



**HAL**  
open science

# REVUE DES PHÉNOMÈNES A IMPULSION TRANSVERSE ÉLEVÉE AUX I.S.R. DANS LES COLLISIONS p-p

J. Teiger

► **To cite this version:**

J. Teiger. REVUE DES PHÉNOMÈNES A IMPULSION TRANSVERSE ÉLEVÉE AUX I.S.R. DANS LES COLLISIONS p-p. Journal de Physique Colloques, 1976, 37 (C2), pp.C2-47-C2-59. 10.1051/jphyscol:1976206 . jpa-00216479

**HAL Id: jpa-00216479**

**<https://hal.science/jpa-00216479>**

Submitted on 4 Feb 2008

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## REVUE DES PHÉNOMÈNES A IMPULSION TRANSVERSE ÉLEVÉE AUX I.S.R. DANS LES COLLISIONS p-p

J. TEIGER

Département de Physique des Particules Élémentaires  
CEN, Saclay, B.P. 2, 91190 Gif-sur-Yvette, France

**Résumé.** — Des expériences récentes et anciennes aux ISR du CERN sur la production inclusive des particules à impulsion transverse élevée, dans les collisions proton-proton sont rapportées et discutées.

**Abstract.** — Experimental data from CERN-ISR on production of single particle at large transverse momentum in proton-proton collisions are reviewed and discussed.

**1. Introduction.** — Depuis le début du fonctionnement des I.S.R. (anneaux de stockage) du CERN il y a eu une grande quantité d'expériences et une activité théorique importante dans l'étude des phénomènes à impulsion transverse élevée. Cette activité a été le résultat de la publication des travaux expérimentaux de trois groupes aux ISR en 1972 [1, 2, 3].

Ces groupes ont mis en évidence un des caractères significatifs des collisions p-p à très hautes énergies, à savoir l'aplatissement de la courbe montrant la section efficace de la production inclusive des hadrons avec l'augmentation de l'impulsion transverse. On peut aussi noter que, lorsque l'on atteint des valeurs de  $P_{\perp} > 3 \text{ GeV}/c$ , la section efficace inclusive des pions présente une forte dépendance, en fonction de l'énergie dans le centre de masse de la collision (Fig. 1 et 2). Ces comportements ont été confirmés depuis par des expériences faites à FNAL [4, 5, 6] et ils sont maintenant bien établis pour la production inclusive des  $\pi^{\pm}$ ,  $\pi^0$ ,  $K^{\pm}$ , p et  $\bar{p}$ . Depuis cette époque, beaucoup de nouveaux résultats ont été obtenus aux ISR et à FNAL. Dans cette revue on va décrire quelques expériences récentes sur les phénomènes à impulsion transverse élevée et à diverses énergies des protons incidents (voir Tableau I).

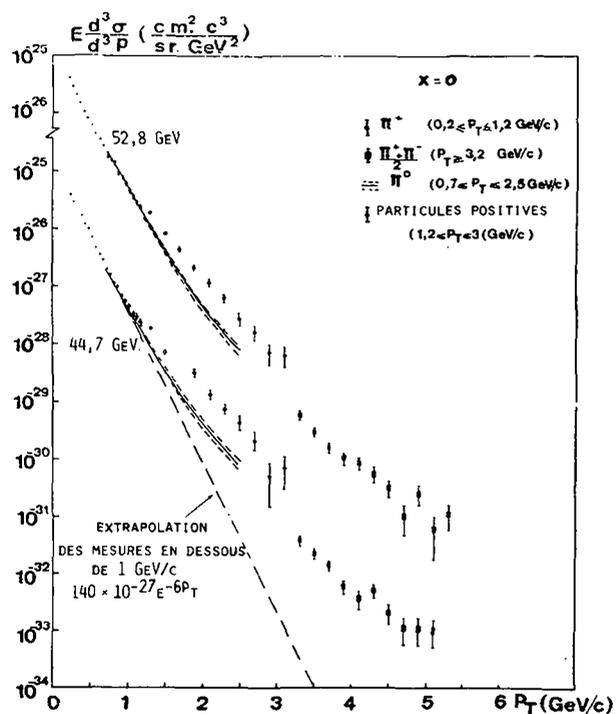


Fig. 1. --- Section efficace invariante pour les  $\pi^{\pm}$ ,  $\pi^0$  et toutes les particules chargées positives, expérience Saclay, Strasbourg.

TABLEAU I

*Les expériences récentes à impulsions transverse élevée aux I.S.R.*

Groupes	$\theta_{CM}$	Particules détectées	Appareillage et angle solide	Domaine de $P_{\perp}$
C.C.R.S.	90°	$\pi^0, \eta^0, \pi^+, \pi^-$	Verre au plomb (250 msr) Spectromètre magnétique (64 msr)	$(\pi^0) 2,5 < P_{\perp}^* < 8 \text{ GeV}/c$ $(\pi^{\pm}) 3,3 < P_{\perp}^* < 8 \text{ GeV}/c$
B.S.	90° 53°	$\pi^{\pm}, p^{\pm}, K^{\pm}$	Spectromètre magnétique (5,5 msr)	$1 < P_{\perp}^* < 4 \text{ GeV}/c$
A.C.H.M.	90° 59°	$\pi^0, \eta^0$	Verre au plomb (300 msr)	$0,5 < P_{\perp}^* < 8 \text{ GeV}/c$
FNAL	90°	$\pi^{\pm}, K^{\pm}, p^{\pm}, D$	Spectromètre magnétique (20 $\mu$ sr)	$0,5 < P_{\perp}^* < 7 \text{ GeV}/c$

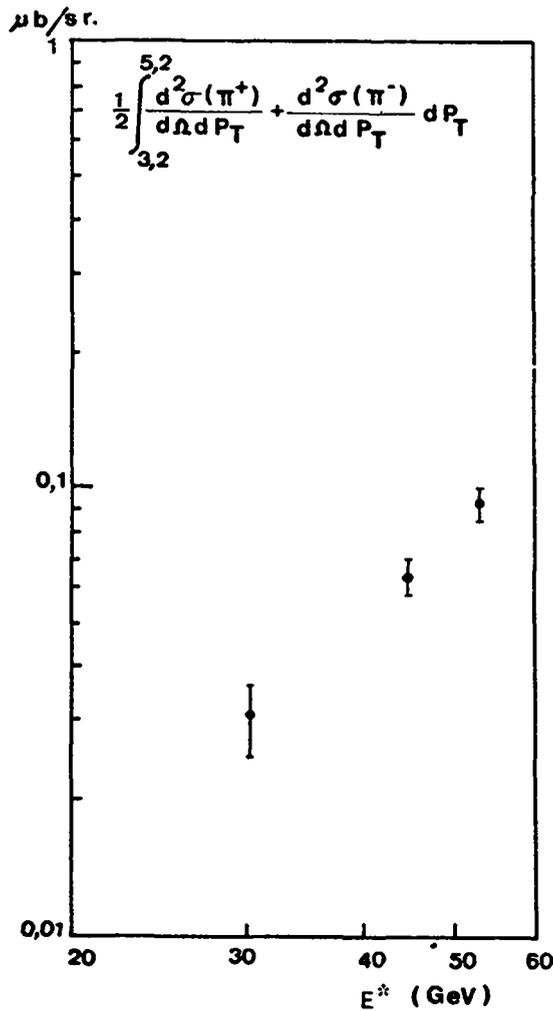


FIG. 2. — Section efficace intégrée pour les pions en fonction de  $\sqrt{s}$ .

*Remarque.* — Lorsqu'on entreprend la mesure de la section efficace invariante pour une réaction inclusive, la résolution du spectromètre magnétique (particules chargées) ou du Čerenkov à verre au plomb (pour les  $\pi^0$ ), joue un grand rôle. Dans la comparaison entre diverses mesures, les différences peuvent être dues en partie à l'effet de la résolution de l'appareillage et à la façon d'en tenir compte (Fig. 3).

