

## Physique corpusculaire

M. Marcel FROISSART, professeur

L'année 1973 a été marquée par la fusion des deux laboratoires : Physique atomique et moléculaire du Professeur Francis PERRIN et Physique nucléaire du Professeur Louis LEPRINCE-RINGUET, en un seul laboratoire de Physique corpusculaire. Au cours de l'année 1973, la fusion s'est bornée au plan purement scientifique, les deux laboratoires n'ayant été dissous sur le plan administratif qu'au 1<sup>er</sup> janvier 1974, avec l'entrée en vigueur d'une nouvelle Convention avec l'Institut national de Physique nucléaire et de Physique des Particules, auquel le Laboratoire de Physique corpusculaire se trouve associé.

Il serait vain, et même peu opportun, d'essayer, dans ce panorama de l'activité du laboratoire, de démêler les liens qui se sont tissés sur le plan scientifique entre les deux laboratoires, dont nous désignerons par la suite l'ensemble sous la dénomination « le laboratoire ».

L'exposé qui suit reprend les diverses activités scientifiques et de développement instrumental, dans un ordre suivant grossièrement les énergies mises en jeu dans les phénomènes observés, classification qui correspond d'ailleurs à des types de problèmes physiques nettement différents.

### 1. *Interaction (p,p $\alpha$ )*

L'équipe ERA.255 du C.N.R.S., sous la responsabilité scientifique de M.-G. Valladas (D.Ph.P.E. - Saclay), comprend un petit groupe de physiciens visiteurs à Saclay et une majorité de physiciens et techniciens du laboratoire.

Cette équipe poursuit auprès de Saturne l'étude des réactions (p,p $\alpha$ ) quasi élastiques à 600 MeV sur noyaux légers. L'ensemble de l'équipement expérimental a été mis au point progressivement au cours des premiers runs. Le

trigger et les voies d'analyse complémentaire de la particule lente éjectée (mesure de  $dE/dx$ ,  $E$  et temps de vol) ont permis d'identifier les réactions ( $p, p\alpha$ ) émergeant du fond de fortuits. Les premières distributions angulaires obtenues ont permis une grossière estimation des rendements bruts, dans la configuration quasi élastique, et ce, pour les cibles de  $Li^6$  -  $C^{12}$  -  $Mg^{24}$  -  $Al^{27}$ .

Le dernier run, dans des conditions locales difficiles, a permis de tester l'équipement complet des 6 chambres proportionnelles multifils dont les plus grandes sont codées par matricage 8X8. L'efficacité d'ensemble et la mise en ligne sur ordinateur sont correctes, quelques 50 000 événements enregistrés sur bande magnétique sont exploitables et vont permettre la mise au point des programmes. Les prochains runs sont essentiellement destinés à la prise de données ( $10^6$  év<sup>ts</sup> par cible et par « semaine » Saturne).

## 2. *Interaction pion-pion*

Cette expérience, installée auprès de Saturne et menée sous la responsabilité de M. Th. Leray pour étudier l'interaction de deux mésons  $\pi$ , près du seuil, dans les 3 états d'isospin, a été démontée à la fin de 1973.

Le bilan des mesures faites est le suivant :

500 000 déclenchements du type  $\pi^-p \rightarrow \pi^+\pi^-n$  ont été enregistrés en octobre 1972 et février 1973.

Ensuite, l'appareillage ayant été amélioré en fonction des résultats obtenus et adapté pour déclencher sur des événements du type  $\pi^+p \rightarrow \pi^+\pi^+n$ , 300 000 déclenchements ont été enregistrés en juin et en novembre 1973. L'appareillage a fonctionné sans défaillance majeure jusqu'à la fin.

L'élaboration des résultats expérimentaux est en cours par MM. Leray, Mendiburu, Sajot, Valentin et Chavanon. Les premiers résultats montrent que le calcul de la masse manquante permet de sélectionner correctement les événements.

## 3. *Physique des antiprotons*

### 3.1. *Annihilation des antiprotons à l'arrêt*

Le travail d'analyse de cette expérience portant sur les 120 000 événements en chambre à bulles, a connu quelques prolongements cette année.

Nous avons en effet essayé de perfectionner la méthode d'analyse en interactions dans l'état final en introduisant les mesures récentes des déphasages  $\pi\pi$ , au lieu de l'approximation en résonances que nous avons utilisée jusqu'ici.

Dans une autre voie nous entreprenons, également à partir de ces événements, une étude inclusive des productions d'amas de particules en vue de les relier éventuellement aux phénomènes de production de particules en amas que l'on pense observer dans les productions à très haute énergie.

Les physiciens impliqués dans cette étude sont C. Ghesquière, C.N.R.S., et E. Lillestøl, visiteur étranger au laboratoire.

### 3.2. Recherche d'effets résonnants en formation

Cette recherche s'est effectuée à travers les voies de diffusion élastique et d'annihilation  $p \bar{p}$  entre 0 et 1 200 MeV/c dans la chambre à bulles de 80 cm de Saclay (en collaboration avec l'Institut de Physique de l'Université de Pise - Italie).

#### a) Voie $\bar{p} p \rightarrow p \bar{p}$ (diffusion élastique vers l'arrière)

L'analyse a été terminée cette année à partir d'un échantillon de 60 000 mesures faites sur appareils conventionnels.

Elle confirme l'existence de structures dans la variation de la section efficace différentielle vers l'arrière en fonction de l'énergie incidente de l'antiproton à  $M_{pp} = 1\,930$  MeV ;  $\Gamma = 25$  MeV et  $1\,953$  MeV ;  $\Gamma = 30$  MeV (Méson S). Néanmoins une certaine ambiguïté demeure qui tient à ce que ceci pourrait être interprété en termes d'effet diffractif ; d'où l'analyse des voies d'annihilation qui suit.

