

Physique nucléaire

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

Etudes expérimentales de la violation de C, de P, de CP, de CPT, de T dans les désintégrations faibles. Le cours présente les principaux tests expérimentaux dont on dispose pour étudier l'invariance des opérateurs CPT, P, C, T et PC dans les différents types d'interaction. Ce cours se décompose en deux parties : tout ce qui ne concerne pas la violation de PC a été traité cette année mais la violation de PC associée au méson neutre K^0 fera l'objet du cours de 1968-1969. L'ensemble des deux cours forme un tout sur les expériences susceptibles de tester les invariances dont il est question.

Le cours commence par une introduction sur l'étude des interactions faibles : tout d'abord l'interaction universelle de Fermi puis la théorie dite V-A qui suppose que seuls existent dans la nature pour les interactions faibles les couplages vectoriel et axial avec une relation de phase entre les deux : la théorie du neutrino à deux composantes vérifiée par l'expérience est cohérente avec ces deux seuls couplages. On rappelle aussi la théorie du courant vectoriel conservé et on amorce sa généralisation sous la forme proposée par Cabibbo en passant du triplet isovectoriel du courant vectoriel conservé à un octet de SU3 comme on l'a fait pour les mésons où le K et le π se trouvent associés au sein d'un même octet.

CHAPITRE 1. Invariance CPT

Le premier chapitre concerne l'invariance CPT : si on se place dans le cadre d'une théorie de champ local, invariante sous le groupe continu de Lorentz, on établit qu'elle l'est automatiquement sous CPT et ses permutations.

La conservation de CPT permet de prévoir l'égalité des grandeurs : champ électrique, moment magnétique, facteurs de forme divers, masse, vie moyenne entre une particule et son anti-particule. La suite du chapitre présente une discussion en liaison avec CPT. On peut montrer, à partir notamment de la très faible différence de masse entre le K^0_L et le K^0_S , que CPT est conservé avec une précision considérable pour les interactions fortes et

électromagnétiques ainsi que pour la partie non-leptonique à $\Delta S = 0$ des interactions faibles : l'amplitude violant CPT ayant par rapport à l'amplitude conservant CPT une valeur maximum de 10^{-14} pour les interactions fortes, 10^{-12} pour les électromagnétiques, 10^{-8} pour les faibles non leptoniques avec $\Delta S = 0$.

Par ailleurs les mesures d'égalité de masse et de vie moyenne entre les π , les μ , les K positifs et négatifs sont discutées ainsi que les mesures de largeurs partielles des désintégrations des mésons K. Les discussions sont parfois délicates : ainsi pour $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$ et $K^- \rightarrow \pi^- \pi^0$, ces deux taux doivent être égaux si CPT est conservé mais à condition de négliger les effets électromagnétiques. Cette égalité est par ailleurs indépendante de la conservation de PC. Dans le cas où il y a plusieurs possibilités, c'est la somme des taux qui doivent être égaux par conservation de CPT : taux $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$ + taux $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0 \pi^0$ = la somme des taux correspondant au K^- : les taux partiels seraient égaux si en outre PC était conservé. Une expérience en cours au CERN cherche à comparer ces taux partiels mais on manque de résultats suffisants pour le K^- .

On peut également faire des considérations analogues pour le $K_l 4$ mais le taux correspondant est très faible et ne permet pas de disposer de résultats expérimentaux assez sûrs : néanmoins, il y a là de bons tests pour vérifier séparément la conservation de CPT et de CP.

CHAPITRE 2. *Violation de la parité P*

On sait, depuis 1956, que la parité est violée dans les interactions faibles. Ce chapitre reprend les principales expériences qui ont été réalisées pour tester cette violation à partir du premier problème qui s'est posé à l'occasion des deux modes de désintégration du méson K^+ en 2 π et en 3 π (le puzzle τ , θ). Désintégration du K en 2 π et en 3 π , expérience de Madame Wu sur le Co^{60} , désintégration du π en $\mu \nu$, polarisation de μ dans la désintégration du π .

On reprend les définitions des paramètres d'asymétrie $\alpha \beta \gamma$ et l'on étudie en particulier le cas des hyperons Σ chargés. Cette dernière expérience fait aussi intervenir la conservation de T et les règles concernant la variation des spins isotopiques.

Conservation de P dans les interactions fortes et électromagnétiques. Certaines expériences de réaction nucléaire permettent de donner une limite supérieure de l'amplitude violant P par rapport à celle conservant P. Ce rapport est inférieur à 10^{-5} , ce qui est de l'ordre de grandeur de la constante de couplage sans dimension des interactions faibles. Ce résultat est valable pour l'ensemble des interactions fortes ou électromagnétiques.

D'autres expériences montrent que la parité est conservée avec une bonne précision dans les interactions fortes : par exemple la polarisation du Λ^0 qui

est normale au plan de production ou encore certaines réactions du type $\bar{p}p \rightarrow KK^*X$ (Dobrzynski et Montanet) où X est un ensemble de particules. On peut tester P ainsi que C et T à l'aide des distributions angulaires observées. Les résultats confirment l'invariance de PC et de P avec une précision de l'ordre de 1 % pour les interactions fortes.

CHAPITRE 3. Conservation de la conjugaison de charge C

Interactions fortes. La conservation de P, qu'on établit par exemple dans certaines réactions nucléaires, entraîne celle de CT (compte tenu de celle de CPT). Comme on montre que T est également conservé par des considérations de balance détaillée et de réciprocité des réactions nucléaires, on voit que C est conservé (la proportion d'amplitude violant C est inférieure à 2 %). On peut tester la conservation de C dans un certain nombre d'expériences. En général, la précision est au maximum de 1 % et souvent moins bonne. Ainsi, à partir de la désintégration du $\pi^+\pi^-$ en K^0_s , on peut donner une limite supérieure de l'ordre de 1 % pour une éventuelle violation de C dans les interactions fortes.

Dans les désintégrations du $\omega^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ ou du $X^0 \rightarrow \eta^0\pi^+\pi^-$, une éventuelle asymétrie entre π^+ et π^- pourrait être en rapport avec la non conservation de C.

Le ω^0 en $\eta^0\pi^0$ permet de tester la conservation de C dans les réactions électromagnétiques. D'autres expériences avec anti-protons sur protons permettent aussi de tester la conservation de C. Rien n'indique la violation à la précision de 1 %.

Interactions électromagnétiques :

On peut considérer, pour les leptons, l'interaction électromagnétique comme invariante sous C mais il n'existe pas d'évidence quant à la conservation électromagnétique de C pour les réactions avec hadrons, aucun résultat décisif ne ressortant des expériences faites en physique nucléaire ou sur les facteurs de forme électromagnétiques des nucléons. On décrit certaines désintégrations qui sont en liaison avec la conservation électromagnétique de C : $\eta^0 \rightarrow \pi^0e^+e^-$, $X^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$, $\eta^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi\gamma$, $\eta^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$, $\pi^0 \rightarrow 3\gamma$, $\varphi^0 \rightarrow \omega^0\gamma$, $\varphi^0 \rightarrow \varrho^0\gamma$, $\omega^0 \rightarrow 3\pi$. Pour les interactions faibles on sait que C est violé tout comme P. Il en a été question précédemment.

CHAPITRE 4. Renversement du temps T

Interactions fortes. On peut diffuser des protons polarisés sur des noyaux d'atome. La discussion de l'expérience en fonction notamment du spin du noyau et de la direction de polarisation du proton montre que les résultats sont compatibles avec la conservation de P pour les centres diffuseurs suivants : Fe, Co, Ni.

