avec un spin nul : il donne  $3\pi$  ; l'espace des phases est alors réduit et la vie moyenne est plus longue, d'où l'expérience de Lédermann qui observe avec une chambre de Wilson placée loin de la cible les modes anormaux de désintégration du  $K^0$  et trouve  $K^0 \rightarrow 3\pi$ .

Depuis 1957, on sait que la parité n'est pas conservée dans les interactions faibles : c'est PC qui remplace C.  $K^{\circ}_1$  et  $K^{\circ}_2$  sont finalement états propres de PC avec valeurs propres  $+1$  et  $-1$ . On voit que la désintégration  $K^{\circ}_1 \rightarrow 2\pi$  conserve PC ; en revanche  $K^{\circ}_2 \rightarrow 2\pi$  violerait PC. On peut dresser le tableau suivant relatif au système de  $3\pi$  (dont la parité est toujours négative) lorsque le spin total est nul :

$I =$	0	1	2	3
$C = (-1)^{I+1}$	—	+	—	+
CP	+	—	+	—
$l\pi^+\pi^-\pi^{\circ}$	impair	pair	impair	pair
$l\pi^{\circ}\pi^{\circ}\pi^{\circ}$	interdit	pair	interdit	pair
type de $K^{\circ}$	$K^{\circ}_1$	$K^{\circ}_2$	$K^{\circ}_1$	$K^{\circ}_2$

On voit dans ce tableau que  $K^{\circ}_1$  ne peut jamais donner  $3\pi^{\circ}$ . Il pourrait donner  $\pi^+\pi^-\pi^{\circ}$  mais avec  $l = 1, 3, \dots$ , donc par un processus freiné par la barrière centrifuge. Pour  $K^{\circ}_2$  on peut avoir  $\pi^{\circ}\pi^{\circ}\pi^{\circ}$  avec  $l = 0, 2, \dots$  et  $I = 1, 3$ . On peut aussi avoir  $\pi^+\pi^-\pi^{\circ}$  avec les mêmes valeurs de  $l$  et de  $I$ .

$K^{\circ}_1$  et  $K^{\circ}_2$  peuvent se désintégrer selon des modes leptoniques :  $\pi^+e^-\bar{\nu}$  et  $\pi^-e^+\nu$ . Ces modes ne sont pas des états propres de PC mais  $(\pi^+e^-\bar{\nu}) + (\pi^-e^+\nu)$  et  $(\pi^+e^-\bar{\nu}) - (\pi^-e^+\nu)$  sont des états propres de PC. Ainsi  $K^{\circ}_1$ , pour lequel  $PC = +1$ , se désintégrera selon  $PC = +1$ , c'est-à-dire selon le premier mélange ; on verra donc  $\pi^+e^-\bar{\nu}$  et  $\pi^-e^+\nu$  mais si l'on suit dans le temps l'un des modes de désintégration on constate que sa décroissance n'est pas exponentielle mais comporte des oscillations. Cela veut dire que chacun provient et du  $K^{\circ}_1$  et du  $K^{\circ}_2$  qui interfèrent. Ces interférences ont lieu avec PC conservé (point nécessaire de le supposer violé).

Depuis 1964 on sait que PC est violé dans les interactions faibles. C'est une violation légère : on a constaté que le  $K$  à longue vie moyenne donne des désintégrations en  $2\pi$ . On remplace  $K^{\circ}_1$  et  $K^{\circ}_2$  par  $K^{\circ}_S$  et  $K^{\circ}_L$  :  $K^{\circ}_S$  et  $K^{\circ}_L$  sont des états de vie moyenne définie alors que  $K_1$  et  $K_2$  sont des états propres de PC. On écrit :

$$K^{\circ}_S = \frac{K^{\circ}_1 + \varepsilon K^{\circ}_2}{\sqrt{1 + |\varepsilon|^2}} \qquad K^{\circ}_L = \frac{K^{\circ}_2 + \varepsilon K^{\circ}_1}{\sqrt{1 + |\varepsilon|^2}}$$

### Importance fondamentale des $K^0$

Les  $K^0$  ont un privilège exceptionnel : celui de permettre d'avoir un mélange cohérent de deux particules pouvant s'échanger physiquement, ce qui conduit à la possibilité d'apparition de phénomènes d'interférence.

Considérons en effet et à titre d'exemple pour la compréhension un mélange de protons et de neutrons. Un tel mélange ne peut pas être cohérent, c'est-à-dire correspondre à une superposition de deux états quantiques d'une même particule. Ce ne peut être qu'un mélange statistique et l'on n'observera pas d'interférence au cours d'une expérience. Pourtant on peut écrire ce mélange sous la forme

$$a \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} + b \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

proton                  neutron

avec deux états quantiques du spin isotopique du nucléon. Ce mélange est utilisé dans  $SU_2$  : à partir d'un proton une transformation  $SU_2$  va donner ce mélange mais il n'a pas de signification physique car tout ce qui doit être physiquement conservé ne l'est pas : ici, par exemple, la charge électrique ne sera pas conservée. On pourrait de même imaginer un mélange neutron,  $\Lambda^0$  ; c'est alors l'étrangeté qui ne serait pas conservée. Ainsi, physiquement, on ne trouve jamais un mélange cohérent de particules. La seule possibilité accessible physiquement est le mélange de  $K^0$  et de  $\bar{K}^0$ . Ces deux états n'ont pas le même S (donc s'apparentent en cela au mélange neutron,  $\Lambda^0$ ) mais ils se désintègrent selon le même mode par interaction faible : on peut donc passer de l'un à l'autre. Comme la différence de masse  $\Delta_m$  est très petite (c'est cela qui les distingue du système neutron,  $\Lambda^0$ , particules ayant en commun un mode de désintégration) les transitions peuvent s'effectuer réellement. On ne violera pas la conservation de l'énergie si la 4<sup>e</sup> relation d'incertitude est respectée entre la vie moyenne la plus longue et la différence de masse. La différence de masse mesurée autorise en fait une vie moyenne de l'ordre de  $10^{-8}$  seconde : on peut ainsi comprendre pourquoi les transitions  $K^0 \rightarrow \bar{K}^0$  ou  $K^0_1 \rightarrow K^0_2$  ou  $K^0_S \rightarrow K^0_L$  peuvent s'effectuer physiquement sans violer la conservation de l'énergie. Ce raisonnement n'est pas valable pour le système (neutron,  $\Lambda^0$ ) à cause de la trop grande différence de masse. On voit que le  $K^0$  a donc ce privilège exceptionnel de permettre l'obtention d'un mélange cohérent de deux particules susceptibles de s'échanger physiquement d'où la possibilité d'observer des interférences.

Deux expériences fondamentales confirment ce privilège des systèmes de  $K$  neutres : dans l'une d'elles on crée des  $K^0$  par une interaction forte du type  $\pi^- + p \rightarrow \Lambda^0 + K^0$ , il s'agit bien d'une particule dont le  $S = 1$  ; c'est donc un  $K^0$  ; pourtant on observe à distance des interactions nucléaires avec apparition d'hypérons  $\Lambda^0$  dont l'étrangeté est  $S = -1$ . C'est donc un  $\bar{K}^0$  qui a interagi car l'interaction forte conserve  $S$ . Ceci montre que le  $K^0$  s'est transformé en un  $\bar{K}^0$ .