Ce travail fait l'objet de la thèse d'Etat de M. Laloum, attaché de recherches au C.N.R.S.

Participants : C. d'Andlau, M. Cohen-Ganouna, maîtres de recherches ; M. Laloum et P. Lutz, attachés de recherches.

#### b) Voies $\bar{p} p \rightarrow K_1^0 K_2^0 n\pi$

(émission d'au moins un  $K_1^0$  visible sur la photographie)

L'expérience comporte 35 000 mesures dont 25 000 au Collège de France. Celles-ci doivent se terminer au cours du 1<sup>er</sup> semestre 1974. Des résultats préliminaires relatifs à l'analyse des états initiaux en moments angulaires à travers les voies  $\bar{p} p \rightarrow K_1^0 K_2^0$  et  $K_1^0 K_1^0$  ont été présentés à la Conférence d'Aix-en-Provence (septembre 1973).

Participent à ce travail : C. Defoix, chargé de recherches au C.N.R.S., et P. Petitjean, attaché de recherches, dont la thèse d'Etat doit porter sur ce travail.

c) Voies  $\bar{p} p \rightarrow n\pi^\pm$  ( $n \geq 4$ ; émission d'au moins 4 mésons  $\pi$  chargés)

50 000 mesures ont été faites sur appareil automatique (« Spiral Reader ») au cours de l'année 1973 au laboratoire. 220 000 sont prévues au total dont 135 000 au Collège de France; celles-ci doivent se terminer au cours du second semestre 1974.

Le travail d'interprétation a commencé par l'étude en production de 18 000 annihilations à l'arrêt dans la voie  $\bar{p} p \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+ \pi^- \pi^0$  (événements sans  $\omega^0$ ). A cause de la multiplicité des mésons  $\pi$ , cette voie était demeurée inexplorée. Outre des voies attendues ( $A_2 \pi \pi$  et  $A_2 \rho^0, \rho^0 \rho^\pm \pi^\mp$ ) elle révèle la présence d'effets  $\rho \rho$  dans la région de 1 500 MeV.

Ceci fait l'objet d'un article à soumettre à la revue Nuclear Physics et d'une communication à la Conférence d'Aix-en-Provence de septembre 1973.

Participant à ce travail : C. Defoix, L. Dobrzynski, chargés de recherches au C.N.R.S., P. Espigat, attaché de recherches, P. Ladron de Guevarra.

### 3.3. Expériences de production

Ces expériences ont été réalisées au C.E.R.N. avec des annihilations d'anti-protons à 700 MeV/c dans la chambre à bulles de 80 cm de Saclay.

a) Mesures de 22 000 annihilations de  $\bar{p}$  à 700 MeV/c avec la multiplicité de mésons  $\pi$  la plus élevée de façon à étudier les résonances bosoniques se désintégrant en un nombre élevé de mésons  $\pi$ . Ceci a conduit à la confirmation du mode nouveau de désintégration du  $A_2$  en  $\pi^+ \pi^-$  à travers un nouveau méson, le  $B_1$  ( $\rightarrow \omega^0 \pi^\pm$ ) à 1 040 MeV;  $\Gamma = 45$  MeV, ainsi que d'un nouvel effet  $\omega^0 \rho$  à 1 400 MeV précédemment mis en évidence dans le laboratoire. Ceci a fait l'objet de communications à la conférence d'Aix-en-Provence (Journal de Physique - Comptes rendus de la II<sup>e</sup> Conférence internationale d'Aix - page Cl-214).

Participant à ce travail : C. Defoix et P. Espigat.

b) Voie  $\bar{p} p \rightarrow K_1^0 K_1^0 n\pi$  (émission d'au moins un  $K_1^0$  visible)

8 000 événements de cette catégorie ont été mesurés sur l'appareil en lecture à spirale au Collège de France en 1973, dans le cadre d'une collaboration avec les Instituts de Physique de Bombay, Madrid et le C.E.R.N. L'analyse est en cours; le nombre d'événements sera quadruplé par rapport à une analyse analogue qui nous avait conduits à la découverte du méson  $F_1$  ( $F_1 \rightarrow K^* K$ ). Il s'agit aussi de prévoir les propriétés des mésons  $D^0$  et  $E^0$  par l'intermédiaire de leurs voies de désintégration  $K \bar{K} \pi$ .

Participent à ce travail : C. Defoix, L. Dobrzynski, P. Ladron de Guevarra et R. Nacash, maître-assistant à la Faculté des Sciences de Marseille.

#### 4. Physique des mésons K

##### 4.1. Interaction $K^-p$

L'étude par chambre à bulles de l'interaction  $K^-p$  entre 1.26 et 1.84 GeV/c est maintenant terminée. Le dernier article portant sur l'analyse des réactions à trois corps et à quasi deux corps [1] est en voie de publication.

Dans la collaboration avec le D. Ph. P. E. (Saclay) qui doit permettre la suite de l'exploitation précédente, 400 000 photographies ont été dépouillées, et une importante partie des événements a été mesurée. Actuellement, tous les canaux à deux corps (à l'exception des élastiques), ainsi que certains canaux à trois corps, sont disponibles pour l'analyse.

L'étude de la réaction  $\Lambda^0 \pi^0$  a montré qu'il était nécessaire d'introduire deux nouvelles résonances afin d'obtenir un ajustement correct des données, une dans l'onde  $D_1^5$  (ou  $D_1^3$ ) à une masse de 2 290 MeV, l'autre dans l'onde  $G_1^9$  (ou  $H_1^{11}$ ), à une masse de 2 265 MeV [2].

