

Expériences aux ISR

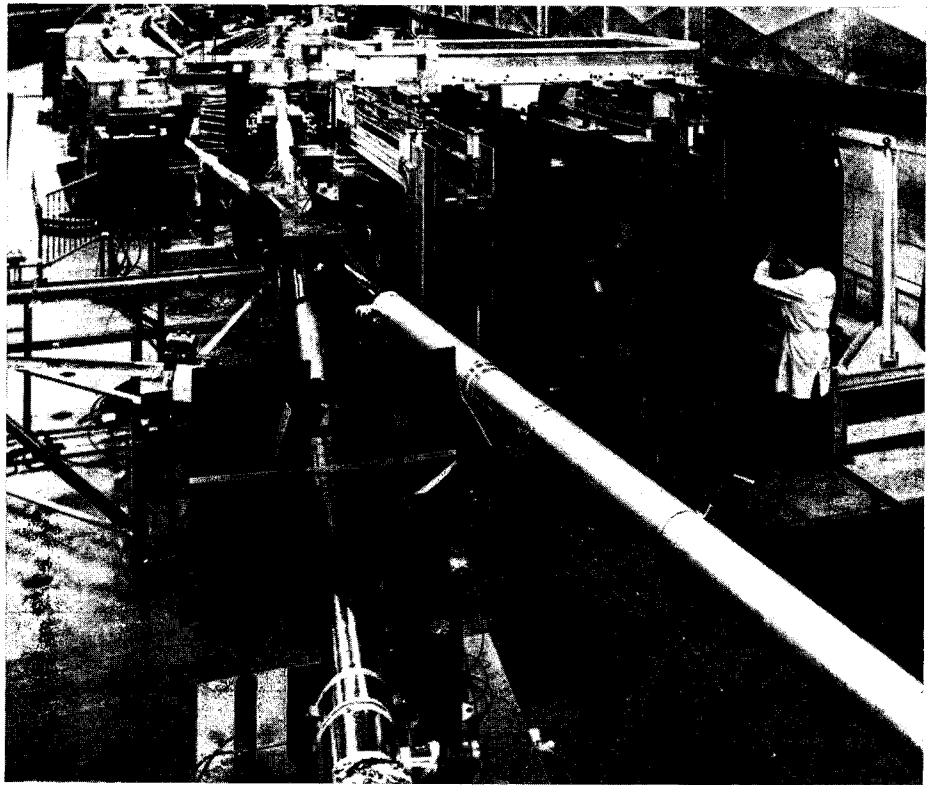
Un aperçu du programme d'expériences actuellement en cours et prévu aux Anneaux de Stockage à Intersections pour le proche avenir.

La possibilité d'observer les événements qui se produisent dans la nouvelle gamme des énergies qui se dégagent lors des collisions de faisceaux de protons aux ISR a donné un regain de vie au programme européen d'expériences aux hautes énergies. Depuis qu'on dispose d'énergies dépassant celles qu'on pourrait obtenir avec un synchrotron classique de 1000 GeV, on s'est attaché fébrilement à monter des expériences qui vraisemblablement nous apporteront non seulement des éléments nouveaux (presque toutes les expériences visent à nous apprendre quelque chose de neuf), mais aussi des éléments différents. Ces « éléments différents » pourraient nous fournir les moyens propres à faire le tri de la masse de renseignements sur les particules amassées au cours des dix dernières années.

Douze expériences ont été « approuvées » au titre du programme des ISR ; elles intéressent quelque 200 physiciens (non compris les effectifs requis pour le traitement des données). Sept sont montées autour de la machine et recueillent des données tandis que quatre expériences ont déjà fourni des résultats. Nous nous déplacerons autour du tunnel des ISR en nous arrêtant à chacune des régions d'intersection pour donner quelques précisions sur chaque expérience avant de revenir en arrière pour examiner plus en détail les informations déjà assemblées.