Une autre façon de tester la conservation de T est d'étudier les réactions nucléaires et leurs inverses : par exemple $Mg^{24} + \alpha \rightarrow Al^{27} + p$. Si T est conservé, on doit avoir, à énergie donnée pour ces réactions, égalité entre les sections efficaces après une correction correspondant aux facteurs d'espace de phase, de spin, de seuil, etc. Si T n'est pas conservé, l'amplitude de transition comporterait deux termes : l'un, important, conservant T et un autre, petit, violant T. L'expérimentateur doit rechercher les conditions qui renforcent l'importance relative du petit terme. Les expériences correspondantes sont discutées : on trouve que la proportion d'amplitude violant T est inférieure à 2,4 %.

T dans les interactions électromagnétiques : On pourrait tester T par l'observation de l'effet Compton : $\gamma + p \rightarrow \gamma + p$. Une violation de T se traduirait par la polarisation du proton de recul ou, si la cible est polarisée, une asymétrie dans la distribution angulaire. L'expérience n'a pas encore été faite.

On peut aussi utiliser une réaction lepton 1 + baryon 1 \rightarrow lepton 2 + baryon 2. La diffusion des électrons sur des protons qui apparaît comme la première à envisager ne peut servir à cause de l'identité de masse des deux baryons : le terme qui serait sensible à la violation de T est alors nul par suite de la conservation du courant électromagnétique.

En revanche, les réactions telles que $1 \pm N \rightarrow 1 \pm N, \Sigma^0 \rightarrow \Lambda^0 e^+e^-$ sont utilisables : dans le cas du Σ^0 on mesure la composante de la polarisation du Λ^0 normale au plan de désintégration du Σ^0 . L'expérience a donné pour le Σ^0 une violation de 2 ± 2 %. On peut encore utiliser les réactions par γ sur H, tritium, deutérium. Il s'agit de comparaisons avec les réactions inverses.

T dans les interactions faibles :

Tout d'abord pour les réactions dans lesquelles il n'y a pas de changement d'étrangeté ($\Delta S = 0$) comme la radioactivité β . La conservation de T exige que g_V/g_A soit réel : v et A se rapportent au courant vectoriel et au courant axial. On trouve expérimentalement que $\text{Arg}(g_V/g_A) = 180 \pm 8^\circ$. On sait que $K_L^0 \rightarrow 2\pi$, réaction qui viole PC. Il se peut que cette violation soit de nature faible mais on peut évoquer l'éventualité d'une violation forte ou électromagnétique par des processus intermédiaires. On montre que la partie imaginaire de A_2/A_0 doit être nulle si T est conservé, A_2 étant l'amplitude correspondant à $\Delta I = 3/2$ et A_0 celle correspondant à $\Delta I = 1/2$.

On peut encore tester T dans les faibles par l'étude du K_L^0 . Egalement par le coefficient β de la désintégration du Λ^0 qui confirme en gros la conservation de T. On peut encore étudier le $K\mu^3$. On mesure la composante de la polarisation du μ normale au plan de désintégration : cette composante doit être nulle si T est conservé (nombreuses expériences, notamment avec les chambres à étincelles).

Enfin, la mesure du moment électrique dipolaire du neutron fournit certains tests pour la conservation de P et T. Il est utile de faire des mesures très précises pour tester l'hypothèse où T ne serait violé que dans les interactions faibles.

CHAPITRE 5. *Violation de PC dans les interactions faibles et électromagnétiques*

On peut dire déjà que les résultats connus sur CPT et T impliquent dans une large mesure la conservation de PC dans les interactions faibles.

Plus précisément : l'étude de la désintégration du K_{l3}^{\pm} permet de tester la conservation de PC. Cette conservation exige : a) l'identité de distribution angulaire pour le K_{l3}^{+} et le K_{l3}^{-} ; b) l'identité des lois de variation pour la composante de Pl normale au plan de la désintégration (composante qui doit être nulle si T est conservé) ; c) l'identité des lois de variation pour la composante de Pl parallèle à ce plan.

Ce test n'est pas lié à la conservation de T ni de CPT.

On peut aussi étudier le Kl 4 : la conservation de PC requiert certaines correspondances pour deux réactions conjuguées de Kl 4.

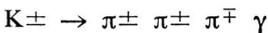
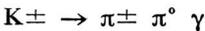
Pour la désintégration du K en 3 π , la conservation de PC exige :

a) l'identité entre le spectre d'énergie du π^{+} issu du τ^{-} et celui du π^{-} issu du τ^{+} ;

b) l'égalité des largeurs du τ^{+} et du τ^{-} ainsi que de celle du τ'^{+} et du τ'^{-} (le τ donne 3 mésons π chargés, le τ' 2 mésons π neutres et 1 chargé).

On trouve expérimentalement :
$$\frac{\Gamma(K \pi 3 +)}{\Gamma(K \pi 3 -)} - 1 = (0,04 \pm 0,20) \cdot 10^{-2}.$$

On peut encore étudier la désintégration radiative du K chargé sous les deux modes :



Le cours se poursuit par des considérations sur le lagrangien effectif et les facteurs de forme des K. On sait que l'hamiltonien fondamental des interactions faibles n'est pas connu. On les décrit par un lagrangien effectif qui remplace l'élément de la matrice S. On étudie les formes que peut prendre ce lagrangien pour les diverses classes d'interactions faibles : l'interaction purement leptonique (désintégration du μ), semi-leptonique sans changement d'étrangeté (désintégration β) et avec changement d'étrangeté (désintégration du méson K en $\pi l \nu$ ou $l \nu$). A part la désintégration du μ , toutes les interactions faibles font intervenir des hadrons, ce qui rend nécessaire l'intro-

duction des facteurs de forme dans la partie hadronique du lagrangien effectif. On examine en particulier les facteurs de forme des nucléons dans la désintégration β et dans la capture du μ . Par suite de la conservation du courant vectoriel, les facteurs de forme liés aux couplages vectoriels dans les interactions faibles sont les mêmes que ceux intervenant dans la diffusion électromagnétique des électrons par des protons. On développe ensuite l'étude des facteurs de forme introduits pour la désintégration leptonique des K en $K_{\mu\nu}$ et en $K_{e\nu}$. Un cas particulièrement intéressant est précisément celui des facteurs de forme du K_{l_3} . On montre qu'il faut introduire deux facteurs de forme f^+ , f^- , ce dernier terme étant négligeable dans le cas particulier du K_{e3} . Pour le $K_{\mu 3}$, l'élément de matrice des hadrons peut s'écrire

$$f_+(a + b \xi) \quad \xi \text{ étant } \xi = \frac{f^-}{f^+}; \quad a \text{ et } b \text{ sont des fonctions de l'énergie du } \pi,$$

du μ et ne dépendent pas de ξ qui est un paramètre complexe, fonction de q^2 , carré de la somme des quadrimoments de la paire de leptons. Le taux de désintégration du $K_{\mu 3}$ est donné par la formule

$$\Gamma(K_{\mu 3}) = |f^+|^2 (A + B \operatorname{Re} \xi + C |\xi|^2)$$

où A, B, C sont des coefficients numériques. On obtient le facteur $|f^+|^2$ à partir de la probabilité de désintégration en K_{l3} .

Depuis que l'on a mis en évidence le mode $K^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ qui viole CP, il est intéressant d'étudier l'invariance par rapport au temps dans la désintégration des K en $\pi l \nu$ où l'on peut également réaliser des tests relatifs à la conservation de CP. Si T est violé dans K_{l3} , ξ est un nombre complexe. Il y a donc trois paramètres réels à déterminer, à savoir $|f^+|$, $\operatorname{Re} \xi$ et $\operatorname{Im} \xi$. On peut faire deux sortes de mesures : d'une part un rapport de branche-

ment $\frac{\Gamma(K_{\mu 3})}{\Gamma(K_{l3})}$ et aussi la polarisation du μ . Les mesures de polarisation

permettent d'obtenir $\operatorname{Im} \xi = -0,014 \pm 0,066$. La valeur moyenne de $\operatorname{Re} \xi$ est de $-0,9 \pm 0,3$ pour le K^\pm et de $-1,4 \pm 0,3$ pour le K^0 . Ceci est à partir de la polarisation du μ . Par ailleurs le rapport d'embranchement $K_{\mu 3}/K_{l3}$ donne $\operatorname{Re} \xi = 0,5 \pm 0,4$; on trouve dans l'expérience X_2 faite au CERN par divers groupes dont l'Ecole Polytechnique $\operatorname{Re} \xi = -0,2 \pm 0,3$ en supposant ξ indépendant de q^2 .