2. Production inclusive des  $\pi^0$ ,  $\eta^0$  et  $\pi^\pm$ . **Expérience C.C.R.S.** — L'expérience faite, en collaboration, par des laboratoires du CERN, de Columbia, de Rockefeller et de Saclay (C.C.R.S.) a mesuré la production des  $\pi^\pm$ ,  $\pi^0$ ,  $\eta^0$  dans un même appareillage, à cinq énergies différentes dans le centre de masse [ $\sqrt{s} = 23,5; 30,6; 44,8; 52,7; 62,4$  GeV]. Le dispositif expérimental est montré sur la figure 4. Il est placé à  $90^\circ$  d'une intersection et les deux spectromètres sont opposés. Les particules chargées sont détectées et analysées dans deux spectromètres magnétiques. Chaque spectromètre est équipé d'un compteur Čerenkov à gaz placé dans l'aimant. Le compteur Čerenkov dans le bras 1, rempli d'isobutane à la

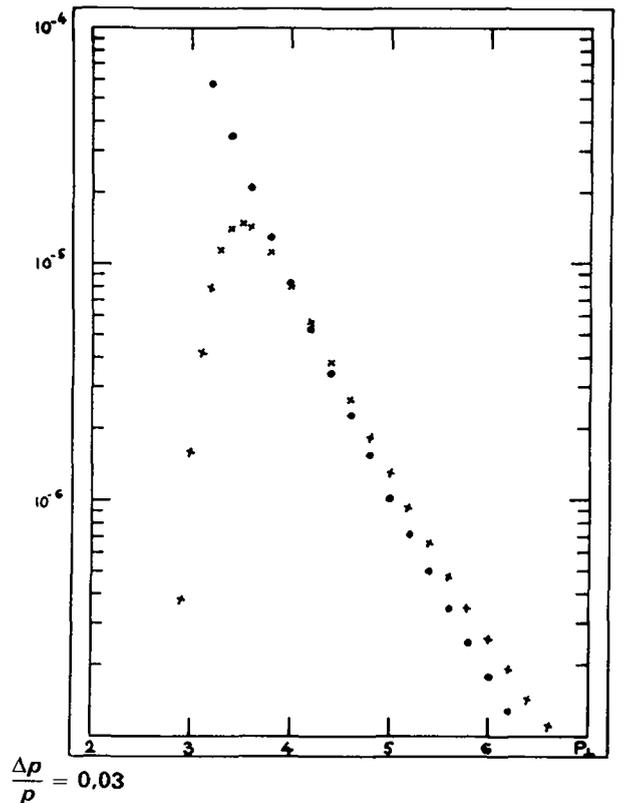


FIG. 3. — Effet de la résolution en impulsion sur la forme de la section efficace dans l'expérience C.C.R.S.

pression atmosphérique, a un seuil de détection pour les pions de 2,8 GeV/c dans le système du laboratoire.

On identifie les photons de la désintégration des  $\pi^0$  ou des mésons  $\eta$  dans le bras 2 par les gerbes électromagnétiques qu'ils produisent dans un compteur Čerenkov à verre au plomb et à absorption totale. Ce compteur est constitué par 119 blocs (7 rangées de 17 blocs horizontaux). Chaque bloc a 35 cm d'épaisseur, ce qui correspond à 14,7 longueurs de radiation, la section est de 15 cm  $\times$  15 cm. Les pions chargés à impulsion transverse élevée sont détectés et mesurés dans le bras 1.

Quatre compteurs à scintillation de 1 m<sup>2</sup>, B<sub>1</sub> à B<sub>4</sub> et qui ne sont pas montrés sur le dessin de l'appareillage sont placés autour des tubes à vide des I.S.R. Les compteurs B<sub>1</sub> et B<sub>2</sub> sont placés autour du tube à vide de l'anneau 1 en aval de la zone d'intersection des deux faisceaux et les compteurs B<sub>3</sub> et B<sub>4</sub> autour de l'anneau 2. Les coïncidences B<sub>1</sub> B<sub>4</sub> ou B<sub>2</sub> B<sub>3</sub> sélectionnent des collisions p-p. Ces coïncidences ne sont utilisées que pour la détection des  $\pi^0$ .

a)  $\pi^0$  et  $\eta^0$ . — L'appareillage était déclenché chaque fois que l'énergie déposée dans un carré de 2  $\times$  2 blocs dépassait un certain seuil dans le Čerenkov à verre au plomb. Ce signal du verre au plomb était mis en coïncidence soit avec les compteurs des faisceaux, soit avec les hodoscopes H'<sub>1</sub> H'<sub>2</sub> ou H<sub>1</sub> H<sub>2</sub>.

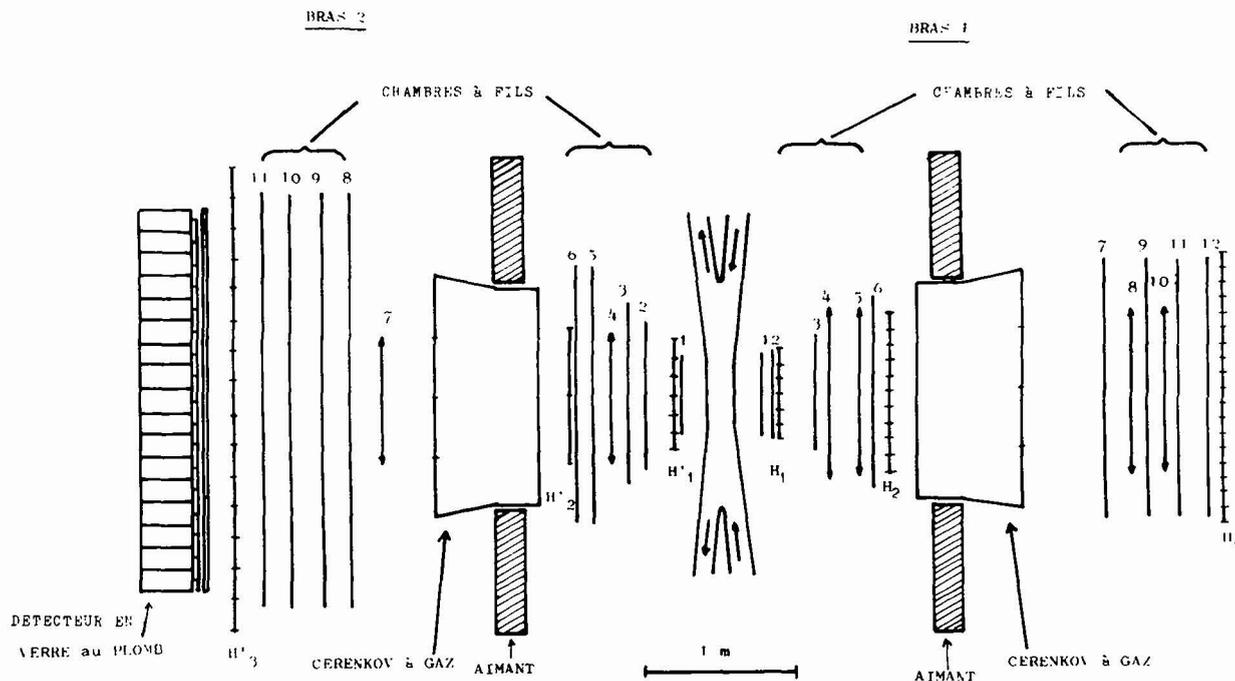


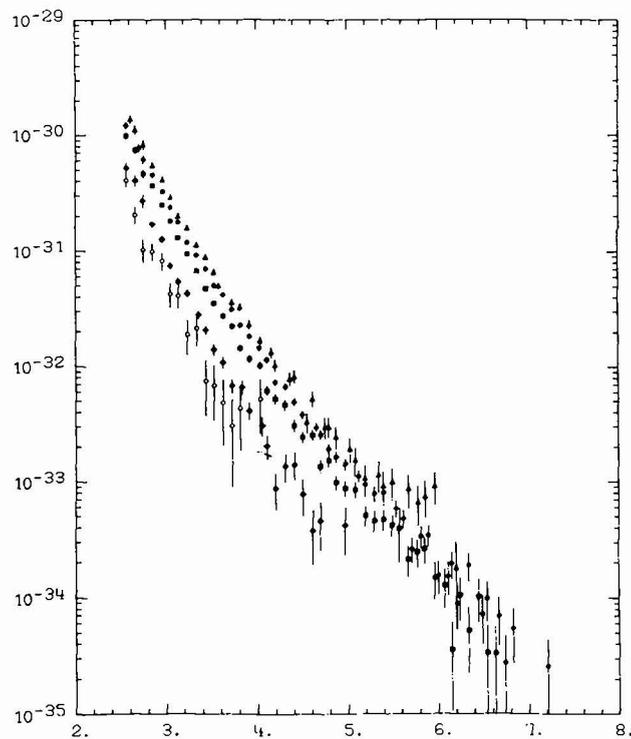
FIG. 4. — Schéma de l'appareillage de l'expérience C.C.R.S.

Pendant la prise des données, le seuil électronique était ajusté en fonction de la luminosité des I.S.R. pour obtenir un taux de déclenchement de l'ordre de 2/s.

b)  $\pi^\pm$ . — Le déclenchement pour les  $\pi$  chargés nécessitait une coïncidence entre les signaux électroniques des trois hodoscopes  $H_1$   $H_2$   $H_3$  et du compteur Čerenkov Č. En mettant le compteur Čerenkov dans le déclenchement on sélectionnait aussi bien des électrons que des pions d'impulsion transverse élevée. Pour aider à éliminer les électrons de bas moment, on a ajouté en coïncidence les signaux d'un hodoscope  $H_5$  placé derrière 5,5 longueurs de radiation de plomb. Au total après le compteur  $H_3$ , il y avait 12 LR de plomb.