Intersection I-1

Expérience R 101 : Une collaboration Bombay-Bucarest-CERN-Cracovie utilise des émulsions nucléaires pour mesurer la distribution angulaire et la distribution en quantité de mouvement des particules issues des interactions proton-proton. Des émulsions ont été exposées sous des angles de 35 à 90° et certains résultats sont en cours de publication. L'expérience se poursuit avec la recherche de particules telles que les gammas émis par les pions neutres, les antiprotons lents, etc.
Expérience R 102 : Un groupe Saclay-Strasbourg travaille actuellement à la



CERN 300.8.71

capture des gammas et des électrons issus des interactions mettant en jeu de grandes quantités de mouvement transversales. Il dispose d'un aimant à grande ouverture, d'un compteur à gaz et de chambres à fils permettant de séparer les particules, suivies d'une chambre à avalanche (chambres à étincelles optiques séparées par des plaques de plomb) qui « détecte » les gammas et les électrons. Ceux-ci peuvent provenir de la désintégration des pions et des kaons, mais aussi de celle du boson vecteur intermédiaire (W) dont l'existence est admise, selon par exemple le schéma :

$$W^{\pm} \rightarrow e^{\pm} + \nu$$

Ce groupe recherche également un autre type de particules dont on soupçonne l'existence, le quark, en observant ses charges fractionnées qui constituent un indice révélateur. Un ordinateur CII 9010 est monté en ligne.

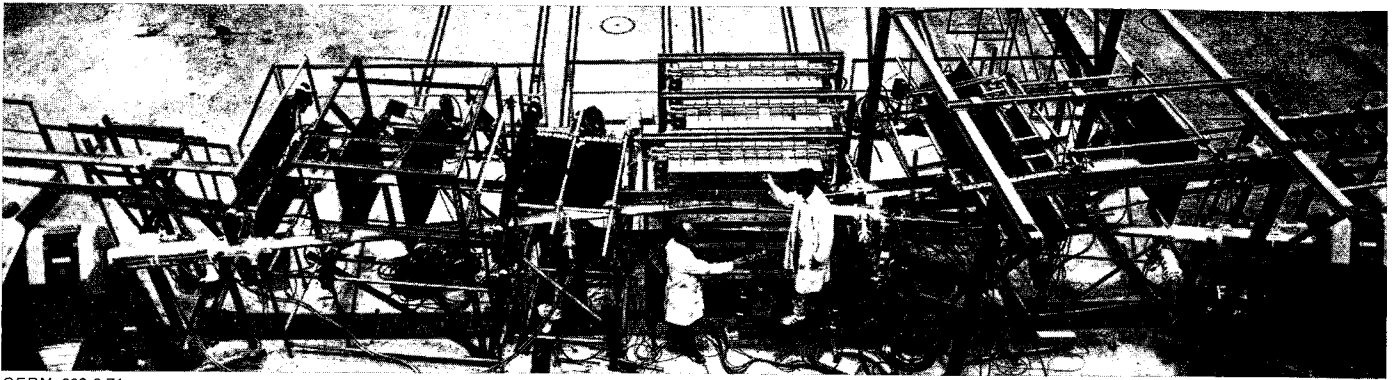
Expérience R 103 : Un groupe CERN-Columbia-Rockefeller procède à l'ins-

La région d'intersection I-1 avec, à droite, le système de détection de l'équipe Saclay-Strasbourg pour l'enregistrement des rayons gamma et des électrons produits lors de la désintégration de particules créées par les collisions.

tallation de son équipement à mesure que l'expérience R 101 s'achève ; il recueillera des données en alternance avec le groupe de l'expérience R 102. Il utilisera des chambres à fils et des compteurs Tchénkov à verre au plomb pour étudier les particules de masse élevée qui se divisent en paires d'électrons de forte quantité de mouvement. Un ordinateur HP 2116B sera monté en ligne.