Le cours se termine par des considérations générales sur le renversement du temps d'une part et sur l'invariance de CPT d'autre part : on montre que cette invariance est interprétable par la notion de la réflexion forte c'est-à-dire d'une réflexion d'espace-temps. La conservation de CPT peut être considérée intuitivement comme produisant l'invariance des lois de la physique dans le renversement du repère d'espace-temps.

APPENDICE

TABLEAU DES PRINCIPAUX TESTS DE LA CONSERVATION DE CPT, P, C, T, PC

C P T

I - Interactions fortes.

Ecart de masse entre K_L^0 et K_S^0 : conservation à $\sim 10^{-14}$ près.

II - Interactions électromagnétiques.

Ecart de masse entre K_L^0 et K_S^0 : conservation à $\sim 10^{-12}$ près.

III - Interactions faibles

1°) *Non leptoniques à $\Delta S = 0$.*

— Ecart de masse entre K_L^0 et K_S^0 : conservation à $\sim 10^{-8}$ près.

2°) *Purement leptoniques.*

— Ecart entre les vies de μ^+ et μ^- : résultats très compatibles avec la conservation [P. R. 132, 2693 (1963)].

3°) *Semi-leptoniques à $\Delta S = 0$.*

— Ecart entre les vies de π^+ et π^- : vérification assez grossière de la conservation [P.R.L. 16, 775 (1966)].

4°) *A $\Delta S = 1$.*

— Ecart entre les vies de K^+ et K^- : vérification assez grossière de la conservation [P.R.L. 17, 548 (1966)].

— Ecart entre les largeurs du $K_\mu 2^+$ et du $K_\mu 2^-$.

— Egalité entre modes + et — du taux du $Kl 4$ chargé.

— Comparaison des diagrammes de Dalitz pour le $Kl 3^+$ et le $Kl 3^-$.

— Egalité des taux de $K\pi 3^+$ et $K\pi 3^-$ comme de $K\pi 2^+$ et $K\pi 2^-$ (limitée à quelque 10^{-4} près seulement par suite d'effets électromagnétiques).

P.

I - Interactions fortes

— Réactions nucléaires : l'amplitude violant P est inférieure à 10^{-5} fois celle conservant P [Boehm et Kankeleit, P.R.L. 14, 312 (1965)].

— Polarisation du Λ^0 produit dans $K^-p \rightarrow \Lambda^0 \pi^0$: on ne lui trouve pas de composante dans le plan de production.

— Expérience de Dobrzyński et Montanet [P.L., 22, 105 (1966)].

II - Interactions électromagnétiques

Réactions nucléaires : l'amplitude violant P est inférieure à 10^{-5} fois celle conservant P.

III - Interactions faibles.

Forte violation de P mise en évidence dans les expériences suivantes :

- Asymétrie des électrons émis par des noyaux polarisés [expérience de Madame Wu ; P.R. 105, 1413 (1957)].
- Polarisation longitudinale des μ émis dans $\pi \rightarrow \mu \nu$.
- Asymétrie des électrons dans : μ polarisé $\rightarrow e \nu \bar{\nu}$: expérience de Lederman [P.R. 105, 1417 (1957)].
- Non nullité du paramètre d'asymétrie α dans les désintégrations faibles non leptoniques des hyperons (exemple : mesures récentes pour Σ^+ et Σ^-).

C.

I - Interactions fortes.

La conservation de CPT, P et T entraîne celle de C (à 2 % près).

- A l'aide d'un modèle et à partir d'un graphe comprenant un intermédiaire fort, on peut déduire du faible taux de désintégration de K^0_2 en $\pi^+ \pi^-$ une limite supérieure pour la violation forte de C : cette limite, de l'ordre de 1 %, dépend de l'hypothèse faite sur la conservation de l'isospin pour l'amplitude violant C.
- Recherche d'une asymétrie entre π^+ et π^- pour $\omega^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$, ainsi que pour $X^0 \rightarrow \eta^0 \pi^+ \pi^-$.
- Dans l'annihilation d'un antiproton non polarisé : $\bar{p}p \rightarrow \pi^+ \pi^-$ ou $K^+ K^-$, on recherche une différence éventuelle entre les spectres des particules conjuguées ; on en use de même entre les états $K^{*+} K^-$ et $K^{*-} K^+$, qui s'échangent dans C.

II. - Interactions électromagnétiques

1°) Des Leptons.

Expériences précises sur le moment magnétique du μ et le Lamb shift.

2°) Hadroniques.

- Evaluation des taux $\frac{\eta^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^0}{\eta^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0}$ et $\frac{\omega^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0 \gamma}{\omega^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma}$.

- Recherche d'asymétrie entre π^+ et π^- : pour $X^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma$, $\eta^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma$, et surtout $\eta^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$: pour cette dernière réaction, la violation de C a été évaluée à $(0,3 \pm 1 \%)$ au CERN [P.R.L. 16, 1224 (1966)] [CERN-Saclay. Rapport à la Conférence de Berkeley (1966)].
- Recherche de réactions interdites par la conservation de C : $\pi^0 \rightarrow 3 \gamma$ [P.L., 19, 253 (1965)], $\varphi^0 \rightarrow \omega^0 \gamma$, $\varphi^0 \rightarrow \varrho^0 \gamma$.
- Recherche de la réaction $\eta^0 \rightarrow \pi^0 e^+ e^-$ (qui ne peut exister sans violer C qu'avec un taux extrêmement faible) [P.L. 22, 219 (1966)].
- Recherche d'une amplitude électromagnétique violant C dans $\omega^0 \rightarrow 3\pi$.

III. - Interactions faibles.

Forte violation de C (cf. étude de P) :

- expérience de Madame Wu ;
- expérience de Ledermann ;
- hélicité du μ dans $\pi \rightarrow \mu \nu$.

T.

I - Interactions fortes.

- Diffusion de protons polarisés sur un noyau : résultats compatibles avec la conservation de T [P.R.L. 2, 98 (1959)].
- Réactions nucléaires (micro-réversibilité ou « balance détaillée ») : la violation de T est inférieure à 2,4 % [P.L. 23, 97 (1967) et P.R.L. 19, 524 (1967)].

II - Interactions électromagnétiques.

- Effet Compton : $\gamma p \rightarrow \gamma p$.
- Réaction : lepton 1 + baryon 1 (masse m_1) \rightarrow lepton 2 + baryon 2 (masse $m_2 \neq m_1$).
A Berkeley on trouve une violation de T de $(2 \pm 2) \%$.
- Réactions : $\gamma + n \rightleftharpoons \pi^- + p$, $\gamma + p \rightleftharpoons \pi^+ + n$, $\gamma + D \rightleftharpoons n + p$,
 $\gamma + H^3 \rightleftharpoons \pi^- + H_e^3$, $\gamma + H_e^3 \rightleftharpoons \pi^+ + H^3$ [P.R. 148, 1520 (1966)].
- Moment électrique dipolaire du neutron.

III - Interactions faibles.

1°) $A \Delta S = 0$.

- Radioactivité β^- : $n \rightarrow p e^- \bar{\nu}$: résultats compatibles avec la conservation de T.
- Réaction de radioactivité β^+ : $N_e^{19} \rightarrow F_e^{19} e^+ \nu$.

2°) $A \Delta S \neq 0$.