L'autre expérience fondamentale est celle de la régénération : un faisceau de  $K^{\circ}_2$  (ou  $K^{\circ}_L$ ) crée, en traversant un régénérateur, des  $K^{\circ}_1$  que l'on peut observer sous leur mode  $2\pi$  au sortir du régénérateur. Ceci montre la possibilité de transition : le  $K^{\circ}$  est toujours une superposition de 2 états de base : ici ce sont  $K^{\circ}$  et  $\bar{K}^{\circ}$ .

\*  
\*\*

Le cours comprend quatre chapitres :

1) On étudie l'évolution dans le temps d'un  $K^{\circ}$ . On introduit les matrices de masse et de désintégration. On calcule l'expression donnant le taux total de désintégration et les taux partiels. On étudie les cas dans lesquels les interférences doivent être observées et l'on classe les diverses sortes d'interférences qui peuvent être observées selon que PC est conservé ou partiellement violé. Les expériences correspondantes sont décrites. On peut mesurer les vies moyennes et la différence de masse  $\Delta m$  entre les  $K^{\circ}$  par interférence dans les désintégrations.

2) Le deuxième chapitre traite des problèmes de régénération. On reprend les notions d'optique, d'indice de réfraction complexe. On distingue les phénomènes de régénération cohérente et de diffraction incohérente. On montre que l'on peut mesurer  $\Delta m$  entre  $K^{\circ}_L$  et  $K^{\circ}_S$  par des expériences de régénération et on décrit ces expériences délicates et très remarquables.

3) Le troisième chapitre donne des rappels de la théorie des interactions faibles courant-courant pour les transitions avec  $\Delta S \neq 0$ . Il reprend aussi une discussion sur les règles de sélection pour ce genre de transition. L'intérêt de ce chapitre est dû au fait que la violation de PC pourra être attribuée explicitement à une amplitude violant l'une de ces règles de sélection. Ces règles sont :

1 —  $\Delta S < 2$  leptonique et non leptonique ;

2 — pour les désintégrations leptoniques  $\Delta Q \neq 0$  d'où les deux règles de sélection :  $\Delta S = \Delta Q$ ,  $\Delta I = 1/2$  ;

3 — désintégration non leptonique, la règle de sélection  $\Delta I = 1/2$  non leptonique. On examine à la fin du chapitre les résultats des mesures en liaison avec l'éventuelle exactitude de ces règles.

4) Le dernier chapitre donne une vue très rapide des problèmes liés à la violation de PC. D'où peut provenir cette violation ? Elle peut être spécifique des modes de désintégration en  $2\pi$  ou due à une cause différente. On développe rapidement le formalisme mathématique qui fait intervenir la matrice de masse et les diverses matrices  $\gamma$  correspondant aux désintégrations en  $2\pi$ ,  $3\pi$  et leptonique. La violation de PC observée en  $2\pi$  peut se situer,

soit dans le mode  $2\pi$  dans l'amplitude violant  $\Delta I = 1/2$ , soit dans le mode  $3\pi$ , soit dans les modes leptoniques. On étudie les conséquences expérimentales correspondantes.

Les expériences qui s'effectuent actuellement sont difficiles et ne donnent pas encore la clé du problème.

#### COLLOQUES DE PHYSIQUE NUCLÉAIRE

Le cours a été suivi des colloques suivants :

6 janvier 1969, *Résultats récents d'expériences sur les neutrinos*, J. SIX (Laboratoire de l'Accélérateur linéaire d'Orsay).

13 janvier 1969, *The experimental Program at Desy*, E. LOHRMANN (Deutsches Elektronen Synchrotron, Desy).

20 janvier 1969, *Derniers résultats expérimentaux sur les désintégrations  $K^0_L$* , G. BOUTANG (Laboratoire de Physique de l'Ecole Polytechnique).

27 janvier 1969, *Pour quelques dollars de plus...*, M. VELTMAN (Laboratoire de Physique théorique et Hautes Energies d'Orsay et Instituut voor Theoretische Fysica, Utrecht, Hollande).

3 février 1969, *Production de résonances dans la réaction  $\bar{p}p \rightarrow 6\pi$  et  $7\pi$  à 0,7 et 1,2 GeV/c*, J. SIAUD (Laboratoire de Physique nucléaire du Collège de France).

10 février 1969, *Résultats obtenus avec une chambre à bulles à haut taux de répétition et possibilités d'expérimentation ouvertes par cette technique*, J. BADIER (Laboratoire de Physique nucléaire de l'Ecole Polytechnique).

17 février 1969, *La réaction  $K^-p$  de 600 à 800 MeV/c. Etude sur les chambres proportionnelles à fil*, D. RAHM (Brookhaven National Laboratory et C.E.R.N.).

24 février 1969, *Diffusion diffractive et pôles de Regge*, TRAN N. TRUONG (Centre de Physique théorique de l'Ecole Polytechnique et Brown University, Providence, R. I., U.S.A.).

3 mars 1969, *Les hadrons et la théorie quantique des champs*, F. LURÇAT (Laboratoire de Physique théorique et Hautes Energies d'Orsay).

CONFÉRENCES DE LOUIS LEPRINCE-RINGUET  
(Année 1968-1969)

2 septembre 1968. *Annecy* : Congrès des Aumoniers de lycées, *Développement de la science et humanisme*.

9 décembre 1968. *Paris* : Elèves de l'Ecole Polytechnique, *Les nouvelles voies de la science*.

14 décembre 1968. *Paris* : Emission télévisée avec les professeurs Dubost, Bernard, Hamburger, Lhermitte, *La personnalité et les greffes*.

16 décembre 1968. *Paris* : Union nationale des Attachés de Presse, *L'information scientifique*.

23 décembre 1968. *Paris* : Palais de la Découverte, *L'antimatière* (Emission retransmise sur France-Culture le 7 janvier 1969, à 19 h 20, indicatif futur).

11 janvier 1969. *Paris* : Collège des Sciences sociales et économiques, *Développement de la Physique nucléaire*.

22 janvier 1969. *Paris* : Officiers de réserve à l'X, *Le développement de la science des particules fondamentales*.

10 mars 1969. *Cannes* : Grandes Conférences de Cannes, *Les Universités et les Grandes Ecoles*.

11 mars 1969. *Menton* : *Les Universités et les Grandes Ecoles*.

12 mars 1969. *Nice* : Centre Universitaire Méditerranéen, *Les Universités et les Grandes Ecoles*.

17 mars 1969. *Besançon* : Société franc-comtoise de Culture et Conférences Grammont, *La remise en question. Aspects scientifiques et humains*.

18 mars 1969. *Sochaux* : L'Université à l'Usine Peugeot, *La Constitution de la Matière*.

19 mars 1969. *Paris* : Comité central du Rayonnement français, *La remise en question, condition du progrès*.

27 mars 1969. *Paris* : Ecole française des Attachés de Presse, *L'information et la recherche scientifique*.

14 avril 1969. *Dijon* : Association bourguignonne culturelle, *La remise en question. Aspects scientifiques et humains*.

22 avril 1969. *Saint-Etienne* : Maison de la Culture, *La Culture et l'Enseignement supérieur en France et dans le Monde*.

28 avril 1969. Rouen : Groupements d'Etudiants, *Réflexions sur les Universités et les Grandes Ecoles*.

29 avril 1969. Armentières : Chambre de Commerce, *Développement des Laboratoires de recherche fondamentale*.

29 avril 1969. Lille : EDHEC, *La remise en question. Aspects scientifiques et humains*.

2 mai 1969. Marseille : Assises nationales de la Médecine, *La remise en question. Aspects scientifiques et humains*.