Intersection I-2

Expérience R 201 : Un groupe CERN-FOM - Lancaster - Manchester a déjà largement mis en place l'équipement destiné à une expérience en vue de l'étude des particules produites sous de petits angles (entre environ 15 et 150 mrad) et entre environ 0,5 et 25 GeV/c. Les particules seront détectées dans un spectromètre d'environ 30 mètres de long (dont les premiers éléments sont deux aimants à septum et le dernier un grand compteur Tchénkov) qui s'élève verticalement au-dessus des aimants des ISR. Un



CERN 302.8.71

ordinateur IBM 1800 sera installé en ligne et sera relié aux ordinateurs centraux CDC.

Expérience R 202 : Un groupe Argonne-Bologne-Michigan a déjà obtenu certains résultats concernant la production de particules sous des angles moyens (environ 80 à 200 mrad) et de quantité de mouvement entre 1,5 et 10 GeV/c. Le détecteur qu'il utilise est un spectromètre de plus de 45 m comprenant d'abord un aimant à septum suivi de deux grands aimants de déflexion séparés par des compteurs à scintillation et des compteurs Tchérénkov. Ce groupe a commencé par étudier les particules secondaires positives et s'est maintenant tourné vers les négatives.

Expérience R 203 : Un groupe comprenant des universitaires britanniques et scandinaves conduit une expérience double visant d'une part à rechercher des quarks et d'autre part à procéder à une étude approfondie de la production de particules (pions, kaons, protons, etc.) sous de grands angles (30 à 90°). Le système de détection comprend un grand bras mobile de spectromètre (pesant environ 30 tonnes) formé de deux aimants, de chambres à étincelles et de compteurs. Il utilise un ordinateur PDP 516 en ligne. L'expérience a commencé à fournir des données sur les particules de faible quantité de mouvement (inférieure à 2 GeV/c). Elle sera plus tard adaptée pour permettre la capture des particules de forte quantité de mouvement et la recherche de quarks.

Expérience R 204 : Un groupe du Royaume-Uni a monté une expérience dans la même région d'intersection que l'expérience R 203 mais à l'extrémité opposée. Il a entrepris de rechercher très soigneusement le boson vecteur intermédiaire en s'appuyant sur sa désintégration virtuelle en muons :

$$W \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}; \mu^+ + \nu$$

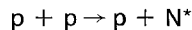
Il se pourrait qu'aux énergies d'interaction atteintes aux ISR un W d'une masse de plusieurs GeV soit produite et qu'on puisse le détecter au moyen des muons de haute énergie issus

de sa désintégration. Il étudiera également les paires de muons provenant de la désintégration des photons virtuels de grande masse. Le détecteur est une chambre à étincelles optiques à plaques de fer pesant environ 250 tonnes. Elle est entourée par quelque cent miroirs permettant des prises de vue dans toutes les chambres au moyen d'une seule caméra. L'ensemble est enfermé dans une cage obscure qui atteint le plafond du tunnel des ISR. Le traitement des données est assuré par un ordinateur PDP 8 et les films seront mesurés au Laboratoire Rutherford.

Intersection I-4

Cette région d'intersection sera ultérieurement occupée par l'aimant à champ fractionné (voir, par exemple, vol. 10, page 148) qui constituera un système de détection « universel » utilisable pour toute une série d'expériences. Son installation n'étant prévue que dans un an, la région est actuellement le lieu d'essais. Deux expériences ont été « acceptées » pour cette région.

Expérience R 401 : Un groupe CERN-Hambourg-Orsay-Vienne étudiera la dépendance énergétique de la production des résonances nucléaires



à l'aide de chambres proportionnelles multifils et d'un système de détection des neutrons, installés dans l'aimant à champ fractionné. Le groupe utilisera le système de calcul électronique de l'aimant à champ fractionné (EMR 6130 relié par la suite à un ordinateur CII 10070).

Expérience R 402 : Un groupe CERN-Munich s'installe dans cette région avant l'arrivée de l'aimant à champ fractionné pour rechercher des quarks en utilisant un vaste ensemble de scintillateurs et de chambres proportionnelles multifils. Il a déjà obtenu quelques estimations des sections efficaces à l'aide des seuls télescopes des scintillateurs.