2.1 RÉSULTATS DE LA PRODUCTION INCLUSIVE DES  $\pi^0$  [7]. — La figure 5 montre les résultats expérimentaux de la mesure de la section efficace invariante  $E \frac{d^3\sigma}{d^3p}$  en fonction de  $P_\perp$  pour la production inclusive des  $\pi^0$  dans l'expérience C.C.R.S. Ces courbes sont données pour un angle  $\theta$  dans le centre de masse de  $90^\circ$  et pour des énergies dans le centre de masse de 23,5 ; 30,6 ; 44,8 ; 52,7 ; 62,4 GeV.

2.2 RÉSULTATS DE LA PRODUCTION INCLUSIVE DES  $\pi^\pm$  [8]. — Des chambres à étincelles permettent la reconstruction des trajectoires des particules et donc la mesure de leurs impulsions. La figure 6 montre les sections efficaces invariantes pour les  $\pi^+$  et les  $\pi^-$  à diverses énergies dans le centre de masse et pour  $P_\perp > 3,3$  GeV/c. On a choisi 3,3 GeV/c


 FIG. 5. — Représentation de la section efficace invariante des  $\pi^0$  en fonction de  $P_\perp$  pour  $\sqrt{s}$  compris entre 23,5 et 62,4 GeV.

pour éviter des effets de seuil sur les mesures du compteur Čerenkov à pression atmosphérique d'isobutane (à noter que le seuil du compteur Čerenkov était à 2,8 GeV/c pour les  $\pi$ , dans le système du laboratoire correspondant à 3,17 GeV/c dans le CM).

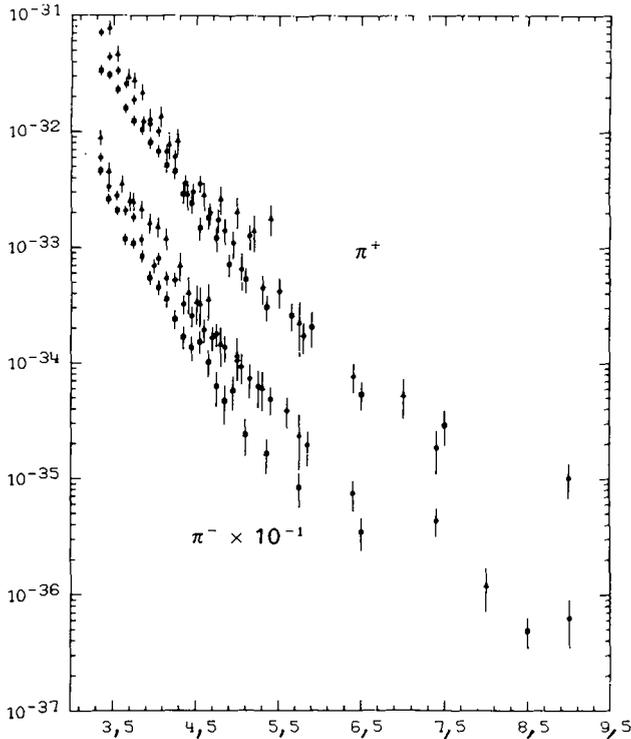


FIG. 6. — Représentation de la section efficace invariante des  $\pi^+$  et des  $\pi^-$  pour  $P_{\perp} > 3,3$  GeV/c et pour  $\sqrt{s}$  compris entre 23,5 et 62,4 GeV.

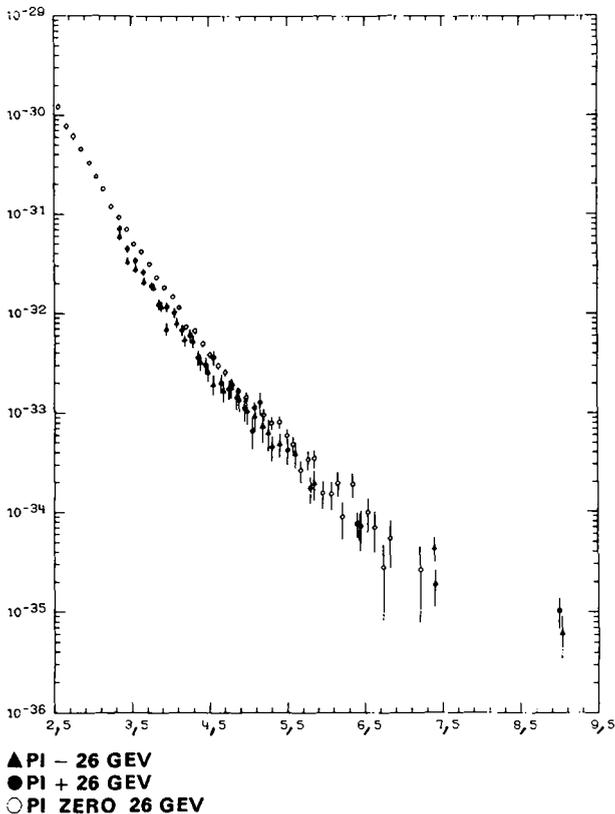


FIG. 7. —  $E \frac{d^3\sigma}{dp^3}$  pour les  $\pi^0$  et les  $\pi^{\pm}$  à  $\sqrt{s} = 52,7$  GeV dans l'expérience C.C.R.S.

En conclusion des mesures simultanées des  $\pi^0$  et  $\pi^{\pm}$ , la figure 7 montre les résultats obtenus à

$$\sqrt{s} = 52,7 \text{ GeV}.$$

L'accord entre les sections efficaces est bon, bien que la section efficace des  $\pi^0$  soit 30 % en dessus de celle des  $\pi^{\pm}$ . Il faut noter qu'une erreur de calibration de 4 % dans l'énergie mesurée par le verre au plomb entraîne une erreur dans la normalisation de la section efficace de 27 %.

La comparaison avec des données entre 0,5 GeV/c et 1,2 GeV/c de moment transverse montre un changement de pente important. En fait pour  $3 < P_{\perp} < 5$  GeV/c la pente est de l'ordre de  $2,4 (\text{GeV}/c)^{-1}$  à comparer avec la pente de la distribution en dessous de 1 GeV/c et qui est de  $6 (\text{GeV}/c)^{-1}$ .

Par ailleurs si on représente la quantité

$$\int_{P > 3,3}^{\infty} \frac{d^2\sigma}{dp_{\perp} dy} dp_{\perp}$$

pour les  $\pi^+$  et les  $\pi^-$  en fonction de l'énergie dans le centre de masse de la collision, cette variation ne semble pas être une puissance de  $s$  (Fig. 8).

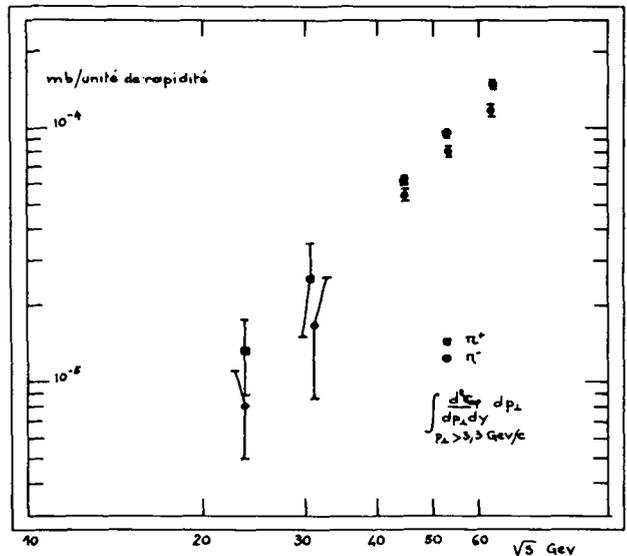


FIG. 8. — Section efficace intégrée pour les  $\pi^+$  et les  $\pi^-$  en fonction de  $\sqrt{s}$ .

### 2.3 RÉSULTATS POUR LA PRODUCTION DES $\eta^0$ .

Dans l'expérience C.C.R.S., on a regardé les événements qui donnent deux  $\gamma$  et le nombre de ces événements a été porté en fonction de la masse effective  $M_{\gamma\gamma}$  des deux photons. La figure 9 représente la distribution du nombre d'événements en fonction de la masse pour :  $\sqrt{s} = 30,6; 44,8; 52,7; 62,4$  GeV. Deux pics apparaissent dans ces distributions, le premier à  $M_{\gamma\gamma} = M_{\pi^0}$ , le second à la masse du  $\eta^0$ . On considère que le bruit de fond a une décroissance exponentielle.