L'étude des réactions  $K^-p \rightarrow \Xi^- K^0 \pi^+$  a également été entreprise, essentiellement afin de déterminer les sections efficaces de production des résonances  $\Xi^0$ . De même que le précédent, ce travail a fait l'objet d'une communication à la Conférence d'Aix (septembre 1973) [3].

##### 4.2. Expérience sur la diffusion de $K_L^0$

Cette expérience entreprise au C.E.R.N. avec la collaboration de l'Université de Padoue a pour objet principal la mesure de la section efficace différentielle de la voie  $K_L^0 p \rightarrow K_S^0 p$ , à des impulsions du  $K^0$  incident comprises entre 4 et 15 GeV/c environ. Les moments de transfert étudiés vont de 0,1 à 2 ou 3 (GeV/c)<sup>2</sup> selon les énergies. Le but de cette expérience est la connaissance des échanges mis en jeu, principalement l'échange de  $\omega$ . On espère en même temps mesurer les paramètres de la régénération cohérente du  $K^0$ , mal connus à ces énergies, et la section efficace différentielle

---

[1] Cross sections for quasi two body reactions formed in  $K^-p$  reactions between 1.26 and 1.84 GeV/c - Accepted par Il Nuovo Cimento.

[2] Paper 227 - Aix-en-Provence - 1973.

[3] Paper 412 - Aix-en-Provence - 1973.

de la voie élastique  $K_L^0 p \rightarrow K_L^0 p$ . Cette expérience se déroule par des moyens électroniques auprès du P S du C.E.R.N., et, mise en place à partir de février 1974, devrait se poursuivre jusqu'en 1975. Le dispositif expérimental est implanté sur un faisceau neutre à assez faible angle de production (50 m. rad.), où l'énergie maximale des  $K^0$  reste élevée (plus de 15 GeV) mais où le flux de neutrons est encore important. Ceci constitue une des difficultés principales de l'expérience : les réactions induites par les neutrons et qui, pour la logique de déclenchement, peuvent simuler une des réactions étudiées, sont très abondantes et risquent de noyer celles-ci. Pour obtenir quand même un taux de déclenchement raisonnable, on a élaboré une logique très contraignante vérifiant la présence des éléments suivants :

— aucune particule chargée ne sort de la cible sauf éventuellement à grand angle ;

— une particule neutre se désintègre en deux particules chargées, après sa sortie de la cible ;

— aucune création de  $\gamma$  ou de  $\pi^0$  ( $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ ) n'a lieu dans l'interaction ;

— il est possible de mesurer l'impulsion des particules chargées créées ;

— l'une des deux particules chargées provenant de la désintégration est un  $\pi$  ou un  $\mu$ , mais aucune n'est un électron ( $K^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$  et  $K_L^0 \rightarrow \pi \mu \nu$  sont acceptées, mais pas  $K_L^0 \rightarrow \pi e \nu$ ).

Un ensemble de chambres à étincelles à magnétostriction est déclenché pour tout événement correspondant à ces critères. Il permet de déterminer avec précision la direction de la particule de recul et l'énergie-impulsion de la particule neutre qui s'est désintégrée.

Des résultats préliminaires devraient être publiés au début de 1975 et les conclusions de l'expérience devraient pouvoir être tirées à la fin de 1975 ou dans l'année 1976.

##### 5. *Expérience sur l'échange baryonique dans les interactions $\pi^\pm p$ , $K^\pm p$ vers 10 GeV/c, utilisant le spectromètre « grand oméga » du C.E.R.N.*

Un groupe de 3 physiciens du laboratoire s'est joint à une collaboration Ecole Polytechnique - Orsay pour effectuer cette expérience.

Le type d'interaction étudié est caractérisé phénoménologiquement, dans un grand nombre de cas, par la présence d'un proton énergétique émis vers l'avant. Une étude préalable montre qu'on doit recueillir une information déjà très riche en se limitant aux événements de ce type. Leur sélection nécessite un

dispositif assez complexe, puisqu'il faut détecter une particule positive, dont l'impulsion dépasse un seuil fixé d'une part, et identifier cette particule comme un proton, c'est-à-dire rejeter les  $\pi^+$ , et les  $K^+$  beaucoup plus nombreux, d'autre part. (Dans le cas le plus difficile, celui du faisceau  $\pi^+$ , les proportions  $P/K^+/\pi^+$  sont à peu près 1/10/1 000).

La première condition est satisfaite au moyen de 2 plans de chambres à fils permettant d'évaluer l'impulsion en tenant compte de la position de la cible qui fournit une information grossière, mais suffisante, sur l'origine de la trace.

La deuxième condition requiert l'emploi de deux compteurs Cerenkov à gaz de grandes dimensions, placés l'un derrière l'autre, dont l'un à haute pression, peut détecter les  $K^+$  ; les déclenchements « indésirables » rencontrés ont pu être expliqués pour la plus grande part et il sera possible d'y remédier.

On espère obtenir de 1 à 2 millions d'événements dans le « run » qui aura lieu au mois de juin 1974.

#### 6. *Physique des $\pi$ de 50 GeV dans Mirabelle*

Notre participation à l'expérience, dite exploratoire dans Mirabelle, qui porte principalement sur une étude d'un lot restreint de  $K^+$ ,  $K^-$  et  $\bar{p}$  à 32 GeV/c et  $\pi^+$ ,  $\pi^-$  à 50 GeV/c, s'est poursuivie cette année ; le laboratoire s'intéressant surtout aux  $\pi^+$  de 50 GeV/c.