12 mai 1969. Toulouse : Ecole nationale supérieure de l'Aéronautique, *La remise en question. Aspects scientifiques et humains*.

13 mai 1969. Clermont-Ferrand : ADER, Centre de Formation permanente, *Les Sciences fondamentales (développement et hommes)*.

23 mai 1969. Paris : Ecole Bossuet, *Les nouvelles structures de la recherche*.

Trois émissions d'un quart d'heure à la Télévision (1<sup>re</sup> chaîne) :

12 décembre, *Les problèmes de l'enseignement supérieur* ;

28 janvier, *Les problèmes de l'enseignement supérieur* ;

5 mars, *La recherche fondamentale*.

#### ACTIVITÉ DU LABORATOIRE DE PHYSIQUE NUCLÉAIRE

Au cours de l'année 1968-1969, le laboratoire de Physique nucléaire a poursuivi son activité de recherche dans le domaine de la physique corpusculaire de haute énergie au moyen de la technique des chambres à bulles. De plus, il a entrepris l'étude et la réalisation d'un instrument de détection d'un type nouveau, la chambre à streamers, et de ce fait envisage de s'orienter partiellement dans l'avenir vers cette nouvelle technique.

##### A. — Développement de l'équipement

Le laboratoire a fait porter son effort en particulier sur les réalisations techniques d'appareils de dépouillement et de mesure automatique des clichés des nouvelles chambres à bulles, problème de plus en plus aigu pour les laboratoires de physique des particules, tant par le nombre croissant des clichés à analyser que par la rapidité indispensable à l'obtention des résultats.

## 1. — *Appareils de détection*

### a) *Chambre à bulles à haut taux de répétition*

Le laboratoire de Physique nucléaire, en collaboration avec le laboratoire de l'Ecole Polytechnique, a mené une série d'expériences sur les taux de répétition élevés dans une chambre à bulles à hydrogène expérimentale. Ces essais, effectués auprès du synchrotron Saturne du Centre d'Etudes nucléaires de Saclay, ont pris fin en février 1969.

Le but était d'étudier les phénomènes thermodynamiques au sein du liquide, et en particulier le temps nécessaire à l'extinction des bulles entre deux détente successives, dans une grande plage de pression, de température, de taux et de temps de détente, et à cadence élevée.

La grande souplesse du système de régulation thermique, ainsi que les caractéristiques mécaniques de la chambre et de ses accessoires, ont permis de fonctionner à des températures allant de 25 à 28° K et à des pressions variant entre 3 et 8 bars. La conception originale du système de détente à verrouillage et à récupération d'énergie, a autorisé l'atteinte d'une fréquence maximum de 45 cycles par seconde, en rafales de 2 à 15 détente successives toutes les quatre secondes, le taux de détente pouvant varier de 0,7 à 1,2 %, et le temps de détente, au niveau de la pression de vapeur saturante, de 6 à 15 millisecondes.

Les conditions optimales de fonctionnement se situent entre 26 et 27° K et à une pression de 1,5 à 2 bars plus élevée que celle correspondant à la température du liquide. Ces paramètres de fonctionnement ont en effet permis de mettre en évidence une disparition complète des bulles d'une détente à l'autre.

L'intérêt de ce travail se situe dans les perspectives qu'il vient d'ouvrir dans le cas où certaines expériences de physique nécessiteraient une chambre à bulles fonctionnant à un taux de répétition élevé (par exemple, augmentation du nombre des événements relatifs à des réactions de très faible section efficace).

L'ensemble de ces études et expériences a été dirigé par J. BADIER, ingénieur des poudres, docteur ès-sciences, et Ph. BRIANDET, chargé de recherche au C.N.R.S., assisté de Ph. DELCROS et Ch. GREGORY, ingénieurs de physique nucléaire de l'Enseignement supérieur, de J. CAILLET, assistant, de B. MONTES, dessinateur de physique nucléaire de l'Enseignement supérieur, de J. BOUNIAC et J.-C. CORNIC, agents contractuels du C.N.R.S., et de l'atelier du laboratoire, dirigé par J. MORINAUD, agent contractuel du C.N.R.S.

### b) *Chambre à « streamers »*

Dès la fin de 1968, une collaboration s'est établie entre les laboratoires de physique de l'Ecole Polytechnique, le laboratoire de Physique nucléaire



du Collège de France et le laboratoire de l'Accélérateur linéaire de la Faculté des Sciences d'Orsay en vue de construire en vraie grandeur un prototype de chambre à « streamers ».

La chambre à « streamers » est un instrument de détection qui visualise le passage des particules chargées au moyen de la lumière émise par les petites avalanches électroniques créées localement dans le gaz de la chambre par un champ électrique intense et de très courte durée. Par rapport à la chambre à bulles, cet instrument présente le gros avantage de pouvoir être déclenché (par un système adéquat de compteurs en coïncidence et anti-coïncidence), bien que par ailleurs il soit moins précis et que le milieu ne puisse pas servir de cible.

Les essais devraient commencer vers novembre 1969 et permettre, dans le courant de l'année 1970, de cerner les problèmes techniques et les performances à atteindre de ce système.

Une première expérience de physique utilisant ce mode de détection devrait être mise en place auprès du synchrotron à protons du Centre européen de Recherche nucléaire, au début de l'année 1971.

La participation des laboratoires du Collège de France et de l'Ecole Polytechnique à cette étude est dirigée par J. BADIÉ et R. VANDERHAGEN, chargé de recherche au C.N.R.S., assistés de Ph. DELCROS, Ch. GREGORY, J. CAILLET, B. MONTES, L. KALT et J.-C. CORNIC, tous deux agents contractuels du C.N.R.S., ainsi que J. MORINAUD et F. GEOFFROY, technicien de physique nucléaire de l'Enseignement supérieur.

## 2. — *Appareils de mesure*

Le développement de ces appareils se poursuit dans deux voies différentes : l'amélioration des appareils existants (I.E.P., F.S.D.), et la construction du lecteur à spirales digitisées (L.S.D.) et de « Coccinelle » pour le dépouillement et la mesure automatiques à spot électronique.

### a) *Amélioration des I.E.P.*

Le laboratoire de Physique nucléaire, avec la collaboration du laboratoire de Physique de l'Ecole Polytechnique, a terminé, durant la période fin 1968 début 1969, la connexion des appareils I.E.P. et « bidules à fils » et de l'ordinateur UNIVAC 418.

Les résultats escomptés par cette connexion ont été pleinement atteints : le programme de contrôle en temps réel permet de gérer immédiatement les mesures et évite les remesures ultérieures. Le gain de temps et d'efficacité obtenu permet d'espérer en moyenne la mesure de plus de 100 000 événements par an, avec un ensemble de dix I.E.P. en ligne. Un résultat partiel

sur un trimestre a donné 25 000 événements de topologies diverses (2 à 6 branches) avec un taux de rejet, après passage par les programmes de géométrie et de cinématique, inférieur à 5 %.

Cette mise en ligne des I.E.P. a été terminée dans le courant de 1968 et ne pose maintenant que des questions de maintenance.

L'équipe qui a mené à bien ce travail est composée de E. BARRELET, attaché de recherche au C.N.R.S., de M. DAVIDIAN, ingénieur de physique nucléaire de l'Enseignement supérieur, assistés de C. BIZEAU, A. BOZZONE, agents contractuels du C.N.R.S., et de A. SIMON, agent contractuel de l'Etat.

b) *Amélioration du F.S.D.*

Le fonctionnement de l'appareil a été assuré à deux postes, c'est-à-dire seize heures par jour, durant toute l'année, ce qui a permis, en un an, de mesurer 120 000 événements.