— $K_L^0 \rightarrow 2 \pi$: voir PC.

— K1 4 : égalité recherchée des déphasages entre les 3 amplitudes de l'onde P du dipion et celle de l'onde S.

— Déphasage entre les ondes S et P dans $\Lambda^0 \rightarrow p \pi^-$: égalité attendue avec celui de la diffusion $p \pi^-$ à $s = M_{\Lambda}^2$.

— $K_{\mu} 3$: épreuve de nullité pour la composante de la polarisation du μ produit, normale au plan de la désintégration [cf. rapport à la conférence de Berkeley (1966)].

P C.

I - Interactions fortes.

La conservation de CPT et de T assure celle de PC.

II - Interactions électromagnétiques.

— L'invariance sous PC est garantie par l'invariance sous P et sous C.

— Désintégration radiative du K chargé : on aurait certainement une violation électromagnétique de PC si l'on trouvait une violation très supérieure à 10^{-6} (limite approximative pour une origine exclusivement faible).

III - Interactions faibles.

— $K_L^0 \rightarrow 2 \pi$ (expérience de Cronin) ; PC est violé, il s'agit d'établir que la violation est bien faible [P.R.L. 18, 25 (1967)].

— K1 3^{\pm} : comparaison des distributions angulaires et de la polarisation du lepton chargé, entre les modes (+) et (—).

— K1 4^{\pm} : comparaison entre deux modes conjugués, des distributions de l'état final, ainsi que des amplitudes des ondes S et P du dipion et de leurs déphasages.

— $K\pi 3^{\pm}$: identité du spectre d'énergie du π^+ venant du τ^- et de celui du π^- venant du π^+ ; égalité des largeurs $\Gamma_{\tau^+} = \Gamma_{\tau^-}$ et $\Gamma_{\nu^+} = \Gamma_{\nu^-}$.

COLLOQUES DE PHYSIQUE NUCLÉAIRE

Le cours a été suivi des colloques suivants :

8 janvier 1968, *Evidence for axial vector mesons*, par M. G. GOLDHABER (University of California, Berkeley, U.S.A.).

15 janvier, *Désintégrations chargées du méson η^0* , par M. A. MULLER (C.E.N., Saclay).

22 janvier, *Etude de la production 3π et 4π dans les annihilations d'anti-protons à l'arrêt*, par M. C. GHESQUIÈRE (Laboratoire de Physique nucléaire, Collège de France).

29 janvier, *Chambres géantes et expériences neutrino*, par M. A. LAGARRIGUE (professeur à la Faculté des Sciences d'Orsay).

5 février, *Inelastic proton-proton interactions at high energy*, par M. A.M. THORNDIKE (Brookhaven National Laboratory, N.Y., U.S.A.).

12 février, *Etude expérimentale des facteurs de forme de la désintégration $K_{\mu 3}$* par M. P. PETIAU (Laboratoire de Physique, Ecole Polytechnique).

19 février, *Production de η^0 , ω^0 et X^0 dans les annihilations d'antiprotons à l'arrêt*, par M. R. SALMERON (Laboratoire de Physique, Ecole Polytechnique).

26 février, *Recent results on the magnetic moment of the muon*, par M. F. FARLEY (C.E.R.N., Genève).

4 mars, *Désintégration du K_L^0 en $2\pi^0$* , par M. L. BEHR (Laboratoire de Physique, Ecole Polytechnique).

CONFÉRENCES DE LOUIS LEPRINCE-RINGUET

PENDANT L'ANNÉE 1967-68

14 novembre 1967, à Rome, 3^e Congrès mondial pour l'apostolat des laïcs : *L'homme d'aujourd'hui*.

7 novembre 1967, Joinville, Ecole nationale supérieure d'Education sportive : Présidence de la rentrée scolaire et exposé sur la science et les sports.

21 novembre 1967, Paris, Cercle interallié : semaine du rayonnement français, présidence de la séance sur la science française.

13 janvier 1968, Paris, Ecole Polytechnique : Centenaire de Charles Fabry, *Charles Fabry et l'enseignement à l'Ecole Polytechnique*.

27 janvier 1968, Paris, Palais de la Découverte : *Les conditions de la découverte dans la physique des particules fondamentales*.

18 février 1968, Paris, Jeunesses musicales : Présidence de l'assemblée nationale des JMF, *Exposé sur la musique*.

21 février 1968, Marseille, Faculté des Sciences : *Recherches récentes sur les particules fondamentales.*

22 février 1968, Nice, Centre universitaire méditerranéen : *La remise en question, attitude scientifique, attitude humaine.*

24 février 1968, Menton, Colloque poétique : *Sommes-nous des poètes ?*

29 février 1968, Montpellier, Faculté des Sciences et Association des amis de l'Université : *La remise en question.*

1^{er} mars 1968, Arles, Association La Cévénole : *Les particules fondamentales de la matière.*

2 mars 1968, Montpellier, Groupement des Ingénieurs, Etudiants, Chercheurs : *Spécialisation et culture générale chez les scientifiques.*

3 mars 1968, Clermont-Ferrand, Ingénieurs des Arts et Métiers et I.U.T. : *Les conditions du travail scientifique.*

7 mars 1968, Paris, Ecole Normale supérieure : Colloque avec les élèves sur la recherche scientifique.

12 mars 1968, Paris, Elèves de l'Ecole de l'Air : Leçon inaugurale, *Exposé sur la physique nucléaire.*

20 mars 1968, Paris, Saint-Gobain, *Quel sera le type d'homme capable d'assumer des responsabilités dans le monde industriel de demain ?*

28 mars 1968, Association Fra Angelico, *Considération sur l'Art et la Science.*

3 mai 1968, Louvain, Société scientifique de Bruxelles : *La remise en question, attitude scientifique, attitude humaine.*

11 mai 1968, Paris, Hôpital Broussais : *Les conditions techniques et humaines de la recherche scientifique.*

8 juillet 1968, Madrid, Junta de l'Energie Nucléaire : *Violation de P, C, T, PCT dans les divers types d'interactions.*

9 juillet 1968, Madrid, Université : *La grande aventure scientifique, Table Ronde sur la physique des hautes énergies en Europe et dans le monde.*

Tous les mois émission d'un quart d'heure à la Télévision (1re chaîne, 20 h 30).

Juin 1967, *La bombe atomique chinoise* ; septembre 1967, *L'Education* ; octobre 1967, *L'Accélérateur Serpukhov* ; novembre 1967, *Madame Curie et les femmes* ; décembre 1967, *La fusée Vénus (l'Etoile de Bethleem)* ; janvier 1968, *L'Equipe (la greffe du coeur)* ; février 1968, *Jeux Olympiques - Le Sport* ; mars 1968, *La Musique* ; avril 1968, *Les technocrates.*

ACTIVITÉ DU LABORATOIRE DE PHYSIQUE NUCLÉAIRE

Au cours de l'année 1967-1968 l'activité de recherche du laboratoire de Physique nucléaire s'est poursuivie dans le domaine de la physique corpusculaire de haute énergie. Comme durant les années antérieures cette recherche a utilisé exclusivement la technique des chambres à bulles.

A. - Développement de l'équipement

Le développement s'est poursuivi dans les différents domaines liés à cette technique : étude de nouveaux appareils de détection, amélioration des appareils de mesure semi-automatiques et automatiques déjà installés, étude de nouveaux appareils de mesure automatiques, enfin amélioration des moyens de calcul automatique.

1. - Etude de nouveaux appareils de détection.

Le laboratoire de Physique nucléaire a terminé, en collaboration avec le laboratoire de l'Ecole Polytechnique, la construction de la chambre à bulles à hydrogène liquide expérimentale à hauts taux de répétition. Elle a été mise en service auprès du synchrotron Saturne du Centre d'Etudes nucléaires de Saclay à la fin de l'année 1967.