Le dépouillement des événements  $\pi^\pm$  à 50 GeV a donné lieu à une étude sur les multiplicités à cette énergie. Les mesures des événements sur notre appareil de mesure à C.R.T. (Coccinelle) ont débuté et doivent nous permettre une étude des caractères inclusifs des réactions  $\pi^+ p$  à cette énergie.

Les physiciens impliqués dans cette expérience sont : B. BACCARI, P. BURLAUD, B. EQUER, C. GHESQUIERE, P. LUTZ, J.-L. NARJOUX.

#### 7. *Expérience aux I.S.R.*

Un groupe de physiciens doit s'associer à une collaboration C.E.R.N.-Heidelberg-Karlsruhe pour l'utilisation du S.F.M. (Split Field Magnet) aux anneaux d'intersection du C.E.R.N. (I.S.R.).

La collaboration étudiera spécialement deux types de phénomènes :

— l'un consiste à étudier globalement les événements en utilisant leur déclenchement avec un minimum de conditions, la propriété du détecteur de couvrir un angle solide proche de  $4\pi$  permettant une détection très efficace des produits de l'interaction ;

— le second, auquel nous nous intéressons plus particulièrement, porte sur les événements associés à l'émission d'une particule à grande impulsion transverse. Ce phénomène n'a été que partiellement étudié à très faible valeur de l'impulsion longitudinale. Cette expérience étend maintenant son étude à toutes les valeurs intermédiaires de l'impulsion longitudinale et en même temps le S.F.M. permet d'étudier la configuration globale de l'événement associé.

Les prises de données débutent au mois de janvier 1974 et se poursuivront au cours des années 1974-1975.

En 1973, M. Della Negra a participé seul à temps plein au C.E.R.N. à l'étude de problèmes généraux de reconnaissance de traces dans le S.F.M. et MM. P. Fontaine, P. Frankiel et C. Ghesquière se joindront à lui dans le courant de 1974.

## 8. Installations de dépouillement automatique de clichés

### 8.1. Lecteur en spirale digitisé (L.S.D.)

Mis en exploitation en fin 1970, cet appareil, dont un autre exemplaire existe en France au C.E.A. à Saclay, a commencé après des essais satisfaisants la mesure d'événements de chambres à bulles (C.B.H. 81 de Saclay et H.B.C. 200 du C.E.R.N.) au second semestre 1971. Depuis janvier 1972, la durée des mesures a été étendue à 97 h/semaine.

Au cours de l'année 1973 nous avons mesuré 63 535 événements répartis en 5 expériences :

— 27 099 événements à 2 et 3 vertex du type  $\bar{p}p \rightarrow V^0 + 0,2,4,6$  branches à .78 GeV/c ;

— 14 512 événements à 1 vertex du type  $\bar{p}p \rightarrow 4$  branches chargées à .63 GeV/c ;

— 2 341 événements à 2 et 3 vertex du type  $\bar{p}p \rightarrow V^0$  ou  $V^\pm + 0,2,4,6$  branches à 1.6 GeV/c. Cette série de mesures constituant les remesures d'une expérience mesurée en 1972 pour le L.P.N.H.E. de Paris VI. La cadence de ces remesures fut très lente ( $\sim 10$  év<sup>ts</sup>/h au lieu de 30-35 év<sup>ts</sup>/h pour des mesures) ;

— 6 887 événements  $\pi - d \rightarrow 3$  branches ou 3 branches + proton lent à 9 GeV/c pour le L.P.N.H.E. de Paris VI ;

— 12 696 événements 4 branches du type  $\bar{p}p \rightarrow 2\pi^+ 2\pi^- n\pi^0$  ( $n = 0,1,2$  à .56 GeV/c).

L'ensemble de ces mesures a nécessité 4 transformations de l'appareil ; en effet les mesures pour le L.P.N.H.E. portent sur des films de 50 mm, tandis

que celles provenant de C.B.H. 81 impliquent des films de 35 mm. L'ensemble de ces transformations, ainsi que les changements fréquents d'expérience, expliquent le nombre réduit de mesures fait en 1973 et qui correspondent à environ 30 événements/h de travail effectif.

Le programme du L.S.D. pour 1974 comporte :

- 30 000 mesures  $\pi - d \rightarrow 3$  et 4 branches à 9 GeV/c pour le L.P.N.H.E. Paris VI (mesures terminées au 25/3/74) ;
- 50 000 mesures de 4 branches pour l'expérience de formation  $\bar{p} p$  de .3 à 1.2 GeV/c ;
- 25 000 mesures de 6 branches dans les annihilations  $\bar{p} p$  à .78 GeV/c ;
- 10 000 mesures de réaction du type  $\pi - p \rightarrow \nu^0$  ou  $\nu^\pm + 0,2,4,6$  branches à 4 GeV/c. Cette expérience constitue la suite d'une expérience mesurée sur le L.S.D. du C.E.A. à Saclay.

La supervision de la marche de l'appareil est assurée par L. Dobrzynski. L'entretien et le contrôle du fonctionnement sont assurés par M. Forlen, technicien principal de Physique nucléaire, et M. Marc pour l'électronique ; par M. Huiban, technicien de Physique nucléaire, pour la mécanique — avec l'appui du bureau de dessin et de l'atelier mécanique. Les développements en programmation sont assurés par MM. Darmon (technicien Collège de France), L. Guglielmi (ingénieur C.N.R.S.), N'Ba (stagiaire), Couillard (technicien I.N.2 P.3). Les postes d'opérateurs (8) sont tenus par des personnels rémunérés à la vacation.