Ces deux postes ont été assurés par J. DA PIEDADE et M. TOURE, agents contractuels du C.N.R.S.

Des améliorations indispensables sont en cours de réalisation, car dans quelque temps se poseront des problèmes de largeurs de film. En effet, les grandes chambres actuellement en construction emploieront des films de 70 mm de largeur. Or, les presse-films et les dispositifs optiques actuellement utilisés ne permettent de mesurer que les films de 35 mm ou de 50 mm. Le nouveau dispositif qui sera mis en place au début de 1970 permettra de traiter indifféremment les films de différentes largeurs.

La maintenance du F.S.D., qui pose des problèmes délicats, est assurée, pour l'électronique, par C. GUIGNARD, ingénieur de physique nucléaire de l'Enseignement supérieur, docteur ès-sciences, G. REBOUL, ingénieur de physique nucléaire de l'Enseignement supérieur, et pour la mécanique et l'optique, par D. MARCHAND, dessinateur de physique nucléaire de l'Enseignement supérieur.

Ph. LEBLOND, agent contractuel du C.N.R.S. a amélioré les programmes de contrôle de l'appareil par le calculateur CDC 160 A.

Quant aux prémesures, qui fournissent les informations indispensables à la marche du F.S.D., elles ont été sensiblement améliorées. Le codage, les systèmes d'entraînement des films, une électronique très poussée ainsi que la mise des résultats directement sur bandes magnétiques incrémentales permettent une grande rapidité de mesure ainsi qu'une précision nettement supérieure aux précédentes.

Ces améliorations ont été dirigées par H. VIDEAU, attaché de recherche au C.N.R.S., assisté pour la mécanique de D. MARCHAND, pour l'optique, de

J. LEBOS, technicien de physique nucléaire de l'Enseignement supérieur, et pour l'électronique de G. MOYNOT, agent contractuel du C.N.R.S.

C. GHESQUIÈRE, maître de recherche au C.N.R.S., A. ROUGE, attaché de recherche au C.N.R.S., et C. GUIGNARD ont participé à ces travaux en aidant l'équipe en place de leurs conseils et de leur expérience.

Enfin, l'entretien, l'amélioration et l'exploitation du système filtre F.S.D. ont été assurés par P. FRENKIEL, maître-assistant de la Faculté des Sciences de Paris, A. VOLTE, attaché de recherche au C.N.R.S., B. TON THAT et F. FOFANA, agents contractuels du C.N.R.S.

Une version du système a été mise au point en vue d'utiliser la nouvelle calculatrice C.D.C. 6 600 qui est arrivée au mois de mai 1969, au Centre de Calcul de Physique nucléaire du quai Saint-Bernard.

Une nouvelle version du système a été étudiée en vue de constituer un système plus modulable qui utilise au mieux l'information provenant de la prémesure et qui permet d'inclure dans le programme la reconstruction géométrique ; outre l'accroissement d'efficacité (utilisation de la technique de préfiltrage), le but visé est de simplifier au maximum l'exploitation du système ainsi que son adaptation aux diverses expériences.

### c) *Construction du L.S.D.*

Nous rappellerons que cet appareil est construit en collaboration avec le C.E.R.N., à Genève, et est destiné à la mesure automatique de clichés de chambre à bulles par un système de pointé en coordonnées orthogonales pour la mesure des marques de références de la chambre et un système de balayage en spirale centré sur le sommet de l'événement à mesurer.

La construction de cet appareil est presque terminée.

L'ordinateur PDP 9 sur lequel est connecté l'appareil a été livré au début de l'année 1969. La connexion de l'électronique à l'ordinateur a été effectuée dans le courant du mois de janvier, ce qui a permis de tester les sous-ensembles de l'appareil, grâce à des programmes appropriés. Ces tests en ligne se poursuivront jusqu'à la fin de l'année 1969, période de démarrage prévue des mesures sur l'appareil.

L'ensemble des travaux concernant le L.S.D. est coordonné par C. GHESQUIÈRE. La responsabilité de la mise en marche de l'appareil est assurée par M. DAVIDIAN, assisté, pour l'électronique, de M. MOYNOT, ingénieur de physique nucléaire de l'Enseignement supérieur, de D. BOGET, technicien de physique nucléaire de l'Enseignement supérieur, et pour l'optique et la mécanique par D. MARCHAND et J. LEBOS.

Les programmes de calibration et de filtrage sont actuellement étudiés par LAI VAN THAP, collaborateur technique de l'Enseignement supérieur.

d) *Construction de l'appareil de dépouillement et de mesure automatiques à spot électronique (Coccinelle)*

Depuis 1968, la conception générale de l'appareil n'a pas été modifiée. La seule extension notable est l'approfondissement du dialogue de l'ordinateur avec l'opérateur. Ce dernier disposera comme outil d'un triple système de visualisation qui a été défini comme suit :

— Un oscilloscope de contrôle à mémoire, indépendant de l'ordinateur.

— Un oscilloscope, connecté à l'ordinateur, qui visualise une partie de la photographie. L'entretien des images est assuré automatiquement. L'opérateur peut intervenir sur les paramètres de fonctionnement (grandissement, interligne) par un clavier « fonction ». Il peut désigner des points de la photographie avec un crayon lumineux ; les coordonnées du point désigné sont alors transmises à l'ordinateur.

— Un oscilloscope périphérique de l'ordinateur, muni d'un générateur de vecteurs et de caractères alphanumériques, ainsi que d'un second crayon lumineux. Cet oscilloscope permet de présenter les données traitées sous une forme puissamment compacte, particulièrement adaptée à la prise d'une décision.

Cet effort de construction de visualisations a un double but : faciliter les mises au point, et permettre un dialogue poussé avec l'opérateur qui pourra apporter son aide dans les configurations difficiles.

1) *Appareillage*

— *Générateur de spot*

Les diverses parties du générateur de spot (tube à rayons cathodiques avec son unité de montage et ses alimentations, optique de transfert, presse-film, photomultiplicateur) ont été assemblées avec le concours, pour la partie optique et mécanique, de D. MARCHAND.

La qualité du spot a été testée. Un effort particulier a été nécessaire pour adapter les bobines de déflexion et de focalisation au tube cathodique.

La nécessité de balayer l'écran d'une façon rapide et précise a conduit G. FONTAINE, stagiaire de recherche au C.N.R.S., à étudier et à réaliser des amplificateurs de déflexion de caractéristiques particulièrement sévères.

— *Circuits logiques*

La logique de l'appareil a été étudiée et définie. En fonction des ordres de l'ordinateur, elle commande le balayage, elle assure le multiplexage et le transfert vers l'ordinateur des informations résultant du balayage. Ces circuits complexes et à débit rapide sont en cours de réalisation sous la direction de G. REBOUL.

D'autre part, une mémoire tampon, dont le cycle est de 150 ns et qui contient 16 mots de 24 digits, a été construite par M. DAVIDIAN. Elle est destinée à régulariser le flot d'information allant de l'appareil à l'ordinateur.

— *Traitement du signal*

L'étude des circuits associés aux lignes à retard a été effectuée par C. GUIGNARD, assisté de J.-C. LANCELOT, technicien de physique nucléaire de l'Enseignement supérieur.

Ces circuits posaient des problèmes difficiles, de par la largeur de bande et l'amplification à obtenir.