Intersection I-6

Expérience R 601 : Un groupe CERN-Rome, parmi les premiers à annoncer

des résultats obtenus aux ISR, étudie la diffusion élastique des protons jusque sous de très petits angles. Les résultats publiés concernent une gamme d'angles de 7 à 16 mrad ; au cours de la phase suivante de l'expérience on descendra jusqu'à 1,7 mrad ou 1,4 mrad grâce à des « supports » spéciaux qui permettent d'introduire les compteurs à l'intérieur même de la chambre à vide de la machine. Les compteurs sont donc disposés en aval de chaque faisceau. Ils sont reliés à un ordinateur HP 2116 B.

Expérience R 602 : Un groupe Aix-la-Chapelle - CERN-Gênes-Harvard-Turin compte également parmi les premières équipes à avoir recueilli des résultats aux ISR. L'expérience qu'il mène complète bien celle décrite ci-dessus en étendant les observations de la diffusion élastique aux plus grands angles (15 à 27 mrad). Des groupes de chambres à étincelles disposés autour de chaque bras aval augmentent la précision des mesures. Le traitement des données est confié à des ordinateurs PDP 11 et IBM 1800 reliés aux ordinateurs CDC.

Intersection I-8

Expérience R 801 : Un groupe Pise-Stony Brook a en grande partie mis en place son équipement. Il se propose de mesurer la section efficace totale des interactions proton-proton. La région d'intersection est entourée d'un vaste ensemble de compteurs servant à détecter les particules secondaires et pour tenir compte également des données recueillies pour les très petits angles, les résultats de l'expérience 601 seront introduits dans l'ordinateur.

Résultats des expériences

Revenons maintenant aux quatre expériences qui ont déjà fourni des résultats. Trois d'entre elles ont été évoquées précédemment dans le compte rendu de la Conférence d'Amsterdam sur les particules élémentaires paru dans le numéro de juillet (page 185). Cet article était accompagné de graphiques montrant les

A gauche : La région d'intersection I-4 où une équipe CERN-Munich a réussi à s'« insinuer » avant l'arrivée de l'aimant à champ fractionné pour tenter de découvrir des quarks.

La région d'intersection I-6 où des mesures de diffusion élastique sont en cours. Les mesures sous de petits angles sont faites par une équipe CERN-Rome et on aperçoit au bas de la photographie sur la ligne de faisceaux, de droite, le support spécial permettant d'installer les compteurs dans la chambre à vide.

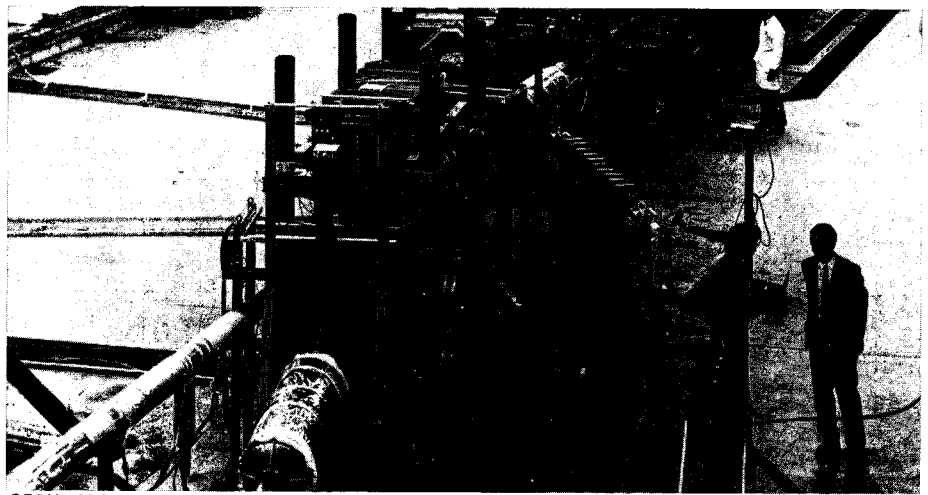
Les détecteurs destinés aux mesures sous de plus grands angles de l'équipe Aix-la-Chapelle - CERN - Gênes - Harvard - Turin bifurquent vers la droite.

premières données recueillies ; on trouvera par ailleurs dans le présent numéro (p. 242), un graphique donnant les résultats de la quatrième expérience.