#### *Amélioration et développement du L.S.D.*

Ils portent essentiellement sur la réduction du nombre de digitisations fournies par l'appareil. En effet, pour un événement à un vertex nous transmettons de l'ordre de 12 000 digitisations sur bandes magnétiques qui sont traitées par un programme de filtrage sur 6 600 C.D.C.

Nous étudions actuellement un préfiltrage en ligne, programmé sur le P.D.P. 9 qui commande le L.S.D. Une simulation de la méthode a permis de montrer que la réduction de données était de 5 à 6 (30 bandes au lieu de 150 pour une expérience de 30 000 événements) et que le gain en temps de calcul 6 600 était d'un facteur 2. Ce préfiltrage permettra de plus à l'opérateur du L.S.D. de juger très facilement si l'événement a été bien mesuré ou d'enregistrer des informations supplémentaires au cas où le préfiltrage aurait échoué. L'ensemble ainsi défini permettra de diminuer fortement le taux des remesures qui sont très coûteuses sur un L.S.D.

## 8.2. C.R.T. de Paris ou « Coccinelle »

### a) Unité I

Une grande partie des efforts a porté sur des tests complets de la précision de l'Unité I. Ces tests ont comporté, d'une part des mesures répétées des marques fiducielles de Mirabelle (jusqu'à 130 marques par vue) et d'autre part la mesure d'un lot d'événements p-p à 70 GeV/c qui avait déjà été mesuré sur des tables de mesure. Ces tests ont été très satisfaisants et montrent que l'appareil donne une précision comparable à celle des appareils classiques.

On poursuit par ailleurs l'organisation de l'exploitation de l'appareil. La mesure se fait en donnant manuellement le vertex et un point par trace, ce qui limite la vitesse à quelques événements par heure (pour Mirabelle).

Plusieurs développements logiciels sont en cours de mise au point (« Mini-géométrie », reconnaissance automatique des débuts de trace) et devraient permettre d'améliorer sensiblement les performances.

Cette unité doit être transférée à l'Université de Paris VI en fin d'année 1974.

### b) Unité II

En cours de construction dans les bâtiments du L.P.N.H.E. (Paris VI) cette deuxième unité comporte un certain nombre de modifications (tube cathodique, logique de balayage, commutation d'image). Le logiciel doit être réécrit sur Cyber 72, mais les principes de celui de l'unité I sont conservés. La partie système est pratiquement achevée et les premiers tests de balayage sont prévus pour l'été 1974.

## COURS

Le titre du cours pour l'année 1973-74 était *Processus de diffusion profondément inélastique*. Ce titre visait l'ensemble des phénomènes tout à fait nouveaux qui ont été découverts auprès des accélérateurs et dispositifs les plus modernes, c'est-à-dire notamment l'accélérateur de 400 GeV du National Accelerator Laboratory (N.A.L.) et le dispositif d'anneaux de collisions du C.E.R.N. (I.S.R. : Intersecting Storage Rings).

Après quelques rappels de cinématique ultra relativiste, les principales notions utilisées par la suite dans le cours sont passées en revue : il est

intéressant de repérer les particules issues d'une collision en séparant dans le système de centre de masse, le moment transverse  $p_T$  d'une part et le moment longitudinal  $p_{//}$  d'autre part, la direction longitudinale étant prise dans l'axe du moment des particules incidentes. D'autres représentations peuvent être

choisies à la place de  $p_{//}$  : le paramètre de Feynman  $x = \frac{2 p_{//}}{\sqrt{s}}$  où  $s$  est le

carré de l'énergie totale dans le système du centre de masse, ou la rapidité  $y$  définie dans ce système par :

$$p_{//} = \sqrt{m^2 + p_T^2} \operatorname{sh} y$$

L'intérêt de la notion de rapidité est qu'une transformation de Lorentz le long de l'axe du faisceau se traduit par une simple translation de l'origine des rapidités.

On utilise également, notamment pour les pions, dont la masse peut être

négligée, la pseudo-rapidité  $\eta = \ln \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}$ , qui est une bonne approximation

de  $y$ . Ceci se révèle important dans les expériences où l'on ne peut mesurer que l'angle d'émission des particules secondaires.

Un fait important est à noter, à savoir que, dans le processus de désintégration d'une particule, ou d'un ensemble plus complexe, les rapidités des particules secondaires sont centrées autour de la rapidité de la particule initiale, avec une largeur à mi-hauteur de la distribution inférieure ou égale à 1,75. Ceci fournit un critère pour la détection éventuelle d'ensembles complexes créés au cours d'une collision à très haute énergie (jet, fireball ou nova).

On peut classer les principaux phénomènes à haute énergie en quatre catégories, qui peuvent coexister au sein d'un seul événement. La fragmentation a lieu quand une des particules initiales perd certaine fraction de son moment, tout en se retrouvant éventuellement dans un état peu excité qui se désintègre en quelques particules. Ces processus sont particulièrement bien décrits dans la variable  $x$ , qui représente précisément la fraction de moment longitudinal se retrouvant dans les produits de la fragmentation.

Le processus de dissociation diffractive est en fait un cas particulier du processus de fragmentation, où les produits de fragmentation d'une particule initiale se retrouvent très nettement isolés des autres particules secondaires dans l'espace des rapidités, et où aucun échange de nombres quantiques n'a lieu entre la particule dissociée et le reste, si ce n'est un peu d'énergie d'excitation. Comme ce processus est somme toute très voisin de la diffusion élastique, on s'attend à voir sa section efficace décroître lentement.

Le processus de pionisation correspond à la création de particules à  $x$  voisin de 0, c'est-à-dire  $y$ , nettement différent de la limite cinématique  $Y$ .