Le châssis contenant les 32 lignes à retard a été construit et les tests finals sont en cours.

Cette année a été essentiellement consacrée aux études et à l'assemblage des parties. L'année prochaine verra se dérouler des tests globaux de l'appareil.

2) *Programmation*

— *Système*

Un travail important a été réalisé au cours de l'année passée pour améliorer le système C.I.I. de la calculatrice 9 010. En particulier, A. VOLTE a remanié certains programmes essentiels comme le chargeur ; il s'est également occupé de mettre en œuvre le FORTRAN 9 010, mis au point à Saclay. De nombreux programmes de service ont également été mis au point par A. VOLTE, G. FONTAINE et A. DIONIGI, agent contractuel du C.N.R.S.

Enfin, un moniteur d'enchaînement, réalisé par B. EQUER, maître de recherche au C.N.R.S., et A. DIONIGI est en cours d'essai. Il devrait permettre une bien meilleure utilisation de la machine.

— *Simulation de l'appareil*

Pour vérifier ou pour déterminer certains paramètres importants de l'appareil, il était intéressant d'en faire une simulation par programme. Ceci a été réalisé par C. FRITSCH, agent contractuel du C.N.R.S., sur la calculatrice CDC 3 600. Le programme de simulation fournit des bandes magnétiques qui peuvent ensuite être visualisées sur l'oscilloscope digital de l'installation. Elles servent également à mettre au point les méthodes de recherche d'événements.

Les programmes de test indispensables pour connecter l'appareil à la calculatrice sont en cours d'écriture. Une première version du programme définitif est aujourd'hui commencée, qui permettra notamment la mesure dans le mode F.S.D.

### 3. — *Installations de calcul automatique*

#### a) *Exploitation et amélioration des installations du Centre de Calcul de Physique nucléaire du quai Saint-Bernard*

L'exploitation des installations du Centre de Calcul de Physique nucléaire du quai Saint-Bernard se poursuit de façon continue, à trois postes par jour, sept jours par semaine. Depuis la mise en service du système DRUMSCOPE, une grande souplesse de fonctionnement a été obtenue, en particulier pour les priorités accordées à certains travaux urgents. Malgré un taux de panne très faible, le Centre est saturé depuis plus d'un an.

Après une longue étude des installations proposées par trois constructeurs (C.D.C., I.B.M., UNIVAC) c'est une solution C.D.C. qui a été retenue, c'est-à-dire le remplacement de l'unité centrale de la 3 600 par une 6 600. La puissance de l'installation sera ainsi multipliée par un facteur 3 à 4.

Le nouveau matériel a été livré fin mai et sera mis en exploitation début juillet. Une période d'environ quatre mois a été prévue pour assurer le passage de la charge de calcul du Centre de la 3 600 à la 6 600.

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. TEILLAC et, par délégation, par P. FALK-VAIRANT, professeur à la Faculté des Sciences de Paris, et A. ASTIER, sous-directeur du laboratoire. Depuis le 1<sup>er</sup> octobre 1968, la direction du Centre est assurée par M. BLOCH, maître de conférences à l'Ecole Polytechnique. L'exploitation et la mise au point des systèmes a été effectuée par B. GARIC, agent contractuel du C.N.R.S., et Y. PETIT, ingénieur de physique nucléaire de l'Enseignement supérieur, ainsi que par le personnel propre au Centre de Calcul.

#### b) *Mise au point et améliorations des programmes généraux*

Sous la direction de P. RIVET, sous-directeur du laboratoire, l'amélioration des programmes généraux de traitement des données a été assurée par J. SIAUD et C. DEFOIX, chargés de recherches au C.N.R.S., assistés de A. DIONIGI, C. FRITSCH et J. LEBLANC, agents contractuels du C.N.R.S. De plus, un gros travail d'adaptation de ces programmes, conçus pour la C.D.C. 3 600, est en cours de réalisation afin que le passage à la C.D.C. 6 600 puisse s'effectuer sans pertes de temps inutiles.

### B. — *Activité de recherche proprement dite*

C'est toujours en collaboration étroite avec le C.E.R.N. que le laboratoire de Physique nucléaire poursuit ses expériences auprès du synchrotron à

protons au moyen des chambres à bulles à hydrogène liquide de 81 cm de Saclay et de 2 m du C.E.R.N. en attendant la fin de la construction de la très grande chambre européenne (3 m 70).

## 1. — INTERACTIONS $K^-$ PROTON A 3,9 GeV/c

Cette étude est effectuée en collaboration avec le laboratoire de Physique de l'Ecole Polytechnique.

La mesure des interactions  $K^- p$  à 3,9 GeV/c présentant 4 branches visibles, ou 2 branches et un  $V^0$ , s'achève (60 000 événements). L'étude portera essentiellement sur la production de résonances bosoniques  $K \pi$ ,  $K \pi \pi$ ,  $K^* \pi$ , sur la production des  $Y^*$  et sur les productions couplées telles que  $Y^* (1385) \rho$ .

Par ailleurs l'un des résultats intéressants, obtenus lors de l'étude des interactions  $K^- p$  de 3 GeV/c, étant l'existence possible d'un  $K^{*0}$  de masse voisine de 1 GeV — problème évoqué par A. ROUGÉ dans sa thèse — une attention particulière sera portée à 3,9 GeV/c aux systèmes résonnants ( $K^- \pi^+$ ) dans les réactions  $K^- p \rightarrow K^- \pi^+ n$ .

Cette étude est menée par A. ROUGÉ et H. VIDEAU, qui utilisent la chaîne FSD spécialement mise au point pour cette expérience.

## 2. — ANTIPROTONS DE 700 MeV/c : ANNIHILATION EN $\pi$ SEULEMENT

Les photographies ont été prises en novembre 1966 et février 1967. Le dépouillement en est terminé :

### a) *Annihilations en 2 et 4 branches*

Un premier ensemble de 17 000 événements a été mesuré sur le FSD, puis traité à l'aide de la chaîne des programmes généraux. L'analyse préliminaire de ce premier lot donnera lieu à deux communications au Congrès de Lund (juin 1969).

Cette analyse indique une émission préférentielle du méson  $\pi^+$  dans la direction de l'antiproton (et par suite du  $\pi^-$  dans la direction du proton) dans la réaction  $\bar{p} p \rightarrow \pi^+ \pi^-$ . Cette constatation est intéressante parce qu'elle donne lieu à une description de l'annihilation en terme d'échange de particules inhabituel. Pour des multiplicités de mésons  $\pi$  plus élevées, le sens de l'émission préférentielle s'inverse, et requiert une description différente de la création des mésons  $\pi$  au cours de l'annihilation. A ces valeurs de la multiplicité on observe la production des résonances  $\rho$ ,  $\eta^0$ ,  $\omega^0$ ,  $S^*$ ,  $A_2$ ,  $f^*$  (1515). L'analyse se poursuit en relation avec les résultats obtenus à

la même énergie dans les annihilations comportant l'émission de mésons lourds : on pense ainsi mettre en évidence les modes pioniques de désintégration de résonances non étranges observées dans les annihilations comportant des kaons.