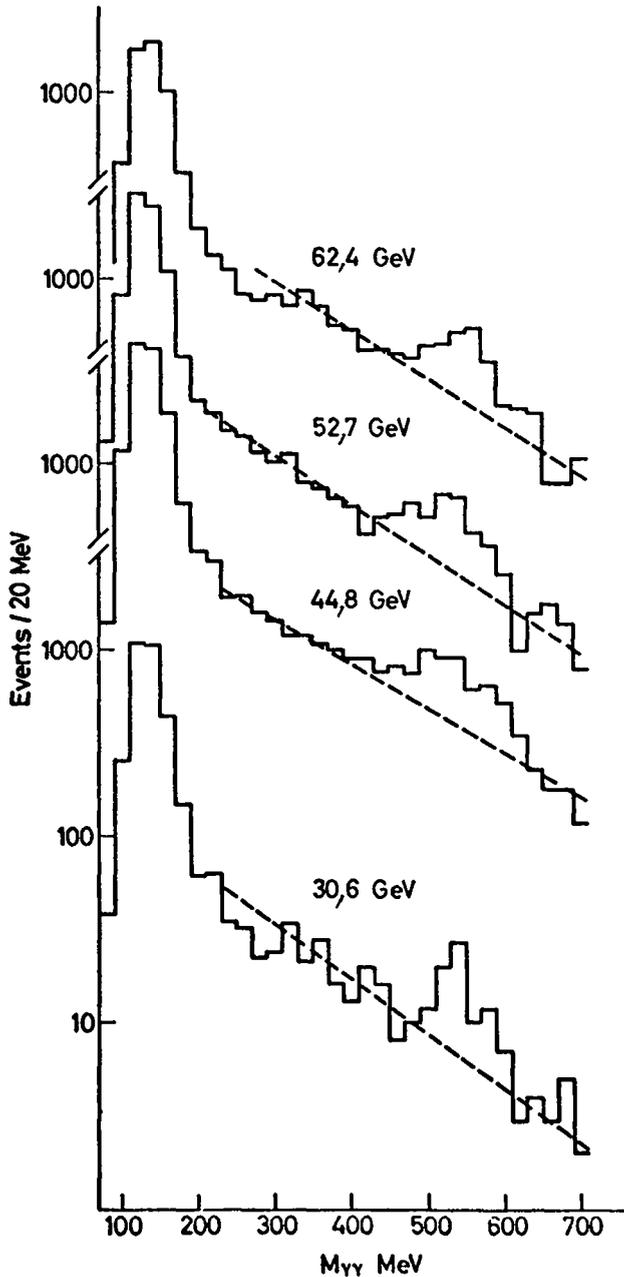


FIG. 9. — Nombre d'événements par bande de 20 MeV en fonction de la masse effective  $M_{\gamma\gamma}$  de deux photons.

Sur la figure 10 est représentée la section efficace de production du  $\eta^0$  à  $\theta = 90^\circ$  et  $\sqrt{s} = 52,7$  GeV. Il a été adopté un rapport de branchement pour la désintégration du  $\eta \rightarrow \gamma\gamma$  de 0,38. La forme de la section efficace du  $\eta$  apparaît être parallèle à celle du  $\pi^0$  pour un intervalle de  $P_\perp$  compris entre 3 et 5,6 GeV/c. En intégrant les sections efficaces des  $\pi^0$  et des  $\eta^0$  entre les deux valeurs des  $P_\perp$  précédemment indiquées, on trouve le rapport :

$$\frac{\eta^0}{\pi^0} = 0,55 \pm 0,11.$$

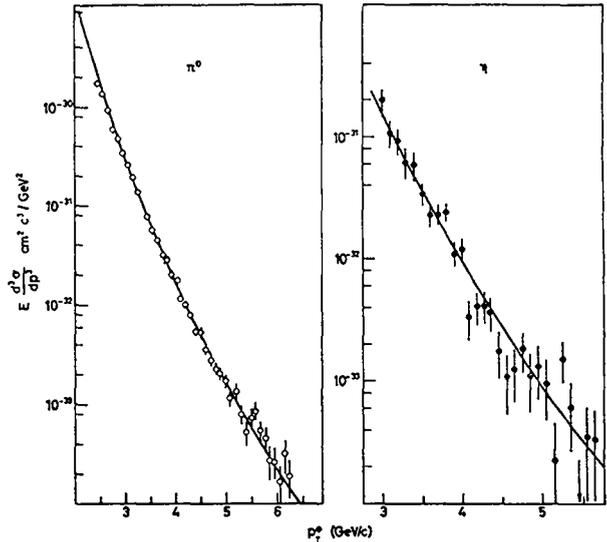


FIG. 10. —  $E \frac{d^3\sigma}{dp^3}$  pour les  $\pi^0$  et les  $\eta^0$  à  $\sqrt{s} = 52,7$  GeV.

**3. Mesures faites en collaboration, par les Britanniques et les Scandinaves [B.S.].** — Cette équipe a publié récemment des résultats : [9, 10].

— Sur la production inclusive de toutes les particules chargées à des angles dans le centre de masse de  $90^\circ$  et  $53^\circ$ .

— Sur des rapports de production des particules en fonction de  $P_\perp$ .

Il faut noter que ce groupe est le seul à avoir fait des mesures sur les particules chargées à grandes impulsions transverses aux ISR à des angles différents de  $90^\circ$  ( $x = 0$ ).

Sur la figure 11 est représenté le dispositif expérimental pour la détermination de la section efficace inclusive pour toutes les particules chargées.

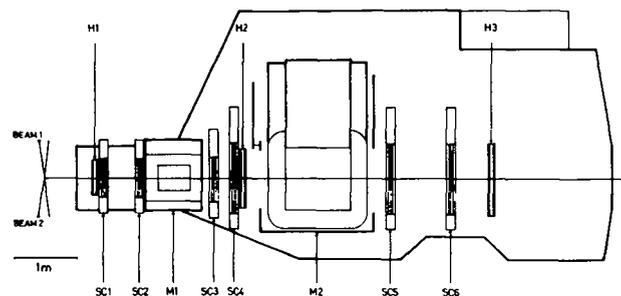


FIG. 11. — Dispositif expérimental de l'expérience des Britanniques et des Scandinaves pour la mesure de toutes les particules chargées.

**3.1 PRODUCTION INCLUSIVE DE TOUTES LES PARTICULES CHARGÉES.** — L'impulsion des particules traversant le spectromètre est déterminée deux fois par la déflexion dans les aimants  $M_1$  et  $M_2$ . Le déclenchement s'obtient par la coïncidence entre les trois hodoscopes  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_3$ . Les informations de six chambres permettent la reconstruction de la trace

des particules et le calcul de l'impulsion. L'angle solide de l'appareillage est de 5,5 msr à comparer à 64 msr pour celui de l'appareillage C.C.R.S.

Les résultats des mesures de la section efficace invariante  $E \frac{d^3\sigma}{d^3p}$  pour la production inclusive des particules positives et négatives sont donnés sur la figure 12,  $\theta = 90^\circ$  et  $\sqrt{s} = 44$  et 53 GeV.

On constate que la production des particules positives est plus grande que celles des particules négatives et que la différence semble constante en fonction de  $P_\perp$ , à  $\sqrt{s} = 44$  GeV; cela ne semble pas être le cas à  $\sqrt{s} = 53$  GeV.

Les résultats à  $\theta = 59^\circ 4$  sont similaires à ceux de  $90^\circ$ . Un aspect intéressant de ces données est que la section efficace à  $3 < P_\perp < 4$  GeV/c est la même pour ces deux angles. Il faut noter que ce changement d'angle correspond à une variation de  $X = 2 P_\perp / \sqrt{s}$  de 0,1. Il semble donc que le plateau central bien observé à bas  $P_\perp$  existe aussi à  $P_\perp$  moyen.

**3.2 RAPPORT DE PRODUCTION DES DIFFÉRENTES PARTICULES.** — Le groupe B.S., après modification de son appareillage a étudié aussi les rapports de production des particules secondaires produites. Le spectromètre précédent a été modifié comme on peut le voir sur la figure 13. L'aimant  $M_1$  a été enlevé et remplacé par un compteur Čerenkov à haute pression de gaz. Un deuxième Čerenkov de même type est placé après l'aimant  $M_2$ . Le premier compteur détecte les pions et les kaons alors que le second compteur Čerenkov n'est sensible qu'aux pions. Avec ce dispositif, qui peut couvrir les angles compris entre  $36^\circ$  et  $90^\circ$ , les pions, les kaons et les protons peuvent être séparés entre 1,6 et 6 GeV/c.

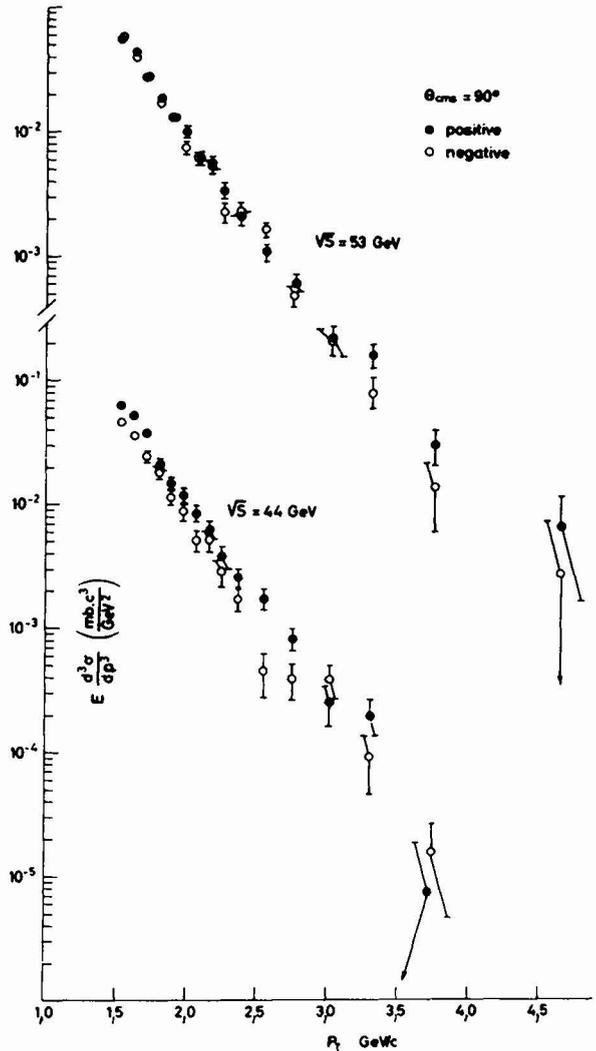


FIG. 12. — Représentation des sections efficaces de toutes les particules chargées positives et négatives à  $\sqrt{s} = 53$  et 44 GeV.