Enfin il faut réserver une place à part aux processus impliquant des particules secondaires à grand moment transverse  $p_T$ . Ces processus ne semblent pas en effet obéir aux lois d'invariance d'échelle simple, que nous allons maintenant exposer.

\*  
\*\*

Telle qu'elle a été exposée en premier par Feynman, l'invariance d'échelle est une hypothèse qui peut s'énoncer sous la forme suivante : asymptotiquement, les distributions inclusives à  $n$  particules pour des particules initiales données tendent vers des fonctions de  $x$  et  $p_T$ . On peut aussi énoncer cette loi en fonction des rapidités, mais alors il faut préciser qu'il s'agit de rapidité dans le système au repos de l'un ou de l'autre des particules initiales (système « du laboratoire » ou de « l'antilaboratoire »). Si l'on suppose que ces distributions tendent vers des limites finies à  $x = 0$ , ceci conduit à une distribution uniforme dans l'espace des rapidités entre les limites cinématiques, qui est le plateau de pionisation.

Comme cette région croît comme  $\ln s$ , cette hypothèse supplémentaire conduit à une croissance du même type pour la multiplicité des particules, par intégration sur la section efficace inclusive à une particule.

Les confirmations expérimentales de l'invariance d'échelle apparaissent nombreuses, et la plupart s'accordent très bien avec les résultats obtenus aux énergies du P.S. du C.E.R.N., sauf évidemment en ce qui concerne les particules les plus lourdes, antiprotons notamment, pour lesquelles l'on s'attend à des effets de seuil non négligeables.

Cependant, les phénomènes à grand moment transverse semblent échapper à cette règle de l'invariance d'échelle, comme l'ont montré les expériences de Saclay - Strasbourg ou de C.E.R.N.-Columbia-Rockefeller auprès des I.S.R. ou celle de Chicago-Princeton ou de N.A.L.-N.I.U. à Batavia. La décroissance de ces phénomènes est beaucoup plus lente que ne le prévoit l'invariance d'échelle. De même, les fréquences des types de particules rencontrés à grand moment transverse varient encore rapidement avec l'énergie (Chicago-Princeton) les protons étant anormalement nombreux. En fait, il semble

qu'une expression de la forme  $p_T^{-8} f\left(\frac{p_T}{\sqrt{s}}, x\right)$  rende compte des distributions

inclusives à une particule. Un problème particulièrement irritant est posé par la présence d'un grand nombre de protons et d'un petit nombre d'anti-protons,

ce qui tendrait à indiquer une corrélation entre le type de la particule incidente et le type de particule observé, tandis qu'il y a un nombre équivalent de pions des deux signes, ce qui pousse à la conclusion opposée.

Il est raisonnable à ce point du problème, d'introduire le modèle des partons, qui a eu un succès certain dans l'interprétation des processus de diffusion électromagnétique électron-hadron à grand moment transféré. Il est raisonnable en effet d'imaginer que l'abondance (relative) des particules à grand moment transverse soit liée à une structure quasi-ponctuelle au sein de la matière hadronique. Par analogie, donc, on peut essayer d'interpréter les phénomènes à grands moments transverses comme le résultat observable d'une collision parton-parton. Cependant, il faudrait encore trouver un mécanisme susceptible d'expliquer l'exposant 8 qui figure dans la loi expérimentale de ce type de collisions. Plusieurs possibilités, aussi peu satisfaisantes, sont ouvertes : donner au parton une masse faible, ou supposer un parton de spin nul, ce qui suppose alors une constante de couplage de dimension non nulle. Ces deux types d'hypothèses sont en fait en contradiction avec ce qui fait le succès de la théorie des partons en électrodynamique quantique.

Une suggestion plus intéressante a été faite par Blankenbecler, Brodsky et Gunion, raffinée par Brodsky et Farrar, c'est celle de l'échange de partons, selon laquelle la collision, au lieu de se produire entre partons composants intrinsèques des particules incidentes (ce qui conduit à un exposant 4 au lieu de 8), pourrait se produire entre un parton de l'une des particules et un des constituants virtuels de l'autre, le mécanisme étant alors dans cette dernière collision la collision parton-parton. Si l'on suppose par exemple une collision pion virtuel-parton, on aboutit alors précisément à l'exposant 8. Il est cependant possible que l'exposant mesuré expérimentalement soit une moyenne, sur ce genre de processus, le comportement rigoureusement asymptotique étant dominé par le terme en  $p^{-4}$  de la collision directe parton-parton, qui serait encore indiscernable aux énergies actuellement atteintes.

Un autre problème qui se pose aux énergies élevées est celui des événements à haute multiplicité, et tout d'abord il s'agit d'établir, sans distinction cinématique, le bilan des données expérimentales sur les données brutes de multiplicité. Si l'on en croit l'invariance d'échelle à la Feynman, la contribution du plateau de pionisation devient dominante à haute énergie, mais très lentement. On propose donc une croissance de la multiplicité moyenne  $\langle n \rangle$  en  $\ln s$ , ainsi d'ailleurs que pour ses différents moments statistiques  $\langle n^q \rangle$  une croissance en  $\ln^q s$ . Mais cette limite ne peut évidemment être atteinte a priori que très lentement, variant assez peu dans la gamme des énergies accessibles. Une telle croissance de tous les moments suggère que l'expression de la probabilité de trouver  $n$  particules dans l'état final soit donnée par une fonction universelle :

$$\text{Pr } \{n\} = \frac{1}{\langle n \rangle} \Psi \left( \frac{n}{\langle n \rangle} \right)$$

Cette suggestion a été faite par Koba, Nielsen et Olesen, et a été par la suite raffinée par divers auteurs. Cependant, même sous cette forme initiale, son domaine de validité paraît s'étendre très loin vers les basses énergies, ce qui paraît assez surprenant, vu le point de vue asymptotique qui formait son point de départ.