L'équipe qui s'occupe de ces événements est composée de L. DOBRZYNSKI, chargé de recherche au C.N.R.S., et actuellement au C.E.R.N., A. NASCIMENTO, G. FONTAINE, A. CHEMAMA, attachés de recherche au C.N.R.S., et C. DEFOIX.

b) *Annihilations en 6 branches*

La mesure des événements (12 000) a été effectuée aux IEP et l'analyse est en cours. Elle a pour objet essentiel la recherche des modes de désintégration de résonances à haute multiplicité de  $\pi$ . Les états finals composés de  $3 \pi^+ 3 \pi^-$  semblent indiquer la présence de  $D^0$  et  $E^0$  se désintégrant dans la voie  $\rho^0 \pi^+ \pi^-$ .

Quant à l'étude de la réaction  $3 \pi^+ 3 \pi^- \pi^0$ , qui est dominée par la présence du méson  $\omega^0$ , elle aboutit à une observation des modes de désintégration du  $D^0$  en  $\eta^0 \pi^+ \pi^-$ , le système  $\eta^0 \pi^\pm$  ayant sa masse centrée au voisinage de 975 MeV (effet  $\delta^\pm$ ), compatible avec les résultats obtenus à 1,2 GeV/c. Cette étude est effectuée par J. SIAUD, P. RIVET et C. DEFOIX. Elle va se poursuivre en collaboration avec le C.E.R.N. qui effectue actuellement des mesures de la même réaction.

3. — ANTIPROTONS LENTS S'ARRÉTANT DANS LA CHAMBRE : ANNIHILATIONS  $\bar{p} p \rightarrow K \bar{K} \pi \pi$

L'étude des annihilations en quatre corps d'antiprotons à l'arrêt a montré la nécessité d'introduire une résonance  $K \pi \pi$ , appelée méson C. Cette expérience, réalisée en collaboration avec l'Institut de Physique nucléaire (Paris), un groupe du C.E.R.N. et un groupe de l'Université de Liverpool, a abouti aux résultats suivants concernant les nombres quantiques du méson C :

$$\left. \begin{aligned} M &= 1242 \begin{matrix} + \\ - \end{matrix} \begin{matrix} 9 \\ 10 \end{matrix} \text{ MeV} \\ \Gamma &= 127 \begin{matrix} + \\ - \end{matrix} \begin{matrix} 7 \\ 25 \end{matrix} \text{ MeV} \\ I &= 1/2 \\ J^P &= 1^+ \end{aligned} \right\}$$

Les résultats ont été publiés dans la revue Nuclear Physics. L'équipe chargée de ce travail était composée de A. ASTIER, J. COHEN-GANOUNA, M. DELLA NEGRA, chargés de recherche au C.N.R.S.



#### 4. — ANNIHILATIONS D'ANTIPROTONS DE 700 MeV/c COMPORTANT AU MOINS UN $K^0_1$ VISIBLE

L'analyse physique de cette expérience a donné lieu à de nombreux résultats :

a) L'histogramme de masse au voisinage de la résonance  $A_2$  obtenu à partir de la réaction  $\bar{p} p \rightarrow K^0_1 K^\pm \pi^\mp$  est compatible avec une structure semblable à celle obtenue dans d'autres expériences.

Les résultats concernant cette étude ont été publiés dans le revue *Physics Letters* (31 mars 1969).

b) Les réactions  $\bar{p} p \rightarrow K^0 \bar{K}^0$  et  $K^0_1 K^\pm \pi^\mp$  sont interprétées d'une façon satisfaisante lorsque l'on envisage l'hypothèse extrême d'un seul état de moment angulaire intervenant dans chacune de ces réactions :  $^3D_1$  pour  $\bar{p} p \rightarrow K^0_1 K^0_2$  et  $^3D_2$  pour  $K^0_1 K^\pm \pi^\mp$ . Ces résultats feront l'objet d'une communication à la Conférence Internationale de Lund (juin 1969) et paraîtront dans la revue *Nuclear Physics*.

c) Les réaction  $\bar{p} p \rightarrow K \bar{K} \pi \pi$  et  $K \bar{K} \pi \pi \pi$ .

— Le méson  $E^0$  (1 420 MeV) découvert dans les annihilations d'anti-protons à l'arrêt se manifeste à cette énergie. L'étude des nombres quantiques, poursuivie en particulier dans la voie  $\bar{p} p \rightarrow E^0 \pi^0$  (interdite dans les annihilations à l'arrêt par les nombres quantiques attribués au  $E^0$ ) montre que l'isospin du  $E^0$  est bien  $I = 0$ . Les résultats obtenus à cette énergie pour les autres nombres quantiques confirment les résultats obtenus à l'arrêt :  $I^G J^P = 0^+ 0^- (1^+)$ .

— Le méson  $D^0$  (1 285 MeV) découvert dans les annihilations à 1,2 GeV/c est présent à l'énergie de 0,7 GeV/c. L'étude de ce méson confirme les propriétés établies lors de l'étude à 1,2 GeV/c

$$\left\{ \begin{array}{l} I = 0 \\ J^P = 0^-, 1^+ \end{array} \right. \quad C = + 1$$

— L'état final  $K^0_1 (K^0) \pi^+ \pi^-$  montre une corrélation  $(K \bar{K} \pi)$  à  $I \neq 0$ . L'étude de cette corrélation permet de penser qu'on est en présence d'une nouvelle résonance qui a été appelée  $F_1$ . La masse de cette résonance est  $1 540 \pm 5$  MeV. Sa largeur est  $40 \pm 15$  MeV. Son isospin est 1. Son isoparité n'est pas connue. Quant à son spin et sa parité, ils sont très probablement « anormaux » ( $0^-, 1^+$  ou  $2^-$ ).

Ces résultats ont été adressés pour publication aux revues *Physics Letters* et *Nuclear Physics* (1969).

— Enfin, la même expérience a fourni d'utiles précisions concernant les effets du système  $K^0_1 K^0_1$  dénotés  $S^*$  (1 045 MeV) et  $f^*$  (1 520 MeV).

Cette étude a été menée en collaboration avec un groupe de chercheurs du C.E.R.N. L'équipe du laboratoire de Physique nucléaire du Collège de France qui a poursuivi cette étude était composée de Ch. d'ANDLAU, maître de recherche au C.N.R.S., J. COHEN-GANOUNA, M. DELLA-NEGRA, B. LÖRSTAD, attaché de recherche au C.N.R.S., et P. PETITJEAN, stagiaire de recherche au C.N.R.S.

#### 5. — ANNIHILATIONS D'ANTIPROTONS DE 500 MeV/c COMPORTANT AU MOINS UN $K^0_1$ VISIBLE

Une première série de clichés (100 000) a donné lieu à un dépouillement et une mesure. Cependant, les événements du type  $\bar{p} p \rightarrow K \bar{K} n\pi$  ne constituent pas un échantillon suffisant en vue d'une analyse physique poussée. Aussi une nouvelle expérience, à la même énergie, est-elle actuellement en cours au C.E.R.N. Cette expérience, qui fournira un échantillon de taille double, permettra d'analyser la production des résonances observées dans les annihilations d'antiprotons d'énergie voisine.

#### 6. — ANNIHILATIONS D'ANTIPROTONS DE 300 MeV/c AVEC AU MOINS UN $K^0_1$ VISIBLE

Le dépouillement de ces clichés est terminé. La mesure des événements commence et se poursuivra durant l'été 1969. L'exploitation des résultats de mesure débutera dans quelques mois.

L'équipe qui poursuit cette étude est la même que celle mentionnée ci-dessus.