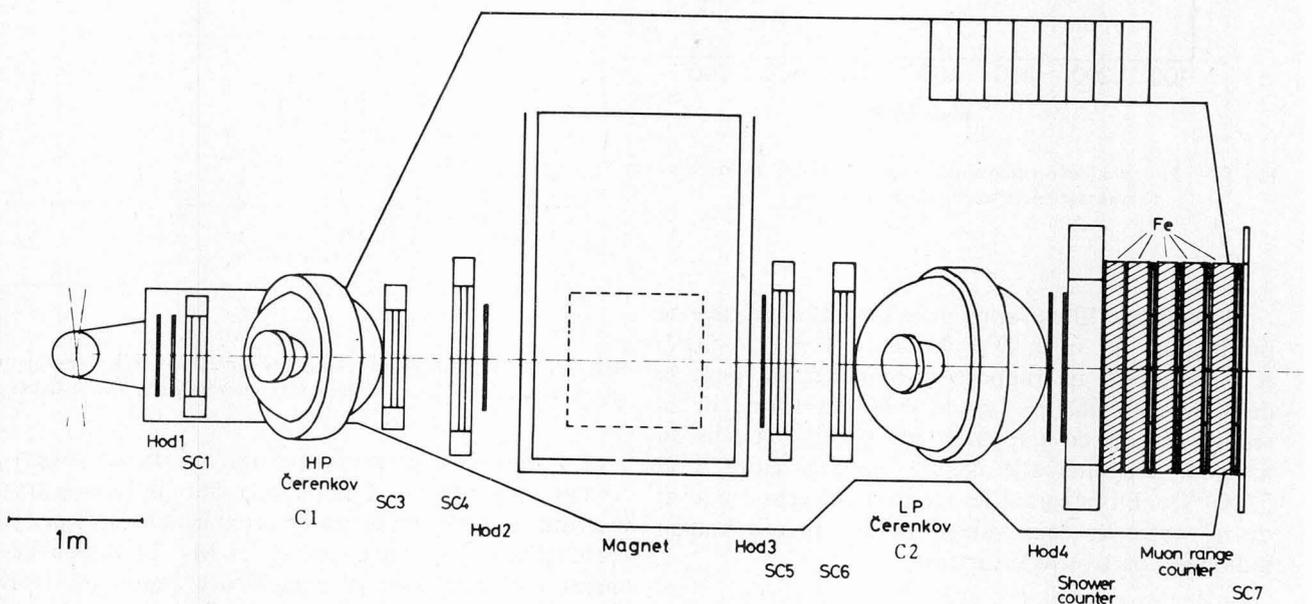


FIG. 13. — Schéma du dispositif expérimental modifié de l'expérience des Britanniques et des Scandinaves pour la détection des  $\pi^\pm$ ,  $K^\pm$ ,  $p$ ,  $\bar{p}$ .

4. **Résultats.** — Les sections efficaces invariantes  $E \frac{d^3\sigma}{dp^3}$  sont données pour les  $\pi$ , les K et les protons pour  $0,8 < P_{\perp} < 4,8$  GeV/c et pour  $\sqrt{s} = 23,4$  à 63 GeV.

A un angle  $\theta = 60^\circ$  et  $\sqrt{s} = 30,6$  à 52,8 GeV, les sections efficaces sont données pour les  $\pi$ , les K et les p pour  $1 < P_{\perp} < 3,4$  GeV/c.

Et enfin, à  $\theta = 40^\circ$  et  $\sqrt{s} = 44,6$  à 52,8 GeV, les sections efficaces  $E \frac{d^3\sigma}{dp^3}$  sont données pour les  $\pi$ , les K, et les p pour  $1,1 < P_{\perp} < 3,1$  GeV/c.

Les figures 14, 15, 16 représentent les résultats obtenus pour les  $\pi^\pm$ , les  $K^\pm$  les p et les  $\bar{p}$  à  $\theta_{CM} = 90^\circ$ .

Sur la figure 17 qui donne les résultats pour les  $\pi$ , K, p et  $\bar{p}$  à  $\sqrt{s} = 52,8$  GeV et à  $\theta_{cm} = 89^\circ$ , en incluant

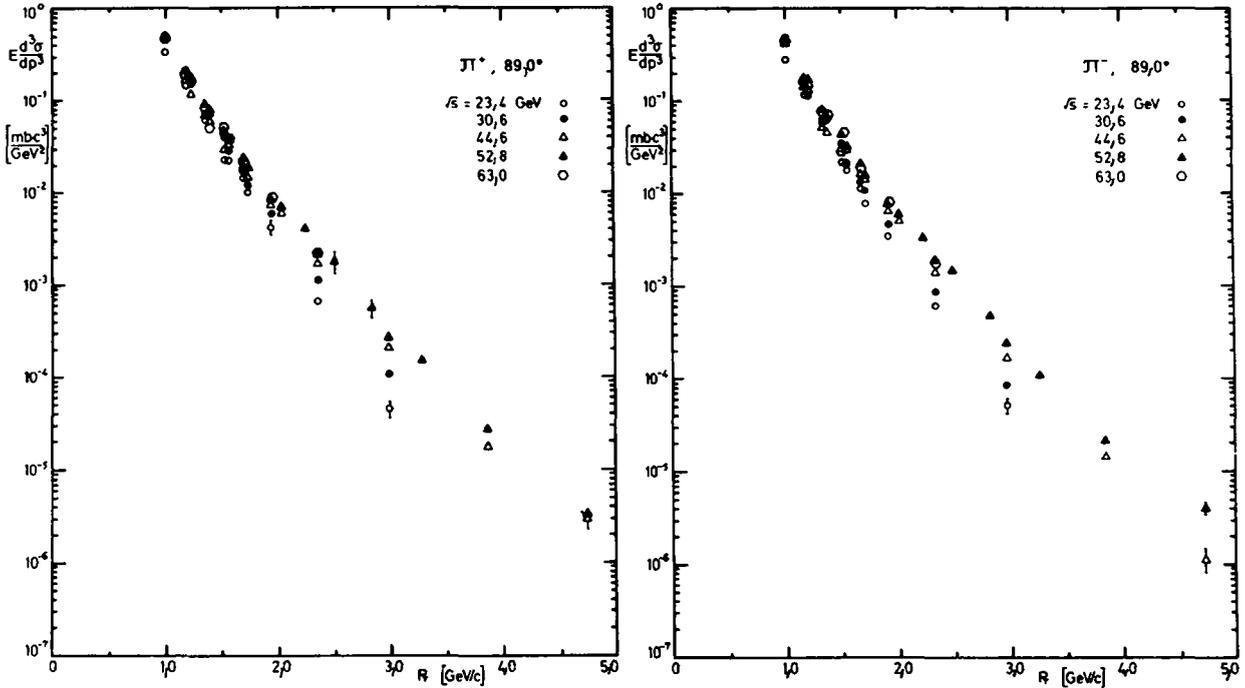


FIG. 14. —  $E \frac{d^3\sigma}{dp^3}$  en fonction de  $P_{\perp}$  pour les  $\pi^+$  et les  $\pi^-$ .