L'information la plus accessible au niveau suivant de la richesse est celle que l'on possède sur les distributions inclusives à une particule. Ici, comme nous l'avons évoqué au début, il n'y a que peu de surprises. Au niveau supérieur, on se préoccupe d'étudier les corrélations à deux particules. Ses effets les plus marquants sont clairement de deux ordres. A faibles multiplicités, on distingue nettement les corrélations attendues de la dissociation diffractive, et qui sont dues à la désintégration d'un nucléon excité, ou même de la corrélation nucléon non-excité à nucléon excité. Le deuxième phénomène se montre à toutes les multiplicités et c'est une corrélation positive très nette à courte portée en rapidité. Cette corrélation est évidemment associée à un fond de corrélation négative à grande portée, puisque l'intégrale de la corrélation doit être assez faible.

En ce qui concerne les corrélations en moment transverse, l'étude est déjà plus délicate. Elles sont de toutes façons assez faibles. La collaboration C.E.R.N.-Hambourg-Vienne a donné des résultats de corrélation azimuthale d'un  $\gamma$  émis à  $90^\circ$  dans le système du centre de masse avec des particules chargées. Cette corrélation est négative, comme on peut s'y attendre en raison de la conservation du moment transverse, et elle paraît à longue portée, ce qui indiquerait que la conservation du moment transverse est un phénomène global, n'intervenant pas de façon essentielle au niveau des interactions microscopiques. Mais ces résultats sont trop fragmentaires pour qu'il soit possible de déduire des conclusions quelconques.

Pour terminer, on a introduit de façon sommaire le modèle multipériphérique le plus naïf, et étudié les prédictions d'ordre général qu'un tel modèle permet d'établir en ce qui concerne les résultats expérimentaux ; corrélations à courte portée correspondant à la création de résonances, plateau de distribution inclusive à une particule, possibilité de seuils relativement élevés pour la production de paires baryon-antibaryon, ce qui pourrait expliquer la lenteur de l'approche à l'invariance d'échelle du niveau du plateau de production d'anti-protons, et aussi expliquer la légère remontée de section efficace observée aux I.S.R.

Ce survol du modèle multipériphérique naïf a été complété par la démonstration de possibilités contenues dans ce modèle de la formation des pôles

de Regge, et ceci a conduit à une introduction rapide au calcul des réggéons à la Gribov, ainsi que des implications possibles de ce type de concept à l'analyse des événements à haute multiplicité, analyse qui porterait alors sur des données de type exclusif telles que l'on pourrait imaginer les recueillir sur les dispositifs expérimentaux comme le S.F.M. (Split Field Magnet ou aimant à champ fractionné installé auprès des I.S.R.) ou comme un spectromètre du type de ceux que l'on envisage actuellement de construire dans le Hall Nord du S.P.S. du C.E.R.N.

#### THÈSES

Charles CHAHINE - Thèse d'état, Paris, 17 octobre 1972 : *Problèmes de self-énergie et différence de masse-électromagnétiques.*

Jean-Pierre MENDIBURU - Thèse 3<sup>e</sup> cycle, 27 octobre 1972 : *Etude de l'interaction  $\pi^+P$  à très faible transfert entre 1 030 et 1 505 MeV/c.*

Maurice BENAYOUN - Thèse d'état, Paris, 15 novembre 1973 : *Contribution à l'étude relativiste des collisions à plusieurs voies (extension de la méthode des déterminants).*

Joseph PARISI - Thèse d'état, Paris, 19 février 1974 : *Collisions photon-photon, et autres processus sans annihilation dans les anneaux de stockage  $e^-e^\pm$ .*

Gisèle BORDES - Thèse d'état, Paris, 26 juin 1973 : *Mésons vectoriels et facteurs de forme des nucléons.*

Jean-Claude DUMAS - Thèse d'université, Paris, 18 juin 1974 : *Etude expérimentale lepto - production de  $\pi^0$  en coïncidence.*

Maurice LALOUM - Thèse d'état, Paris, 22 mai 1974 : *Diffusion élastique  $p\bar{p}$  dans l'hémisphère arrière à basse impulsion (entre 175 et 750 MeV/c dans le système du laboratoire). Indications en faveur d'une manifestation du « méson S », avec  $J^{PC} = 4^{++}$ .*

Pierre DELPIERRE - Thèse d'état, Paris, 21 juin 1974 : *Diffusion de neutrons polarisés de 14 MeV par l'oxygène-16 et le deutérium et analyse en déphasage de la diffusion nucléon-deuton entre 6 et 36 MeV.*

#### PUBLICATIONS

C. DEFOIX, A. NASCIMENTO, J. O'NEALL and J. SIAUD, en collaboration avec le C.E.R.N., *Evidence for decays of the  $D^0$  and  $E^0$  mesons into  $\delta$   $\pi$  in  $\bar{p}$   $p$  annihilations at 700 MeV (Nuclear Physics, B 44, 1972).*

C. DEFOIX, *Method of analysis of narrow effects in  $\bar{p} p$  annihilations. Rates and cuts (Proceedings of the Symposium on antiproton-proton annihilation, Chexbres, 27-29 march 1972).*