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

Une expérience de diffusion élastique débute actuellement. Elle utilisera 650 000 clichés, répartis en treize bandes d'énergie de 0 MeV/c à 1 200 MeV/c, correspondant à un  $\Delta E \sim 20$  MeV dans le centre de masse anti-proton-proton. Chacune des bandes d'énergie comportera, en moyenne, 2 000 diffusions élastiques  $\bar{p} p$  dans l'hémisphère arrière. Le dépouillement et la mesure des premières séries de clichés sont en cours, cependant que se poursuit, au C.E.R.N., la prise des photographies nécessaires à cette étude.

L'équipe chargée de cette étude est la même que la précédente augmentée de P. LUTZ, stagiaire de recherches au C.N.R.S.

## 8. — ANTIPROTONS A L'ARRET. ANNIHILATIONS EN $\pi$

L'exploitation des 50 000 mesures, effectuées sur l'appareil F.S.D. du Collège de France, s'est poursuivie, et l'ensemble de ces événements, joints aux 70 000 mesurés au C.E.R.N., a permis de travailler sur un lot statistique de bonne qualité.

Les principaux sujets d'études ayant donné lieu à publication sont :

a)  $\bar{p} p \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ .

Cette réaction, dominée par les productions  $\rho \pi$  et  $f^0 \pi^0$ , présente des phénomènes intéressants d'interférence du  $\rho$  avec un fond non résonnant.

b)  $\bar{p} p \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+ \pi^-$ .

Cette réaction met en œuvre les productions associées  $f^0 \rho^0$ ,  $A_2 \pi$  et  $\rho^0 \varepsilon^0$ . Elle a permis, en particulier, d'examiner la possibilité de dédoublement du méson  $A_2$ .

c)  $\bar{p} p \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+ \pi^- \pi^0$ .

Une notable partie de cette réaction passe par la production intermédiaire  $\bar{p} p \rightarrow \omega^0 \pi^+ \pi^-$ . Ce canal est particulièrement intéressant, car il permet d'atteindre la résonance B se désintégrant en  $\omega^0 \pi^\pm$  : une étude du spin et de la parité de cette résonance a montré que l'hypothèse  $1^+$  est nettement favorisée.

L'ensemble des réactions b) et c) nous permet également d'établir avec une bonne certitude l'existence du méson  $\varepsilon^0$  (masse 800 MeV — largeur 300 MeV — spin 0) se désintégrant en  $\pi^+ \pi^-$ .

d)  $\bar{p} p \rightarrow \eta^0 \pi^+ \pi^-$  et  $X^0 \pi^+ \pi^-$ .

La réaction  $\bar{p} p \rightarrow \eta^0 \pi^+ \pi^-$  présente l'intérêt d'être un cas particulièrement facile d'étude de la désintégration du méson  $A_2$  en mode  $\eta^0 \pi^\pm$ .

Les autres canaux actuellement à l'étude sont les productions multineutres, en particulier la recherche de la production  $\bar{p} p \rightarrow \omega^0 \omega^0$  et des productions  $2 \pi^0 \pi^+ \pi^-$ .

Ces expériences sont poursuivies en collaboration avec un groupe du C.E.R.N.

L'équipe du laboratoire de Physique nucléaire du Collège de France qui mène ces études est composée de M. BLOCH, P. FRENKIEL, C. GHESQUIÈRE, E. LILLETØL, chargé de recherche au C.N.R.S. et A. VOLTE.

PUBLICATIONS

B. EQUER, et al., *Comparative analysis of the reaction  $\pi^- p \rightarrow \pi^+ \pi^- n$  at 8 and 16 GeV/c* (Nuovo Cimento A, LIII n° 3, p. 798-803, 1968).

C. GHESQUIÈRE, E. LILLESTØL en collaboration avec le C.E.R.N., *Production of three pions in  $\bar{p} p$  annihilations at rest* (Nuclear Physics, B 6, p. 107, 1968).

— En collaboration avec le C.E.R.N., *Experimental results on  $\bar{p} p \rightarrow \eta \pi^+ \pi^-$  and  $\bar{p} p \rightarrow X^0 \pi^+ \pi^-$  for annihilations at rest* (Nuclear Physics, B 8, p. 174, 1968).

C. DEFOIX, P. RIVET, J. SIAUD en collaboration avec le C.E.R.N., *Evidence for the existence of a narrow  $\eta^0 \pi^\pm$  resonance at 975 MeV, interpreted as a decay of the  $\delta^\pm$  meson, and evidence for a  $\delta^\pm \pi^\mp$  decay of the  $D^0$  meson* (Physics Letters, 28 B, n° 5, p. 353-355, 1968).

A. ASTIER, J. COHEN-GANOUNA, M. DELLA NEGRA en collaboration avec le C.E.R.N., l'I.P.N., Liverpool, *Existence and properties of the C-meson as observed in  $\bar{p} p$  annihilation at rest* (Nuclear Physics, B 10, p. 65-88, 1969).

J. COHEN-GANOUNA, M. DELLA NEGRA, B. LÖRSTAD en collaboration avec le C.E.R.N. et Liverpool, *Structure in the  $K \bar{K}$  decay mode of the  $A_2$  meson* (Physics Letters, 29 B, n° 1, p. 62-65, mars 1969).

Ch. D'ANDLAU, A. ASTIER, J. COHEN-GANOUNA, M. DELLA NEGRA, B. LÖRSTAD en collaboration avec le C.E.R.N.,  *$K^0_1 K^0_1$  enhancements as observed in annihilations of slow antiprotons in hydrogen* (Physics Letters, 29 B, n° 4, p. 241-244, 1969).

— *Evidence for a non-strange  $I = 1$  meson of mass 1540 MeV* (Physics Letters, à paraître 1969).

— *An analysis of the reaction  $\bar{p} p \rightarrow K^0 \bar{K}^0 \pi^+ \pi^-$  at 0.7 GeV/c and the spin-parity of the  $F_1$  meson* (Nuclear Physics, à paraître 1969).

— *A study of the reactions  $\bar{p} p \rightarrow K^0 \bar{K}^0$  and  $\bar{p} p \rightarrow K^0 K^\pm \pi^\mp$  at 0.7 GeV/c. Deduction on the quantum numbers of the initial state* (Nuclear Physics, à paraître 1969).

— *Analysis of the  $I = 0$  ( $K \bar{K} \pi$ ) resonances produced in  $\bar{p} p$  annihilations at 0.7 GeV/c : the  $D$ ,  $E$  and  $f$  mesons* (Physics Letters, à paraître 1969).

M. DELLA NEGRA en collaboration avec PADOUE, *The reactions  $\bar{p} p \rightarrow K \bar{K} \pi$  and  $\bar{p} n \rightarrow K \bar{K} \pi$  at rest* (Nuclear Physics ou Nuovo Cimento, à paraître 1969).