Le but de la série d'expériences projetées est de résoudre les problèmes posés par les hauts taux de répétition. A cet effet les caractéristiques de la chambre ont été choisies de manière que l'étude puisse se poursuivre sur de grandes plages de pression, de température, de taux et de temps de détente, et à cadence élevée.

Les premières expériences ont consisté à rendre la chambre sensible et à éprouver certains appareillages de conception originale, parmi lesquels on peut citer le système de détente à verrouillage et à récupération d'énergie et les systèmes de régulation thermique.

Ces premiers essais sont très prometteurs. On peut espérer, avec un fonctionnement à température et pression plus élevées (27° K et 8 bars) que celles habituellement utilisées dans une chambre classique, obtenir au niveau de la pression de vapeur saturante un temps de détente extrêmement court de 5 millisecondes. Les premières tentatives de cadence rapide ont permis d'atteindre une fréquence d'une vingtaine de cycles par seconde.

Les essais consistant à étudier les phénomènes thermodynamiques relatifs à la détente du liquide doivent commencer incessamment et se prolonger durant une partie de l'année 1969.

Des études sur des appareillages annexes sont menées en parallèle et doivent permettre d'améliorer l'exploration des différents paramètres.

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

2. *Appareils de mesure.*

Le développement des appareils de mesure s'est poursuivi dans quatre voies différentes : l'amélioration de la technique des appareils de mesure semi-automatique (IEP), l'amélioration de l'appareil automatique F.S.D. et des programmes spéciaux de calcul qu'il nécessite, la construction de l'appareil à lecture en spirale LSD, et l'étude de l'appareil de dépouillement et de mesure automatique à spot électronique (coccinelle).

a) *Technique classique de mesure de clichés (IEP).*

Le laboratoire de Physique nucléaire a poursuivi, au cours de la période 1967-1968, avec la collaboration du laboratoire de Physique de l'Ecole Polytechnique, la connexion directe des appareils de mesure IEP au calculateur UNIVAC 418.

Le projet prévoit, pour la fin de 1968, le branchement sur le calculateur de 17 appareils de mesure.

Les dispositifs électroniques liés à chacun des 17 appareils de mesure sont actuellement fabriqués en série par une entreprise extérieure, suivant les plans fournis par le laboratoire. La livraison complète de l'ensemble sera effective avant le mois d'août 1968. Actuellement 7 de ces dispositifs sont en service et semblent donner toute satisfaction.

La mise en place de ces appareils et leur maintenance sont supervisées par M. M. DAVIDIAN, ingénieur de physique nucléaire de l'Enseignement supérieur, assisté de MM. A. SIMON et A. BOZZONE, agents contractuels du C.N.R.S. La gestion des mesures est assurée par M. C. BIZEAU, agent contractuel du C.N.R.S. L'ensemble de la coordination est assurée par M. E. BARRELET, attaché de recherche au C.N.R.S.

b) *Appareil de mesure automatique FSD.*

1. *Marche de l'appareil.*

Cet appareil est entré cette année dans une phase de production.

Il a en effet mesuré, de septembre 1967 à mai 1968, environ 85 000 événements (chacun constitué de 3 clichés), correspondant à des expériences diverses : antiprotons à l'arrêt (35 000), antiprotons de 3,6 GeV/c (41 000), K^- de 4 GeV/c (8 000) et antiprotons de 700 MeV/c (1 000).

Aucune de ces expériences n'est d'ailleurs terminée. Les mesures vont se poursuivre au cours de l'année prochaine.

L'ensemble des travaux concernant le FSD a été coordonné par M. M. BLOCH, docteur ès-sciences, maître de conférences à l'Ecole Polytechnique. La maintenance de l'appareil a été assurée, en ce qui concerne la mécanique et l'optique, par M. D. MARCHAND, dessinateur de physique nucléaire de l'Enseignement supérieur, en ce qui concerne l'électronique, par MM. C. GUIGNARD et G. REBOUL, ingénieurs de physique nucléaire de l'Enseignement supérieur.

M. Ph. LEBLOND, agent contractuel du C.N.R.S., a terminé la mise au point du programme de contrôle de l'appareil par le calculateur CDC 160 A. Ce programme se caractérise par un dialogue relativement poussé entre l'opérateur et le calculateur par l'intermédiaire d'une machine à écrire connectée.

Les diverses commandes et visualisations ayant été regroupées, un opérateur unique assure la marche de l'appareil de mesure et du calculateur auquel il est connecté.

Après quelques mois de fonctionnement à un poste, l'appareil est rapidement passé à un mode d'exploitation à deux postes, c'est-à-dire 16 heures par jour. Deux opérateurs assurent cette exploitation : MM. J. DA PIEDADE et M. B. TOURÉ.

Devant l'afflux de photographies à mesurer au FSD, les chercheurs demandent dès maintenant le passage à 3 postes. Celui-ci pourrait être réalisé dans le courant de cette année.

Une étude systématique des distorsions de l'appareil a été entreprise, grâce à l'aide du « Rutherford High Energy Laboratory » qui a fait réaliser une mire très précise et mis au point un programme de calculs.

L'adaptation de ce programme à l'appareil du Collège de France a été réalisé par M. G. REBOUL en collaboration avec un programmeur du Centre d'Etudes nucléaires de Saclay. Il passe actuellement sur le calculateur CDC 6600 de Saclay.

Les premiers résultats sont en cours d'analyse, ils sont déjà très encourageants.

Enfin, pour fournir à l'appareil FSD les informations indispensables à sa marche et à son contrôle, de nouvelles tables de pré mesure ont été construites, qui se caractérisent par une plus grande précision dans le codage, une plus grande rapidité dans la mesure, ainsi que par la mise des résultats sur bande magnétique incrémentale.

Ces travaux ont été dirigés par M. H. VIDEAU, attaché de recherche au C.N.R.S. La réalisation est due, pour l'optique, à M. J. LEBOIS, technicien supérieur de physique nucléaire de l'Enseignement supérieur, pour la mécanique, à M. D. MARCHAND, et, pour l'électronique, à Mme G. BANASIK, agent contractuel du C.N.R.S.

Cette équipe a bénéficié des conseils de M. C. GHESQUIERE, maître de recherche au C.N.R.S., de M. A. ROUGÉ, attaché de recherche au C.N.R.S., et de M. C. GUIGNARD.

2. *Le système filtre FSD.*

Les améliorations et les modifications du programme de calculs assurant le filtrage des données (système filtre FSD) ont été assurées par MM. P. FRENKIEL, maître-assistant de la Faculté des Sciences de Paris, A. VOLTE, attaché de recherche du C.N.R.S., et B. TON THAT, agent contractuel du C.N.R.S.

Les modifications de l'ensemble du système ont été rendues indispensables par la modernisation du Centre de Calcul de physique nucléaire du quai Saint-Bernard (ensemble de calculateurs CDC 3300-3600), en particulier à la suite des changements intervenus dans la table de mémoires rapides réservées aux programmes, et surtout à la suite de la mise en service du système d'exploitation DRUMSCOPE.

Le système a été amélioré essentiellement dans le sens d'une plus grande efficacité dans la recherche des croix de référence et d'une plus grande précision dans la détermination des paramètres de l'appareil FSD.

D'autres modifications ont été apportées, qui permettent de traiter désormais tous les événements intéressants d'un même cliché.

A noter que la nouvelle version du système permet maintenant de traiter les événements en provenance des clichés de la chambre à bulles à hydrogène liquide de 2 m.

Le perfectionnement de la méthode de filtrage ainsi que l'amélioration d'une technique de programmation ont permis un gain de l'ordre de 10 % dans la vitesse de calcul.

Au cours de l'année écoulée, le système filtre FSD a traité environ 2 000 événements $K^- p$ de 3 GeV/c, 35 000 événements $\bar{p} p$ à l'arrêt et 1 000 événements $\bar{p} p$ de 700 MeV/c.