Deux expériences ont été particulièrement remarquées : ce sont les mesures de diffusion élastique des protons de collision entreprises par le groupe CERN-Rome (diffusion sous de petits angles) et le groupe Aix-la-Chapelle - CERN - Gênes-Harvard-Turin (diffusion sous de plus grands angles). Leurs résultats ont immédiatement modifié les prédictions faites sur la base des mesures aux énergies inférieures. Nous allons tenter, très simplement, de découvrir pourquoi ces deux expériences sont intéressantes et ce qu'elles nous apprennent.

Les ISR nous permettent de projeter l'un contre l'autre des protons de façon à mettre en jeu des énergies très supérieures à celles atteintes auparavant. En observant comment les protons rebondissent l'un sur l'autre (diffusion élastique) nous pouvons beaucoup apprendre sur la forme de cette particule.

Lorsque nous nous demandons quelle est la « forme » du proton, le lecteur ne doit pas s'imaginer qu'il s'agit d'une structure géométrique rigide. Il serait plus exact de se demander quelle est la « zone d'influence » du proton. Les renseignements fournis par les accélérateurs avant la mise en service des ISR, à un niveau d'énergie maximum de 70 GeV dans le cas de l'accélérateur de Serpoukhov, ont montré que lorsque l'énergie du proton augmente, le rayon effectif de son orbite augmente également. Lorsqu'un proton passe à proximité d'un autre proton avec une énergie accrue, la distance à laquelle la présence et l'influence de cet autre proton sont sensibles s'accroît elle aussi. Cette situation n'est pas sans rappeler celle d'un satellite qui traverse l'atmosphère terrestre. S'il se déplace lentement, c'est-à-dire avec une faible énergie, l'influence que la terre exercera sur lui par le biais de



CERN 126.9.71

l'atmosphère sera à peine perceptible. En revanche, s'il se déplace très vite, elle deviendra sensible et le satellite pourra s'enflammer sous l'effet du frottement. Ainsi, la zone d'influence de la terre dépend de l'énergie du satellite. Nous n'avons pas encore réussi à expliquer entièrement par quel mécanisme un proton est sensible à l'influence d'un autre proton ; or cette question joue un rôle essentiel dans la compréhension des phénomènes dont les particules sont le siège. Il importe donc d'en savoir davantage sur cette influence.

Lorsque des protons sont projetés l'un contre l'autre dans les ISR à des énergies équivalant par exemple à 1500 GeV, on peut, sur la base des valeurs mesurées aux énergies inférieures, prévoir les dimensions de la zone d'influence. Or la prédiction qui avait été faite s'est avérée inexacte. En effet, lorsque l'énergie augmente, la zone continue certes de s'étendre, mais à un rythme nettement moins rapide. Tel est le phénomène que les deux expériences qui nous occupent ont immédiatement mis en évidence.

On avait également prévu, au CERN, que les dimensions de la zone ne seraient pas les mêmes dans une diffusion sous de petits angles et dans une diffusion sous de plus grands angles. En étendant la gamme des deux séries de mesures de manière que les angles observés soient les mêmes, on a pu vérifier que ce phénomène était bien réel et n'était pas dû à des erreurs dans l'une des deux expériences. En effet, les résultats obtenus alors dans les deux expériences concordent. Il semble donc que lorsqu'un proton est soumis à une influence considérable, c'est-à-dire lorsqu'il est dévié sous de grands angles, la zone où s'exerce cette influence soit moins étendue. Dans ce cas aussi, lorsqu'on considère les choses intuitivement, ce phénomène paraît plausible, mais seules des études théoriques appro-

fondies permettront de l'élucider entièrement.