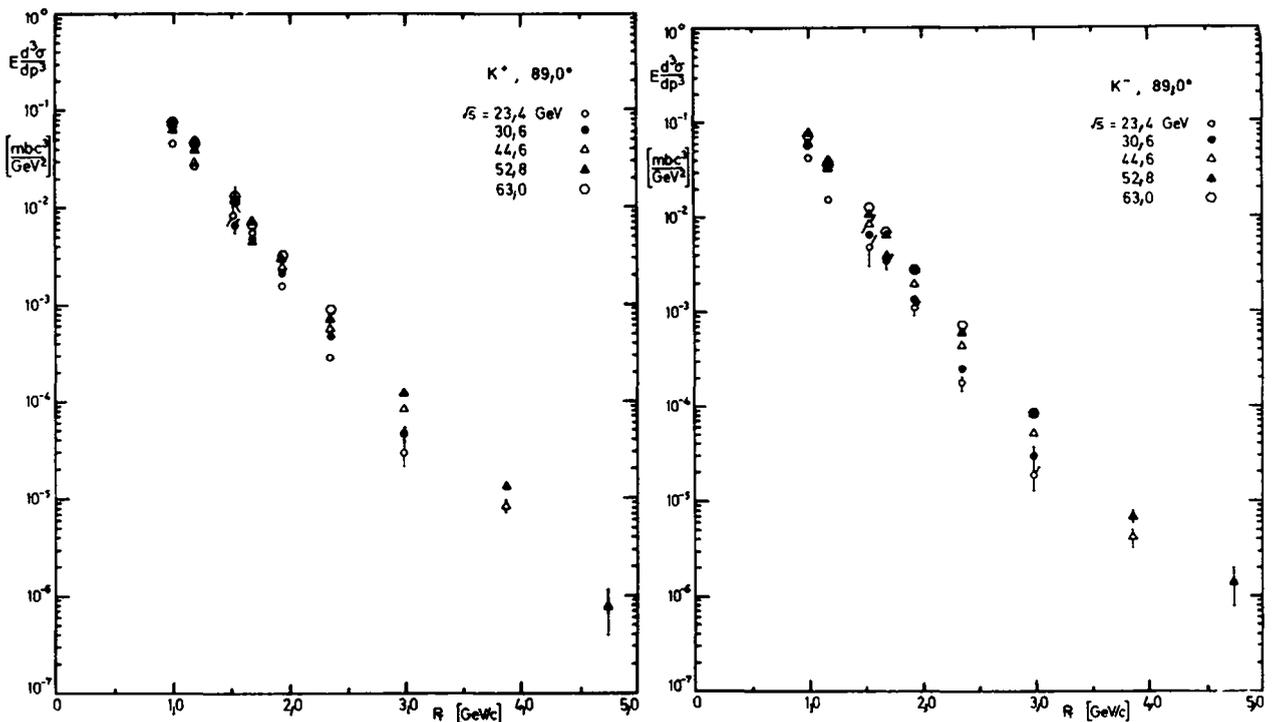


FIG. 15. —  $E \frac{d^3\sigma}{dp^3}$  en fonction de  $P_{\perp}$  pour les  $K^+$  et les  $K^-$ .

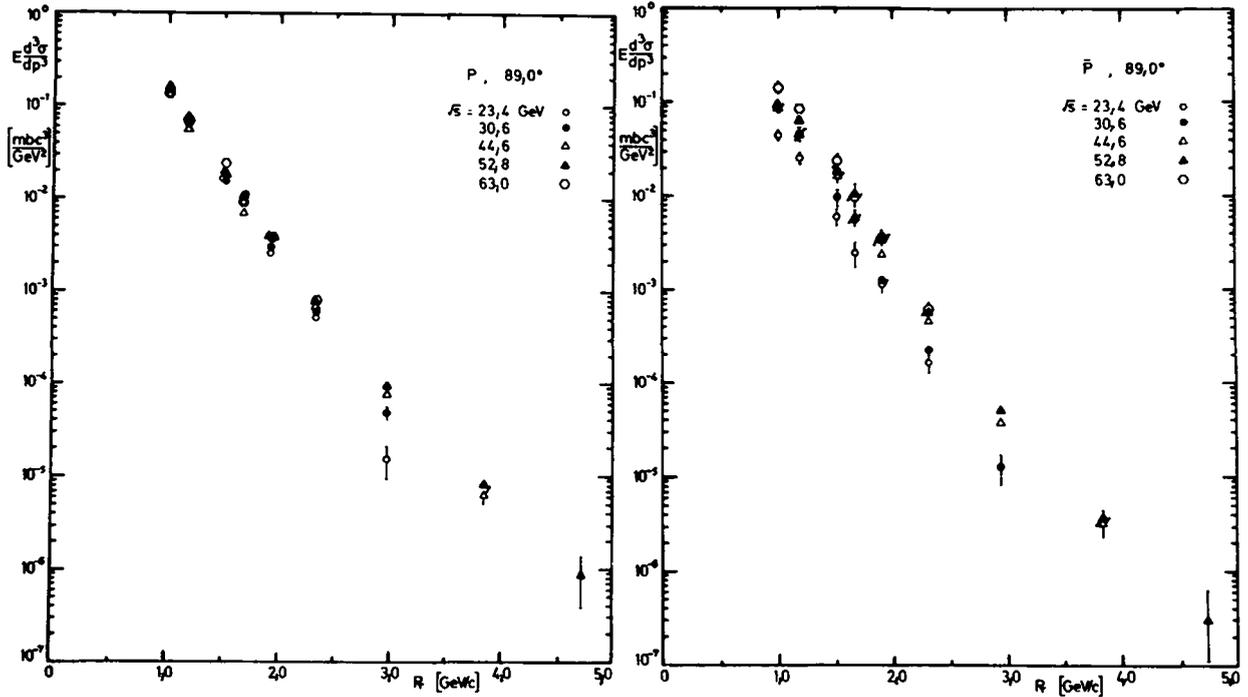


FIG. 16. —  $E \frac{d^3\sigma}{dp^3}$  en fonction de  $P_{\perp}$  pour les p et les  $\bar{p}$ .

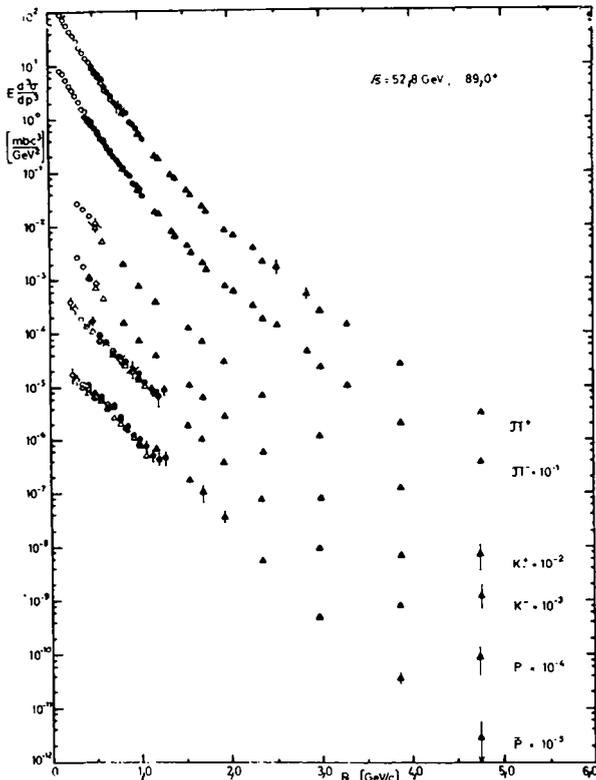
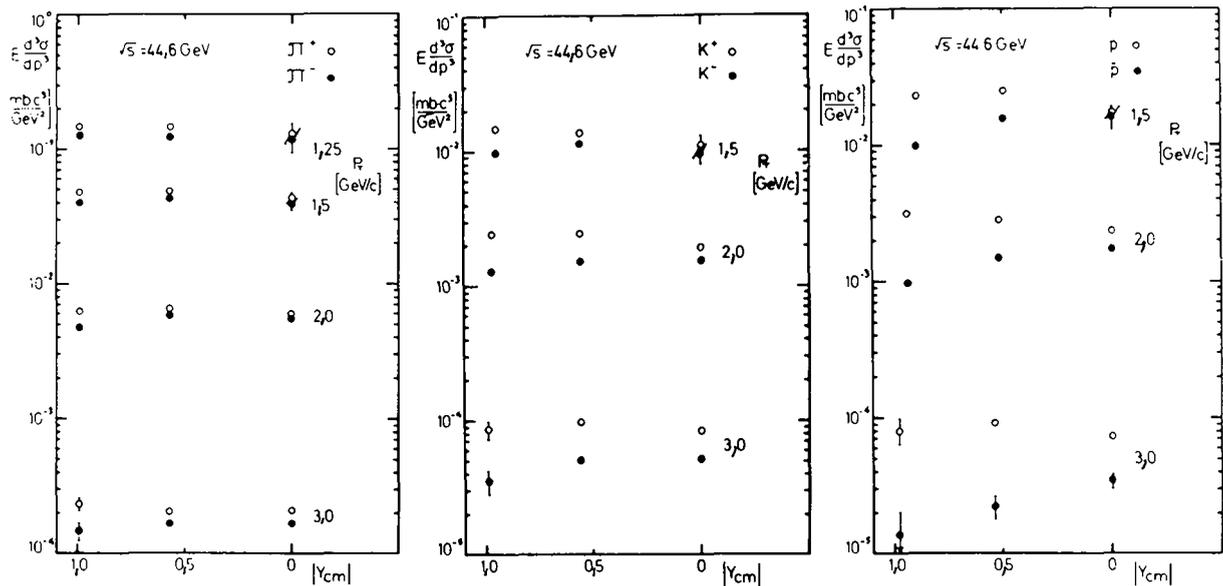
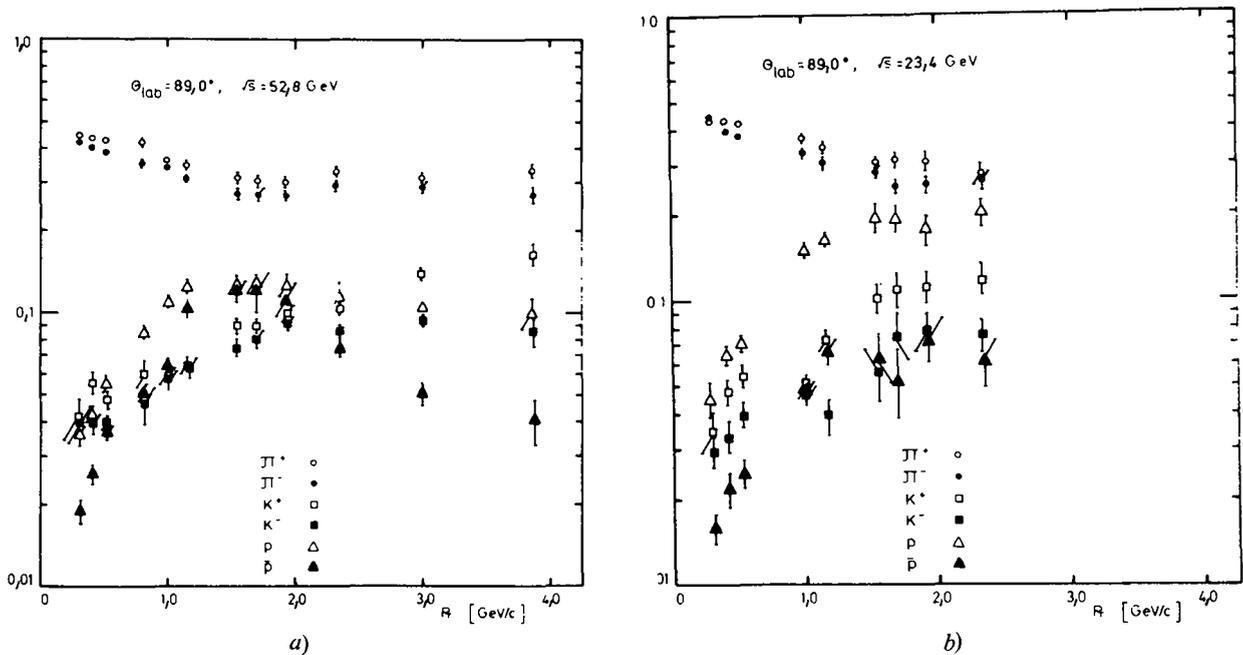