L'exploitation du système a été assurée par M. B. TON THAT, assisté de M^{lle} N. CLERET et de M. F. FOFANA, agents contractuels du C.N.R.S.

c) *Lecteur en spirale digitisée (LSD).*

La construction de cet appareil, entreprise en collaboration dans le courant de 1966, par le Laboratoire de Physique nucléaire du Collège de France, le Laboratoire de Physique nucléaire de l'Ecole Polytechnique et la division des

chambres à traces du C.E.R.N., s'est poursuivie au cours de l'année 1967-1968. Le prototype de l'appareil est en cours d'essai au C.E.R.N. et le second appareil est en cours d'installation dans les locaux du laboratoire de Physique nucléaire du Collège de France.

Cet appareil de mesure automatique de clichés de chambre à bulles utilise à la fois un système de pointé en coordonnées orthogonales pour la mesure des marques de référence de la chambre et un système de balayage en spirale centré sur le sommet de l'événement à mesurer. Les points des traces sont alors digitisés en coordonnées polaires. Les coordonnées lues sur des codeurs optiques sont mises sur bande magnétique sous forme digitale par l'intermédiaire d'un petit calculateur de type PDP 9 (de Digital Equipment Corporation).

La calculatrice contrôle également un certain nombre de fonctions de l'appareil : avance automatique du film, positionnement précis du sommet de l'événement, mesure automatique des marques de référence, contrôle de la mesure... Toutefois, l'appareil n'est pas laissé entièrement au contrôle de la calculatrice : un opérateur surveille le déroulement des opérations et intervient en cours de mesure pour des contrôles et corrections fines.

Les premiers essais sur l'appareil prototype ont donné satisfaction. La précision de l'appareil est celle attendue théoriquement. Un certain nombre de perfectionnements sont en cours de réalisation en vue d'atteindre la pleine rentabilité de l'appareil et un taux de mesure de l'ordre de 100 à 120 événements/heure (soit 100 à 120 ensembles de 3 clichés). La mise en service de l'appareil au Collège de France devrait s'effectuer courant 1969.

L'équipe du Laboratoire de Physique nucléaire du Collège de France contribuant à l'étude et la réalisation du L.S.D. est constituée d'un groupe d'ingénieurs et techniciens : MM. M. DAVIDIAN, C. GUIGNARD, G. REBOUL, et M. MOYNOT, ingénieurs de physique nucléaire de l'Enseignement supérieur, pour la partie électronique ; MM. J. LEBOIS, et D. MARCHAND pour les parties mécanique et optique. M. C. GHESQUIERE a assuré la coordination de cette tâche.

d) *Appareil de dépouillement automatique et de mesure automatique à spot électronique (coccinelle).*

La conception générale de l'appareil dont les premiers éléments ont été commandés en 1967 a évolué. En effet un appareil nommé POLLY est entré en fonctionnement au « Argonne National Laboratory ». Cet appareil utilise les mêmes éléments constitutifs que Coccinelle : spot électronique contrôlé par un petit calculateur. Son originalité tient au fait qu'il permet une analyse de la photographie par petites zones rectangulaires au moyen de balayages de type télévision, 32 directions de balayage étant possibles. Tirant bénéfice de cette idée, le laboratoire de Physique du Collège de

France a revu la conception de la logique de son appareil afin qu'il puisse être exploité suivant 3 modes de fonctionnement :

1) *mode de « dépouillement automatique ».*

L'information est d'abord résumée en petits éléments orientés à l'aide du système de lignes à retard, puis le calculateur en déduit la topologie. Dans ce mode la précision est moyenne ($\sim 30\mu$ sur le film).

2) *mode « Polly ».*

Les traces repérées précédemment sont suivies par une suite de petits balayages perpendiculaires à leur direction ; les coordonnées ainsi détectées sont alors traitées dans le calculateur qui en déduit la position précise de la trace (précision de l'ordre de 4μ sur le film).

3) *mode FSD.*

On suppose les traces repérées de façon approchée. Toute la photographie est analysée par un balayage de télévision comme dans le FSD ; les coordonnées des points détectés dans les zones utiles sont écrites sur bande magnétique. Le traitement de ces données s'effectue ensuite sur une grosse calculatrice par la chaîne des programmes FSD.

La réalisation a commencé progressivement cette année et entre maintenant dans son plein développement.

L'état d'avancement est le suivant :

1) *Appareillage.*

L'oscilloscope de précision Ferranti a été reçu, monté et testé. Un dispositif spécial de mesure de la haute tension (20 KV) avec une précision de 5.10^{-5} a été construit au laboratoire par M. G. FONTAINE, stagiaire de recherche au C.N.R.S. L'optique de transfert du spot électronique sur le film a été commandée et vient d'être reçue. Les circuits permettant l'utilisation des lignes à retard comme mémoires analogiques et la détection des corrélations entre impulsions mémorisées ont été conçus et sont en cours de mise au point par M. G. REBOUL, assisté de M. J.C. LANCELOT, technicien supérieur de physique nucléaire de l'Enseignement supérieur.

2) *Programmation.*

Le calculateur CII 90-10 vient d'être livré et les premiers travaux de programmation ont commencé. Les principes de programmation des éléments orientés détectés par le système de lignes à retard ont été établis par M. A. VOLTE, ainsi que l'organisation logique de la programmation.

Les travaux sont effectués pour la partie optique et mécanique par M. D. MARCHAND, pour la partie électronique et la programmation par MM. G. FONTAINE, C. GUIGNARD, J. C. LANCELOT, G. REBOUL, B. Ton THAT et A. VOLTE.

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 s'est poursuivie d'abord à deux postes par jour, puis d'une manière continue (y compris les samedis et dimanches), interrompue seulement par la maintenance journalière.

Malgré la mise en service du système « DRUMSCOPE », qui a bien amélioré le passage des petits travaux, l'installation est aujourd'hui saturée. Aussi le Centre a-t-il procédé à une large consultation des divers constructeurs afin de substituer aux calculateurs actuels des calculateurs plus puissants. Les offres reçues ont été minutieusement étudiées, et le Centre de Calcul a procédé à des essais de programmes aussi complets que possible sur des installations aussi proches que possible des installations proposées par les trois constructeurs retenus (CDC, IBM, UNIVAC). Le contrat préparé avec le constructeur choisi a été adressé pour approbation aux diverses commissions qui ont à en connaître. Il serait souhaitable que les nouvelles installations soient en place au début de 1969.

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, et, par délégation, par M. P. FALK-VAIRANT, professeur à la Faculté des Sciences de Paris, et M. A. ASTIER, sous-directeur du laboratoire. La gestion technique a été assurée par M. P. RIVET, sous-directeur du laboratoire. La mise au point des systèmes a été effectuée par M^{me} B. GARIC, agent contractuel du C.N.R.S., MM. Y. PETIT et K. DANG QUOC, ingénieurs contractuels de l'Enseignement supérieur, et les ingénieurs programmeurs du Centre de Calcul.

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

La mise au point des programmes généraux de traitement des données provenant des clichés de chambre à bulles et leur amélioration incessante ont été poursuivies tout au long de l'année sous la direction de M. P. RIVET, par M^{me} J. SIAUD et M. C. DEFOIX, chargés de recherche au C.N.R.S., assistés de M^{me} A. DOBRZYNSKI, M^{lle} C. FRITSCH, et M. J. LEBLANC, agents contractuels du C.N.R.S.

De plus le même groupe se préoccupe déjà de l'adaptation de ces programmes généraux aux futurs calculateurs.