L'expérience

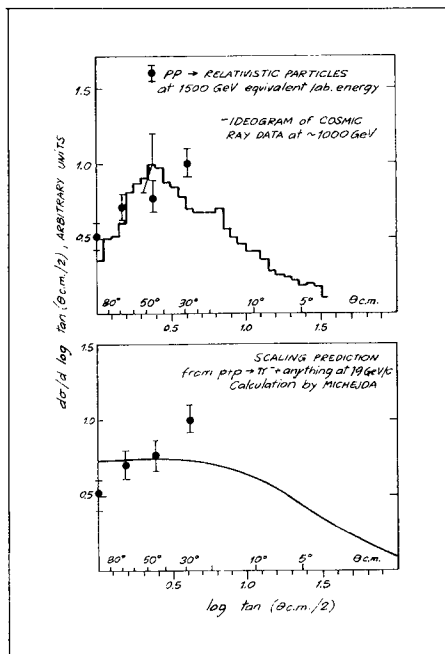
Argonne, Bologne, Michigan

Les buts : Il s'agit de la mesure des sections efficaces de production globale des pions et des protons sous des angles compris entre 80 et 200 mrad, correspondant à des quantités de mouvement variables. Elle résulte de tendances nouvelles préconisées notamment par R. P. Feynman et consistant à axer l'observation non pas sur des types donnés de réactions, rares ou fréquentes, mais sur la production de types donnés de particules, sans tenir compte de leur mode de production.

Cette recherche devient utile alors qu'il s'agit de faire l'énorme bond d'énergie permis par les ISR — qui rend difficile de simples extrapolations, et de déterminer des tendances générales qui seront des points d'appui pour la progression des théories.

L'appareillage est classique en bien des points puisqu'il consiste essentiellement en un spectromètre comprenant une suite de 5 compteurs à scintillation répartis sur 45 m de long : associés à 2 compteurs Tchénkov à seuil qui permettent de sélectionner les pions et les protons (par coïncidence ou anti-coïncidence), et à l'aimant d'analyse. Toutefois, il se distingue par quelques idées bien particulières.

1) à l'entrée du faisceau est disposé un aimant de sélection des angles de production qui permet de choisir l'énergie des particules sortantes sans avoir à réaligner chaque fois les compteurs et l'aimant d'analyse qui pèse 30 tonnes, ce qui serait du reste impossible compte tenu des restrictions imposées par les dimensions du tunnel des ISR. Pour des nécessités géométriques cet aimant de sélection doit être compensé par un aimant de correction placé en aval et fonctionnant en corrélation ;



Les quatre points obtenus lors de l'expérience d'émulsions nucléaires de l'équipe Bombay-CERN-Cracovie. Ils montrent les répartitions angulaires de particules relativistes créées par les collisions dans les ISR et sont comparés à des données relatives aux rayons cosmiques (graphique du haut) et à une prédiction sur la base de mesures précédentes au PS (graphique du bas).

2) l'aimant d'analyse courbe les particules verticalement ; on arrive ainsi à une précision beaucoup plus grande que ne le permettrait une déflexion horizontale, puisque la région d'interaction n'a que 0,6 cm de haut contre 40 cm de large ;

3) seul l'excellent niveau de vide atteint a rendu possible l'expérience, car sans cela le bruit de fond dû aux collisions faisceau-gaz limitées ici à 20 % auraient pu représenter plusieurs fois le volume des événements dus aux collisions proton-proton, ces 20 % n'étant du reste possible également que grâce à la longueur exceptionnelle du spectromètre. La sélectivité du spectromètre vis-à-vis des particules produites hors de la région d'interaction rend négligeable le bruit de fond dû aux parois ; quant à celui qui vient du gaz résiduel, il est évalué en faisant circuler un seul faisceau, puis soustrait.

L'expérience a tout d'abord mesuré la section efficace des interactions du type $p + p \rightarrow \pi^+ + \text{etc.}$

Cette section efficace tire son importance du fait que les collisions inélastiques prévalent totalement dans les interactions fortes aux hautes énergies. L'étude de ces collisions inélastiques revêt donc une très grande importance pour la connaissance des interactions fortes. Le problème est cependant très ardu du fait de leur grande complexité.