C. DEFOIX, *Method of analysis of narrow effects in  $\bar{p} p$  annihilations. Evidence for an  $\pi^+ \pi^-$  decay mode of the  $A_2^0$  via an  $\omega^0 \pi^\pm$  resonance at 1 040 MeV and for an  $\omega^0 \pi^+ \pi^-$  effect near 1 400 MeV (Physics Letters, B 43, n° 2, 1973).*

C. DEFOIX, L. DOBRZYNSKI, P. ESPIGAT, J. SIAUD, *Present state of evidence for the  $B_1$  (1 040) effect observed through an  $\pi^0 \pi^+ \pi^-$  sequential decay of the  $A_2^0$  in  $\bar{p} p$  annihilations at 700 MeV/c (II<sup>e</sup> Conférence d'Aix-en-Provence sur les Particules élémentaires, septembre 1973).*

C. DEFOIX, P. ESPIGAT, en collaboration avec le C.E.R.N., *Experimental study of  $\bar{p} p$  annihilations at rest :  $\bar{p} p \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+ \pi^- \pi^0$  (non- $^0$  event). Evidence for  $\rho^0 \rho^0$  effects at 1 430 MeV and 1 500 MeV (soumis à paraître au Nuclear Physics).*

Ch. D'ANDLAU, C. DEFOIX, L. DOBRZYNSKI, P. LADRON DE GUEVARRA, R. NACASH, en collaboration avec Madrid, Bombay, et le C.E.R.N.,  *$K^0 \bar{K}^0$  final states in  $\bar{p} p$  annihilations at 700-750 MeV/c (17th International Conference on High-Energy Physics, London, 1-10 July 1974).*

Ch. D'ANDLAU, C. DEFOIX, L. DOBRZYNSKI, P. LADRON DE GUEVARRA, R. NACASH, avec la collaboration de Madrid, Bombay et le C.E.R.N., *Observation of a  $K_1^0 \bar{K}_1^0$  threshold enhancement in the reaction  $\bar{p} \bar{p} \rightarrow K_1^0 \bar{K}_1^0 \pi^+ \pi^-$  at 700-750 MeV/c (17th International Conference on High-Energy Physics, London, 1-10 July 1974).*

#### CONGRÈS ET CONFÉRENCES

M. CROZON a participé aux journées d'études de l'Institut de Physique nucléaire d'Orsay qui se sont tenues à Aussois en mai 1973.

MM. Gérard FONTAINE et Jacques TOCQUEVILLE ont pris part à la conférence internationale sur l'instrumentation pour la Physique des hautes énergies (8-12 mai 1973) de Frascati (Rome).

M. Michel DELLA NEGRA a participé au symposium international sur les interactions électron-photons à haute énergie qui s'est tenu à Bonn (Allemagne) du 21 au 27 août 1973.

M. Pierre LUTZ a participé au « IVth International Symposium on multi-particle hadrodynamics » du 30 août au 5 septembre 1973.

M. Alain FAYE a suivi un stage de programmation système chez Digital Equipment à Munich en septembre 1973.

MM. FROISSART, en tant que secrétaire général de la conférence, GHESQUIÈRE, trésorier, CROZON, chargé des Relations publiques, MM. TRISTRAM et BACCARI, secrétaires scientifiques, ont participé à la 2<sup>e</sup> conférence internationale d'Aix-en-Provence sur les Particules élémentaires.

M<sup>mes</sup> MASSEI, CHIGNER, RANÇON, MM. BONIERBALE et MONNOT ont fait partie du secrétariat et du bureau de dessin de la conférence. Cet effort collectif a abouti, entre autres, à la publication des Comptes rendus en novembre 1973.

M. Pierre LUTZ a participé à la VIII<sup>e</sup> rencontre de Moriond du 4 au 13 mars 1974.

MM. Alexandre DNIESTROWSKI et Raymond MERZOUG ont assisté au 3<sup>e</sup> Congrès européen de la Programmation en temps réel qui s'est tenu à Milan du 16 au 18 mai 1973.

#### SÉMINAIRES

Le cours a été suivi des séminaires suivants, présidés par le professeur :

30 avril 1974, G. DAUGERAS (Accélérateur linéaire, Orsay), *Résultats sur l'expérience de  $\pi$ -p à 200 GeV/c.*

7 mai, M. Maurice GOLDMAN (L'Orme des Merisiers, Département de Physique), *L'ordre magnétique nucléaire.*

14 mai 1974, M. Yves DUCROS (D.Ph.P.E. - Saclay), *Expériences de mesure des paramètres de polarisation dans les réactions avec  $K^-$  et  $\pi^-$  à 40 GeV/c.*

21 mai 1974, M. Ronald SETTLES (Max Planck Institut - Munich), *Measurement of magnetic momentum of  $\Sigma^+$  hyperon in Hybuc.*

28 mai 1974, M. J.-P. PEREZ Y JORBA (Accélérateur linéaire, Orsay), *Résultats physiques avec des anneaux de collisions des électrons et positrons.*

4 juin 1974, M. Vladimir CHALOUPKA (Div. T.C. - C.E.R.N.), *Spin-parity analysis of multimeson systems  $3\pi$ ,  $K\pi\pi$ ,  $\omega\pi$ , etc.*

11 juin 1974, M. COURAU (L.A.L., Orsay), *Projet d'expérience d'interaction photon-photon au D.C.I. (anneaux de collisions) pour l'étude des états hadroniques  $C = + 1$ .*

18 juin 1974, M. Marcel BANNER (D.Ph.P.E., Saclay), *Les phénomènes hadroniques à grands angles.*

25 juin 1974, M. Pavel WINTERNITZ (Mc Gill Univ., Montréal), *Partial wave analysis in two variables for relativistic two body reactions reactions and three body decay.*