B. - *Activité de recherche proprement dite*

Au cours de l'année 1967-1968, l'activité de recherche proprement dite s'est poursuivie dans le domaine de la physique des particules de haute énergie. De nouvelles expériences ont été effectuées auprès du synchrotron à protons du C.E.R.N. tant au moyen de la chambre à bulles à hydrogène liquide de

80 cm du C.E.N. de Saclay qu'au moyen de la chambre à bulles à hydrogène liquide de 2 m du C.E.R.N., cependant que se poursuivait l'analyse des expériences effectuées antérieurement.

1. Mésons K^- de 3 GeV/c et 3,9 GeV/c.

L'expérience de K^- de 3 GeV/c est aujourd'hui terminée. Ses résultats font l'objet de la thèse de M. A. ROUGÉ. Il s'agit essentiellement de l'étude des résonances $K\pi$, $K\pi\pi$, $K^*\pi$ dans la région (1200-1450) MeV.

A l'analyse de cette expérience fait suite l'analyse d'une autre expérience de K^- , de 3,9 GeV/c cette fois, réalisée en collaboration avec le laboratoire de physique de l'Ecole Polytechnique. Cette analyse est effectuée au Collège de France par M. H. VIDEAU qui s'occupe plus particulièrement des événements à 4 branches visibles et à 2 branches plus un V^0 qui doivent être traités par la chaîne FSD. 7 000 événements ont déjà été digitisés et leur exploitation est en cours pour préparer le passage en production du reste de l'expérience. Elle est destinée à étudier la production de résonances mésoniques et baryoniques.

C'est pour cette expérience qu'a été mise au point la chaîne de prémesure pour les photographies de la chambre à bulles à hydrogène liquide de 2 m du C.E.R.N. Il y a lieu de noter que c'est la première fois que les événements présentant plus d'un apex sont passés au FSD en Europe. Toutes les autres expériences portaient sur des configurations plus simples.

2. Antiprotons de 1,2 GeV/c : annihilations en $K \bar{K} 3 \eta$ et $K \bar{K} 4 \pi$.

L'analyse de ces annihilations met en évidence la production de K^* (890), de ρ , d' ω^0 , d' η^0 et de D^0 (1290). Les productions associées $D^0 \rho^0$, $D^0 \eta^0$ et $D^0 \omega^0$ ont permis d'étudier de façon précise les nombres quantiques du méson D^0 . On a ainsi montré que son isospin est zéro et que son isoparité est positive ; mais son spin et sa parité ne sont pas encore complètement déterminés. La détermination des nombres quantiques dépend en effet de la manière dont on interprète la désintégration du D^0 en $K \bar{K} \pi$: si l'on suppose que la structure $(K \bar{K})^\pm$ observée au seuil dans cette désintégration est le même phénomène que celui observé dans les annihilations d'antiprotons à l'arrêt, on trouve que la valeur la plus probable du spin du D^0 est zéro, et sa parité serait négative.

Les résultats relatifs à cette étude ont été publiés dans la revue Nuclear Physics (15 mai 1968).

Cette étude a été menée en collaboration avec l'Institut de Physique nucléaire de la Faculté des Sciences de Paris, un groupe de chercheurs du C.E.R.N. et un groupe de l'Université de Liverpool. L'équipe du laboratoire de Physique nucléaire du Collège de France comprenait MM. Ch. D'ANDLAU, maître de recherche au C.N.R.S., A. ASTIER, L. DOBRZYNSKI, attaché de recherche du C.N.R.S., docteur ès sciences, et M^{me} J. SIAUD.

3. Antiprotons de 1,2 GeV/c : annihilations en π seulement.

Durant l'année 1967-1968, l'analyse des clichés d'antiprotons de 1,2 GeV/c (annihilations en 6 branches visibles) a été poursuivie au Collège de France sur l'ensemble des résultats des mesures effectuées, non seulement au Collège de France, mais également au C.E.R.N. et à l'Institut de Physique Nucléaire de la Faculté des Sciences de Paris.

L'analyse a porté sur les annihilations en 6π et 7π . L'étude du mécanisme d'annihilation et la production des résonances ont été l'objet essentiel de cette analyse. L'étude a porté en particulier sur la production du D^0 et l'éventuelle présence de l'effet δ^\pm dans les annihilations en $3\pi^+ 3\pi^- \pi^0$: les résultats sont compatibles avec une production de D^0 se désintégrant en $\eta^0 \pi^+ \pi^-$, le système $\eta^0 \pi^\pm$ ayant sa masse concentrée au voisinage de 970 MeV (masse de l'éventuel δ^\pm).

Cette étude a été effectuée par M^{me} J. SIAUD, M. C. DEFOIX et M. A. CHEMAMA, stagiaire de recherche au C.N.R.S.

4. Antiprotons de 700 MeV/c : annihilations en π seulement.

Les clichés ont été pris entre novembre 1966 et février 1967. Le dépouillement en est actuellement terminé.

a) Annihilations en 2 et 4 branches.

L'expérience portera sur 50 000 événements qui vont être mesurés au FSD. Actuellement plus de deux tiers des événements ont été prémesurés et la mesure au FSD est commencée.

b) Annihilations en 6 branches.

Leur mesure est en cours aux I.E.P. Des résultats préliminaires portant sur l'analyse de 4 500 événements 6 branches semblent compatibles avec les résultats obtenus à 1,2 GeV/c. L'équipe qui a la charge de l'étude de ces annihilations en 2, 4 et 6 branches, est composée de M^{me} J. SIAUD, M. L. DOBRZYNSKI et A. NASCIMENTO, agent contractuel au C.N.R.S.

5. Annihilations d'antiprotons de 700 MeV/c comportant au moins un K^0_1 visible.

L'étude des annihilations d'antiprotons de 700 MeV/c a été réalisée sur 400 000 clichés. Les principaux résultats obtenus dans l'analyse de cette expérience sont les suivants :

a) $\bar{p} p \rightarrow K^0 \bar{K}^0$.

Ce type d'annihilation a conduit à une analyse en ondes partielles : l'annihilation $\bar{p} p \rightarrow K^0 \bar{K}^0$ semble dominée par une interaction dans l'onde D. L'hypothèse extrême où cette interaction a lieu dans la voie 3D_1 pure rend compte assez correctement de la distribution angulaire expérimentale.

b) *Etude des réactions $\bar{p}p \rightarrow K\bar{K} n\pi$ avec $n = 1,2,3$.*

L'analyse des annihilations $\bar{p}p \rightarrow K\bar{K} n\pi$ montre une production du méson E° (1420 MeV) découvert dans les annihilations à l'arrêt. Son isospin et son isoparité sont 0^+ . Par contre, il est impossible, dans cette expérience, de déterminer complètement son spin et sa parité, qui peuvent être aussi bien 0^- que 1^+ .

Le méson D° est produit selon les voies $D^\circ \pi^\circ$ et $D^\circ \pi_0^\pm \pi_0^\mp$. L'analyse de cette résonance est en cours.

Dans l'état final $K_1^\circ K_1^\circ \pi^+ \pi^-$, le phénomène appelé S^* ($M \sim 1045$ MeV) qui est assez abondant, semble mieux décrit par une relation de Breit-Wigner que par une paramétrisation faisant obtenir une longueur de diffusion.

Par ailleurs, dans l'état final $K_1^\circ [K_1] \pi^+ \pi^-$, on observe sur le spectre $M^2 (K_1^\circ [K_1] \pi^\pm)$ une accumulation d'événements au voisinage de la masse $\frac{M^2 (K_1^\circ \bar{K}_1 \pi)}{(K_1^\circ \bar{K}_1 \pi)}$ à $I \neq 0$.

Enfin dans l'état final $K_1^\circ K_1^\circ \pi^\circ$ le spectre en $M^2 (K_1^\circ \bar{K}_1)$ montre une accumulation d'événements dans la région $M = 1520$ MeV que l'on peut attribuer à la résonance f' .

Quant à l'effet $(K\bar{K})_{I=1}$, il ne semble produit que dans les désintégrations des mésons D° et E° .