Les théoriciens se sont dernièrement beaucoup attachés à ce problème et ont proposé une nouvelle manière d'envisager ces collisions très complexes. Il s'agit de négliger le détail des phénomènes et de limiter l'observation à un seul type de comportement comme dans la réaction $p + p \rightarrow \pi^+ + \text{etc.}$ On ignore déli-

bérement la nature de ce « etc. », et c'est pourquoi R. P. Feynman a qualifié de « global » ce type de section efficace.

Feynman et C. N. Yang ont tous deux émis l'idée que les sections efficaces globales doivent s'approcher d'une limite simple aux très hautes énergies. En outre, sachant que les ISR commenceraient bientôt à fonctionner, Feynman a formulé une prédiction précise qui pouvait être mise à l'épreuve aux ISR. Il a prédit que la section efficace de production des pions présentée sous une forme déterminée ne dépendrait que de deux variables : la quantité de mouvement transversale du pion (P) qui est bien connue et la quantité de mouvement longitudinale réduite $X = P_{\parallel} / P_{\text{MAX}^\circ}$ et était indépendante de l'énergie des protons incidents. C'est ce qu'on appelle souvent « lois de changement d'échelle ».

La confrontation des résultats acquis aux ISR avec les données obtenues à plus basse énergie à Argonne et au CERN ont confirmé la précision remarquable de cette prédiction.

On ne connaît pas encore parfaitement la portée de ces nouvelles lois. Cependant, elles corroborent probablement pour le proton l'existence, suggérée par A. D. Krisch et K. Huang, d'un modèle géométrique soumis à la contraction de Lorentz. Huang a fait remarquer que la répartition des pions devrait donc dépendre des 2 variables définies par Feynman. Ce modèle est également confirmé par l'expérience de diffusion élastique effectuée dernièrement aux ISR qui montre que le « rétrécissement » du pic de diffraction est proportionnel au facteur de contraction de Lorentz ; voilà qui explique pourquoi le « rétrécissement » apparent si rapide aux basses énergies a maintenant pratiquement cessé.

En résumé, les résultats acquis aux ISR semblent corroborer l'existence d'un modèle géométrique simple dans lequel le proton est une sphère d'environ 10^{-13} cm de rayon qui s'écrase à mesure que l'énergie augmente.

Distribution angulaire des particules secondaires

Une expérience CERN, Bombay, Bucarest, Cracovie ayant pour objet la mesure de la distribution angulaire des particules secondaires chargées relativistes issues des collisions proton-proton à haute énergie va publier de premiers résultats (qui ne prennent pas en considération les particules de basse énergie).

Les détecteurs constitués par des émulsions de 600 μ déposées sur plaques de verre ont été exposés pendant 9 heures, en quatre endroits compris entre 35° et 90°. Les faisceaux avaient une énergie de 26,5 GeV équivalant à 1500 GeV ou à 53 GeV rapportés au centre de masse et une intensité de 1 A.

Les émulsions étaient disposées sur une barre télécommandée ce qui permet d'éviter de les exposer hors des périodes de fonctionnement normales des ISR.

Cette expérience a l'avantage de pouvoir être comparée avec les résultats déjà largement observés fournis par les rayons cosmiques d'énergie équivalente.

Les conclusions principales de cette expérience sont les suivantes :

1) La distribution angulaire des particules est fortement anisotropique. En

effet $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ est à 90° d'un ordre de grandeur plus faible qu'à 35° ;

2) La distribution angulaire exprimée par la fonction $\log \tan \frac{\theta_{\text{cm}}}{2}$ (l'une

des représentations possibles de la distribution angulaire rapportée au centre de masse) subit une forte décroissance au voisinage de 90°. Ceci corrobore plusieurs observations faites sur les interactions de rayons cosmiques (gerbes) mais se trouve en désaccord avec des lois de changement d'échelle (scaling) à 1500 GeV de résultats obtenus au PS à 19 GeV comme l'indiquent les deux schémas ci-contre.

L'analyse se poursuit par l'étude des particules de moindre énergie ayant impressionné les émulsions.