FIG. 17. — Représentation des sections efficaces invariantes pour les  $\pi^+$ ,  $K^+$ , p,  $\bar{p}$  en fonction de  $P_{\perp}$  à  $\sqrt{s} = 52,8$  GeV et à  $\theta = 90^\circ$  (expérience des Britanniques et des Scandinaves).

les résultats pour  $P_{\perp} < 1$  GeV/c, on peut voir que le changement de pente de la courbe pour les pions existe aussi pour les kaons. Par contre pour les protons et les antiprotons ce changement de pente s'il existe, est beaucoup plus faible.

**5. Dépendance de la section efficace en fonction de la rapidité.** — Du fait que des mesures ont été faites à différents angles  $\theta_{lab} = 45^\circ, 62^\circ, 89^\circ$  on peut déterminer la distribution en rapidité à  $P_{\perp}$  constant (Fig. 18). Les  $\pi^+$  et  $\pi^-$  montrent une distribution plate à impulsion transverse élevée comme c'était le cas à bas  $P_{\perp}$ . Pour les kaons et les nucléons, le rapport des sections efficaces des particules positives sur les négatives augmente avec  $|Y_{cm}|$ .

**6. Rapports de production des particules.** — A l'aide des résultats précédents, on peut représenter les fractions des pions, kaons, nucléons produites par rapport à l'ensemble des particules chargées. C'est ce qui est représenté sur les figures 19a et b, pour  $\theta_{CM} = 89^\circ$  et deux valeurs de  $\sqrt{s}$  (23,4 et 52,4 GeV). La proportion de protons observée en fonction de l'énergie de la collision diminue lorsque  $\sqrt{s}$  augmente, alors que c'est l'inverse qui se produit pour les antiprotons. La même remarque peut être faite pour les  $K^+$  et les  $K^-$ , mais l'effet est moins prononcé.


 FIG. 18. — Représentation des sections efficaces invariantes pour les  $\pi^\pm$ ,  $K^\pm$ ,  $p$ ,  $\bar{p}$  à  $\sqrt{s} = 44,6$  GeV en fonction de  $|Y_{cm}|$ .

 FIG. 19A ET B. — Rapports de production des  $\pi^\pm$ ,  $K^\pm$ ,  $p$ ,  $\bar{p}$ , sur toutes les particules chargées à  $\sqrt{s} = 23,4$  et  $52,8$  GeV.

Quant à la dépendance en fonction de  $P_\perp$  de ces rapports, il y a une forte augmentation des  $K^+$  et une diminution des  $\bar{p}$  au-dessus de  $P_\perp > 1$  GeV/c.

Le rapport  $\pi^+/\pi^-$  au-dessus de 1,2 GeV/c est indépendant de  $P_\perp$  avec toujours un excès de  $\pi^+$ .

**7. Expérience en collaboration des équipes de A.C.H.M. sur la production des  $\pi^0$  et  $\eta^0$**  (A.C.H.M., Aachen, CERN, Heidelberg, Munich). — Cette expérience récente faite aux I.S.R. a étudié le spectre, en fonction de l'impulsion transverse, des  $\pi^0$  et des  $\eta$ .

Cette expérience est similaire à celle faite par C.C.R.S. mais en plus une mesure a été entreprise à  $\theta_{CM} = 53^\circ$ .

La figure 20 montre un schéma du dispositif expérimental utilisé. Les photons sont détectés par un compteur Čerenkov au verre au plomb. Il consiste en 61 blocs hexagonaux, chaque bloc étant exinscrit dans un cercle de diamètre égal à 13,6 cm; l'épaisseur du bloc est de 32 cm (15 longueurs de radiation). L'ensemble couvre environ une surface de 1 m<sup>2</sup> et il est placé à 1,9 m de l'intersection. Ce compteur peut être déplacé et il a été mis à des angles de production moyen de  $90^\circ$  et  $53^\circ$  dans le système du centre de masse.

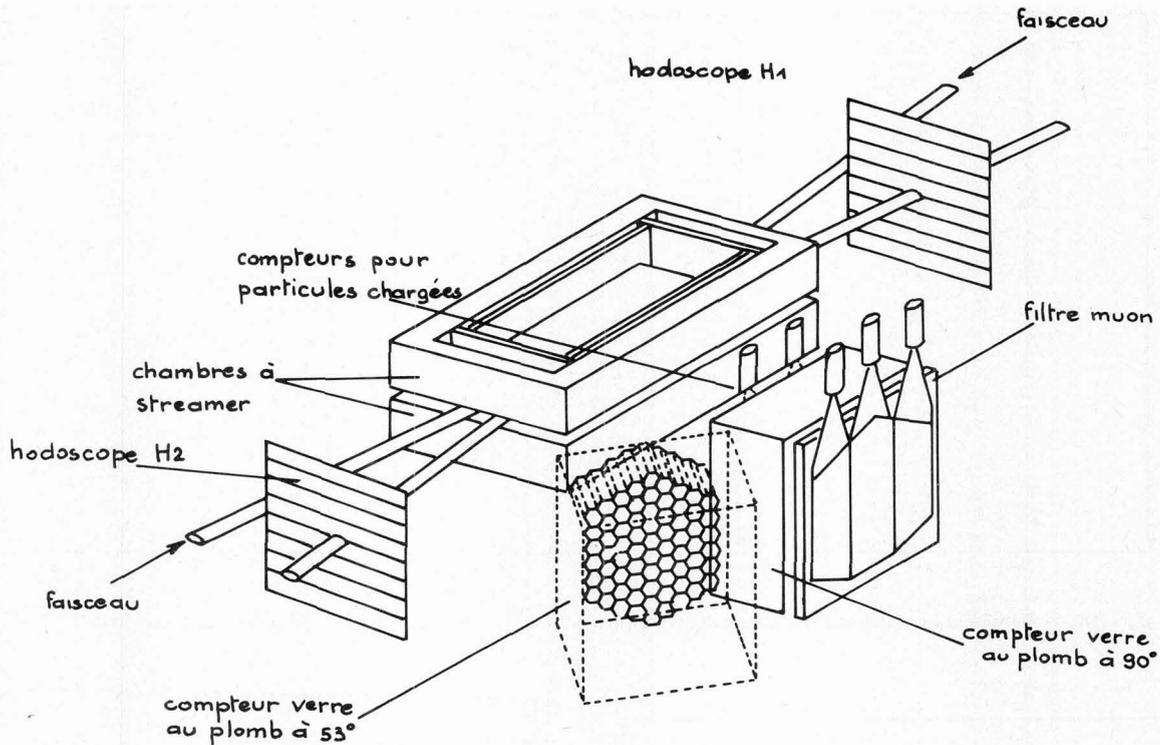


FIG. 20. — Dispositif expérimental de l'expérience A.C.H.M.