Cette étude est poursuivie en collaboration avec un groupe de chercheurs du C.E.R.N. L'équipe du Laboratoire de Physique nucléaire du Collège de France qui la mène est composée de M. Ch. d'ANDLAU, M. J. COHEN-GANOUNA, M. M. DELLA NEGRA, chargé de recherche au C.N.R.S., M. B. LÖRSTAD, agent contractuel du C.N.R.S., et M. P. PETITJEAN, stagiaire de recherche au C.N.R.S.

6. *Annihilations d'antiprotons de 500 MeV/c et 300 MeV/c avec au moins un K_1° visible.*

Le laboratoire de Physique nucléaire a effectué deux expériences nouvelles d'annihilations d'antiprotons en février et avril 1968. Les deux séries de clichés se situent, en énergie, dans des plages intermédiaires entre l'arrêt et 700 MeV/c. Ces nouveaux clichés vont permettre d'analyser la production des bosons C (1250), C' (1320), D° (1290), E° (1420), $(K\bar{K})_{I=1}$; S^* , etc... dans une gamme d'énergie non encore explorée.

L'équipe qui a déjà commencé le dépouillement des clichés est la même que l'équipe ci-dessus.

7. *Antiprotons lents s'arrêtant dans la chambre : annihilations $\bar{p}p \rightarrow K\bar{K}\pi$.*

L'étude poussée, utilisant la formulation de Zemach pour le traitement des moments angulaires, a permis pour ce lot d'événements de déterminer certaines propriétés de la résonance C se désintégrant selon les modes $K^*\pi$, K_0 et $K\pi\pi$. L'étude du spin et de la parité du C semble favoriser fortement l'hypothèse 1^+ . Par contre la complexité de cette étude n'a pu permettre de décider entre les deux hypothèses d'isospin $1/2$ et $3/2$. Le modèle des quarks qui réussit assez bien dans la classification des mésons, prévoit l'existence de deux résonances 1^+ appartenant à deux octets de C - parité opposées. Elle conduit à introduire un deuxième méson 1^+ appelé C' dans l'analyse de l'état final $K\bar{K}\pi\pi$. La présence du C' dans la réaction $\bar{p}p \rightarrow K\bar{K}\pi\pi$ n'est pas en fait statistiquement significative. Toutefois, si on suppose que le C' est présent et qu'il donne lieu à des interférences avec le méson C, on trouve pour le C une masse, une largeur, et des largeurs partielles correspondant aux modes $C \rightarrow K^*\pi$ et $C \rightarrow K_0$, nettement différentes de celles trouvées en l'absence de C'.

Cette expérience a été poursuivie en collaboration avec l'Institut de Physique nucléaire de la Faculté des Sciences de Paris et un groupe du C.E.R.N.

L'équipe du laboratoire de Physique nucléaire du Collège de France est constituée de MM. Ch. D'ANDLAU et A. ASTIER, et de MM. COHEN-GA-NOUNA et M. DELLA NEGRA.

8. *Antiprotons à l'arrêt : annihilations en π seulement.*

La mesure de 50 000 événements sur l'appareil FSD du Collège de France est en voie d'achèvement. Elle constitue la première expérience à grosse statistique effectuée sur le FSD du Collège de France : elle a permis de tester son bon fonctionnement et la rentabilité de son exploitation.

Cette expérience, qui a été entreprise en commun avec un groupe du C.E.R.N., porte sur un ensemble de 130 000 mesures. Des résultats partiels ont déjà été présentés au Congrès de Heidelberg (septembre 1967) et certains articles ont été envoyés pour publication.

Les principales études sont relatives aux productions : $\bar{p}p \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$, (analyse des productions $\rho\pi$ et $f\pi$) ; $\bar{p}p \rightarrow \pi^+\pi^+\pi^-\pi^-$, mettant en évidence les productions associées $A_2\pi$, ρ_0 et f_0 ; $\bar{p}p \rightarrow \pi^+\pi^+\pi^-\pi^-\pi^0$, où, en plus de la production des mésons ω et η , un des aspects les plus importants est la mise en évidence du méson B. Enfin un certain nombre de travaux portant sur la production du méson X^0 et la recherche d'éventuelles autres résonances est en cours.

L'équipe de chercheurs travaillant sur cette expérience est composée de MM. BLOCH, P. FRENKIEL, C. GHESQUIERE, E. LILLESTOL, agent contractuel du C.N.R.S. et A. VOLTE.

PUBLICATIONS

C. d'ANDLAU, A. ASTIER, L. DOBRYNSKI, S. WOJICKI, en collaboration avec le C.E.R.N. (dont E. LILLESTOL), l'Institut du Radium et Liverpool, *Experimental results on $\bar{p} p$ annihilations at 1.2 GeV/c with production of at least one K_1^0 - meson* (Nuovo Cimento, 50 A, 701, 1967).

C. d'ANDLAU, A. ASTIER, L. DOBRZYNSKI, J. SIAUD, en collaboration avec le C.E.R.N., l'I.P.N. de Paris, et Liverpool, *Antiproton-proton annihilation into $(K \bar{K} + 3 \pi)$ and $(K \bar{K} + 4 \pi)$ at 1.2 GeV/c* (Nuclear Physics, B 5, 693, 1968).

C. d'ANDLAU, A. ASTIER, J. COHEN-GANOUNA, M. DELLA-NEGRA, S. WOJICKI, en collaboration avec le C.E.R.N. et l'I.P.N. de Paris, *Further study of the E-meson in antiproton-proton annihilation at rest* (Nuovo Cimento, 50 A, 393, 1967).

A. ASTIER, J. COHEN-GANOUNA, M. DELLA-NEGRA en collaboration avec le C.E.R.N. et l'I.P.N. de Paris, *Further study of the $I = 1 K \bar{K}$ structure near threshold* (Physics Letters, 25 B, 294, 1967).

C. d'ANDLAU, A. ASTIER, J. COHEN-GANOUNA, M. DELLA-NEGRA, en collaboration avec le C.E.R.N., l'I.P.N. de Paris et Liverpool, *Experimental results on the $(K \bar{K})$ and $(K \pi)$ systems as observed in the annihilations $\bar{p} p \rightarrow K \bar{K} \pi$ at rest* (Nuclear Physics, 3 B, 469, 1967).

C. GHESQUIERE, E. LILLESTOL en collaboration avec le C.E.R.N., *Production of three pions in $\bar{p} p$ annihilations at rest* (Publié prochainement dans Nuclear Physics).

C. GHESQUIERE, E. LILLESTOL en collaboration avec le C.E.R.N., *$\eta^0 \pi^+ \pi^-$ and $X^0 \pi^+ \pi^-$ production in the annihilation of antiprotons at rest in hydrogen* (Publié prochainement dans Physics Letters).

CONFÉRENCES

MM. M. BLOCH, P. FRENKIEL, C. GHESQUIERE, E. LILLESTOL et A. VOLTE ont participé à « The Heidelberg International Conference on Elementary Particles », du 20 au 27 septembre 1967.

M. C. GHESQUIERE a fait une conférence au C.E.N. de Saclay sur les multiproductions de mésons π dans les annihilations d'antiprotons à l'arrêt, le 8 mai 1968.

M. E. LILLESTOL a fait une conférence sur les annihilations des antiprotons à l'arrêt dans l'hydrogène au Fysik Institutt, Universitet de Bergen (Norvège) le 4 juin 1968.

M. C. GUIGNARD a participé au Colloque international PEPR, à Nimègues, du 5 au 7 juin 1968.

M. E. LILLESTOL a fait des conférences sur la théorie des pôles de Regge au Fysik Institutt, Universitet de Bergen (Norvège).

M. H. VIDEAU a participé au 6^e Congrès des Prix Nobel de Physique à Lindau (Allemagne) du 1^{er} au 5 juillet 1968.