C. GHESQUIÈRE, E. LILLESTØL en collaboration avec le C.E.R.N., *Experimental results on the  $\omega$   $\pi$  and  $\pi$   $\pi$  systems as observed in  $\bar{p}$   $p$  annihilations at rest  $\bar{p} p \rightarrow \omega^0 \pi^+ \pi^-$  (Nuclear Physics, à paraître 1969).*

M. BLOCH, P. FRENKIEL, C. GHESQUIÈRE, E. LILLESTØL, A. VØLTE en collaboration avec le C.E.R.N., *Annihilations of  $\bar{p}$   $p$  at rest in hydrogen into 4 pions (Physical Review, à paraître 1969).*

E. LILLESTØL en collaboration avec R. BIZZARI et J. VANDERMEULEN, *Annihilation of  $\bar{p}$  at rest in deuterium and hydrogen (Review of Modern Physics, à paraître 1969).*

C. DEFOIX, L. DOBRZYNSKI, G. FONTAINE, A. NASCIMENTO, *Experimental results on 2-prong antiproton annihilations at 700 MeV/c :  $\bar{p} p \rightarrow \pi^+ \pi^-$  and  $\bar{p} p \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$  (Communication au Congrès de Lund, juin 1969).*

— *Experimental results on 4-prong antiproton annihilations at 700 MeV/c :  $\bar{p} p \rightarrow 2 \pi^+ 2 \pi^-$  and  $\bar{p} p \rightarrow 2 \pi^+ 2 \pi^- \pi^0$  (Communication au Congrès de Lund, juin 1969).*

C. DEFOIX, L. DOBRZYNSKI, A. NASCIMENTO, P. RIVET, J. SIAUD, *Preliminary study of  $D^0$  and  $E^0$  production through the  $\eta^0 \pi^+ \pi^-$  channel in 6-prong antiproton annihilations at 700 MeV/c (Communication au Congrès de Lund, juin 1969).*

A. CHEMAMA, C. DEFOIX, P. RIVET, J. SIAUD, *Experimental study of mechanism of antiproton-proton annihilation in the  $\bar{p} p \rightarrow 3 \pi^+ 3 \pi^-$  reaction at 1.2 GeV/c (Communication au Congrès de Lund, juin 1969).*

B. EQUER, G. FONTAINE, C. GUIGNARD, G. REBOUL, A. VOLTE, « *Cocci-nelle* », *un appareil pour la reconnaissance automatique et la mesure d'interactions sur les clichés de chambres à bulles (Journal de Physique appliquée, à paraître).*

D. BOGET, M. MOYNOT, G. REBOUL, *Traitement du signal video du lecteur en spirale (Journal de Physique appliquée, à paraître).*

P. FRENKIEL, B. TON THAT, A. VOLTE, *Système de traitement des données du F.S.D. du Collège de France (Journal de Physique appliquée, à paraître).*

E. BARRELET, C. BIZEAU, M. DAVIDIAN, J. GOLDBERG, J. HUC, J. RAGUET, *Connexion sur un ordinateur d'appareils de mesure de clichés de chambre à bulles (Journal de Physique appliquée, à paraître).*

G. REBOUL, *L'exploitation de l'appareil F.S.D. du Collège de France (Journal de Physique appliquée, à paraître).*

G. FONTAINE, C. GUIGNARD, *Normalisation des signaux de sortie de photomultiplicateurs dans l'analyse des clichés (Journal de Physique appliquée, à paraître).*

C. GUIGNARD, D. MARCHAND, M. MOYNOT, *Le transport de film L.S.D.* (*Journal de Physique appliquée*, à paraître).

B. EQUER, C. GUIGNARD, G. REBOUL, A. VOLTE, « *Coccinelle* », *a device for automatic pattern recognition and event measurement on bubble chamber photographs* (Proceedings of the International Conference on Advanced Data Processing for Bubble and Spark Chambers, Argonne, octobre 1968, présenté par G. REBOUL).

### THÈSES

Le 26 mars 1969, M. André ROUGÉ a soutenu une thèse de doctorat es sciences physiques intitulée : *Etude des résonances mésoniques étranges produites en association avec un nucléon dans les interactions  $K^-$  nucléon à 3 GeV.*

Le 21 avril 1969, M. Alain CHEMAMA a soutenu une thèse de doctorat de 3<sup>e</sup> cycle de physique intitulée : *Annihilations  $\bar{p} p$  en 6 et 7 mésons  $\pi$  à 1,2 GeV/c.*

Le 2 juin 1969, M. Claude GUIGNARD a soutenu une thèse de doctorat es sciences appliquées intitulée : *L'électronique dans les appareils automatiques de traitement d'information photographique pour la physique des particules élémentaires.*

Le 6 juin 1969, M. Bengt LÖRSTAD a soutenu une thèse de doctorat es sciences physiques intitulée : *Etude des annihilations antiproton-proton à 700 MeV/c du type :  $\bar{p} p \rightarrow K K n \pi$ ,  $n = 0, 1, 2, 3$ .*

### CONFÉRENCES ET CONGRÈS

A. ASTIER, M. BLOCH, C. GHESQUIERE et A. ROUGE ont participé à la Conférence internationale sur la Physique des Hautes Energies à Vienne, du 28 août au 5 septembre 1968.

A. ASTIER a enseigné à l'Ecole d'Eté de Physique des Particules élémentaires à Herceg-Novı, septembre 1968. Le sujet du cours était : *Parametrization of the scattering amplitude by scattering length and Breit-Wigner formulae.*

E. LILLESTØL a enseigné à l'Ecole d'Eté de Physique des Particules élémentaires à Herceg-Novı, septembre 1968. Le sujet du cours était : *Planning of an experiment on an H.P.D. and reliability of the system.* Ce cours a été rédigé en collaboration avec P. FRENKIEL et A. VOLTE.

En septembre 1968, M. BLOCH, M. DAVIDIAN, G. FONTAINE, M. MOYNOT, G. REBOUL, B. TON THAT, A. VOLTE ont participé à l'« International Colloquium on Nuclear Electronics » à Versailles, du 10 au 13 septembre 1968.

B. EQUER et C. GUIGNARD ont participé à la Conférence internationale sur la Reconnaissance des Formes, à Grenoble, en septembre 1968.

G. REBOUL et B. TON THAT ont participé à New York Beach, California, U.S.A., du 21 au 23 octobre 1968 à la Conférence SWAP.

Ils ont participé à l'International Conference on Advanced Data Processing for Bubble and Spark Chambers, à Argonne National Laboratory, Argonne, U.S.A., du 28 au 30 octobre 1968.

M. BLOCH, C. DEFOIX, G. FONTAINE, P. FRENKIEL, C. GHESQUIERE, C. GUIGNARD, J. LEBOIS, D. MARCHAND, M. MOYNOT, G. REBOUL, B. TON THAT, H. VIDEAU et A. VOLTE ont participé au Congrès d'Instrumentation nucléaire de Strasbourg, du 4 au 6 décembre 1968.

A. ASTIER a participé à la Conférence-débat sur l'antimatière qui s'est tenue au Palais de la Découverte le 23 décembre 1968.

Il a fait une conférence sur la Physique nucléaire et la Physique des Particules aux élèves de l'Ecole militaire de l'Air à l'Ecole Polytechnique le 20 février 1969.

Il a ouvert la série de conférences données au Palais de la Découverte sur la Physique des Particules en avril-mai 1969 par une conférence intitulée : *La physique des particules de haute énergie*, 15 mars 1969.

E. LILLESTØL a donné un cycle de conférences à l'Université de Liège, du 15 au 17 avril 1969, sur : — *Identification et évaluation automatique des cas de réactions dans les photographies de chambre à bulles. — Méthodes de Monte-Carlo. — Utilisation de la représentation tensorielle dans les analyses de spin.*

B. EQUER a donné, dans le cadre d'un cycle de conférences sur l'Informatique, organisé à la Faculté des Sciences de Paris, une conférence sur le sujet suivant : *L'Informatique dans la Recherche en Physique fondamentale*, le 23 avril 1969.

A. ASTIER a donné une conférence au Centre international des Stages à un groupe d'universitaires québécois, en voyage d'information en France, le 8 mai 1969, sur *La recherche fondamentale en France, et en particulier la physique des hautes énergies.*