Autour de la zone d'intersection se trouve placées deux chambres à *Streamer* qui permettent la reconstruction de la trajectoire des particules chargées dans un angle solide important. Pour la détection des  $\pi^0$  l'angle solide est de 300 msr dans le système du centre de masse.

Diverses méthodes ont été utilisées pour la calibration en énergie au verre au plomb et l'énergie des gerbes est connue avec une précision de 5%.

La section efficace invariante  $E \frac{d^3\sigma}{d^3p}$  pour les  $\pi^0$  est représentée par la figure 21, en fonction de l'impulsion transverse  $P_{\perp}$ . On remarquera que les données à  $\theta_{CM} = 90^\circ$  et  $53^\circ$  sont confondues.

**8. Production des  $\eta^0$  dans l'expérience A.C.H.M. —**

Entre 1 et 2 GeV/c de moment transverse, les  $\pi^0$  peuvent être identifiés comme la masse invariante de deux  $\gamma$ . C'est un domaine où l'angle d'ouverture des 2  $\gamma$  est petit comparé à l'acceptance angulaire, mais assez grande pour produire deux  $\gamma$  dans le verre au plomb et dont on peut déterminer l'énergie.

De même, la désintégration des deux photons du  $\eta^0$  (rapport de branchement  $0,38 \pm 0,01$ ) peut être détectée au-dessus de 3 GeV/c de moment transverse. La section efficace invariante des mésons  $\eta^0$  à  $\theta = 90^\circ$  et  $\sqrt{s} = 53,2$  GeV est montrée sur la figure 22. Dans le domaine de  $P_{\perp}$  compris entre 3 et 4,5 GeV/c, la section efficace des  $\eta^0$  est parallèle à celle de  $\pi^0$  et

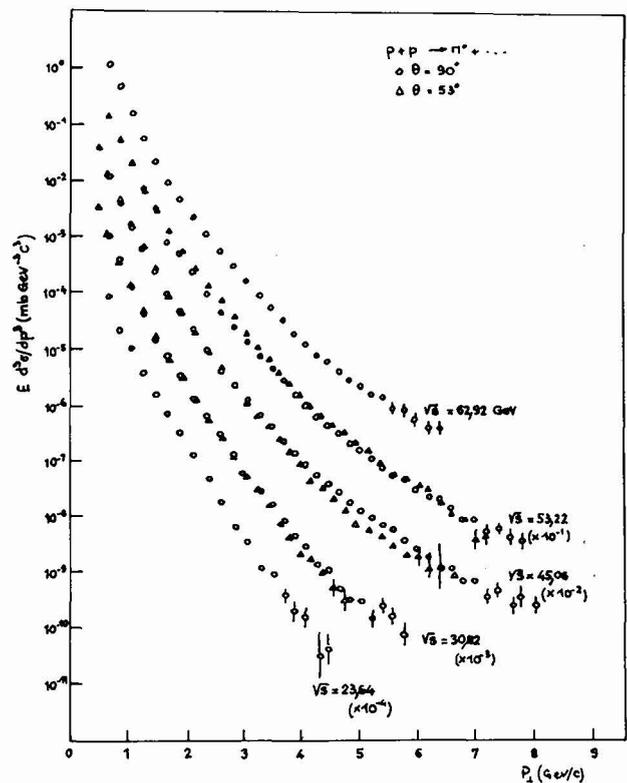


FIG. 21. —  $E \frac{d^3\sigma}{d^3p}$  en fonction de  $P_{\perp}$  pour les  $\pi^0$ , à  $\theta_{CM} = 90^\circ$  et  $53^\circ$  et  $\sqrt{s}$  compris entre 23,6 et 62,9 GeV de l'expérience A.C.H.M.

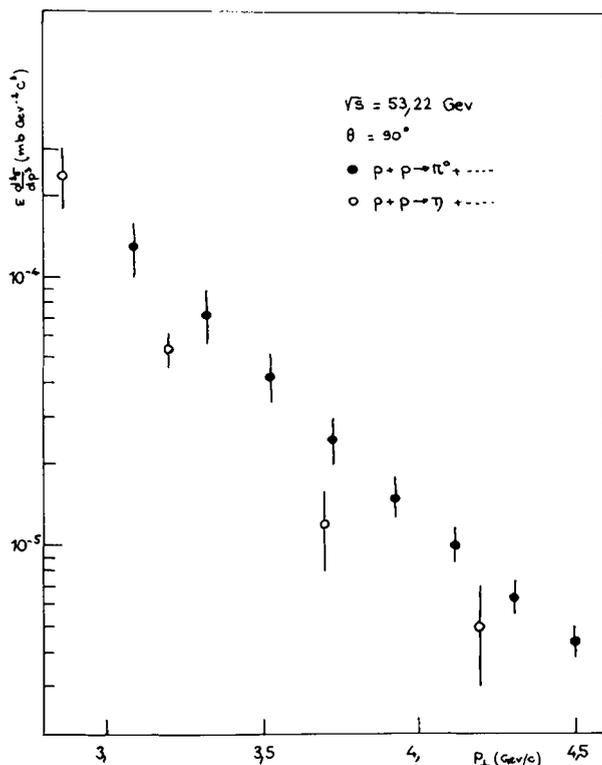


FIG. 22. — Comparaison entre la production des  $\pi^0$  et  $\eta^0$  à  $\sqrt{s} = 53,2$  GeV.

l'amplitude deux fois plus petite. C'est une confirmation du résultat trouvé par l'expérience C.C.R.S.

**9. Comparaison entre les diverses mesures : Conclusions.** — Les différentes mesures en ce qui concerne les sections efficaces inclusives des  $\pi^+$ ,  $\pi^-$ ,  $\pi^0$ ,  $\eta^0$  sont en assez bon accord. On peut voir sur la figure 23 l'ensemble des résultats à  $\sqrt{s} = 53$  GeV pour les  $\pi$  chargés et les  $\pi$  neutres, l'accord entre les diverses expériences est bon, sauf peut-être pour les résultats de l'expérience A.C.H.M. où la forme de la représentation des  $\pi^0$  est un peu différente de celle des autres groupes.

Les sections efficaces invariantes des particules montrent :

1) Elles dévient rapidement de la forme exponentielle observée entre 0,3 GeV/c et 1 GeV/c et que cette décroissance exponentielle tend vers une loi en puissance de  $P_{\perp}$ . Pour bien mettre en évidence ce caractère on a représenté la section efficace invariante des  $\pi^0$  en fonction de  $P_{\perp}$  sur un graphique en log-log (Fig. 24).

Ceci est vrai aux énergies disponibles aux I.S.R. Par contre la comparaison avec les mesures faites à FNAL [11], à  $90^\circ$  dans le centre de masse et à des énergies de la collision  $\sqrt{s} = 19,49; 23,79; 27,45$  GeV, sur des cibles de W, Ti, B, indique qu'une loi exponentielle rend bien compte des résultats.

2) Les sections efficaces invariantes des  $\pi^{\pm}$  et des  $\pi^0$

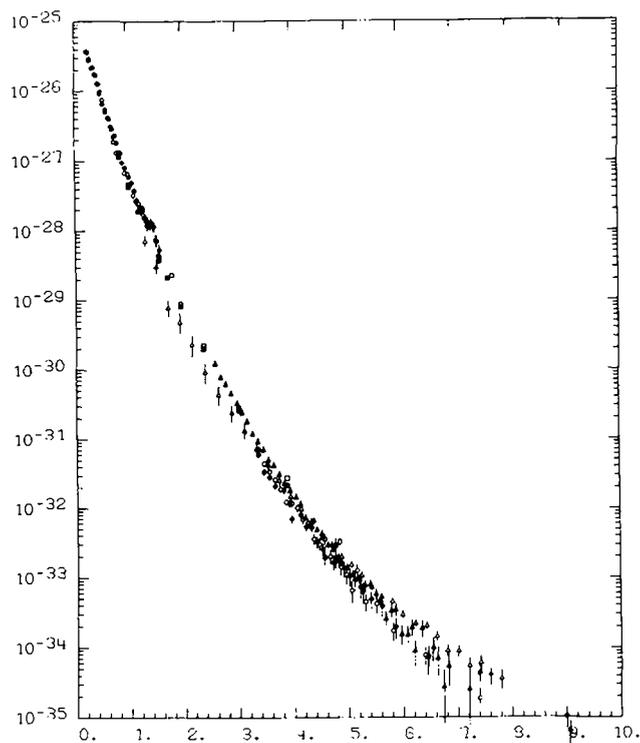


FIG. 23. — Ensemble des résultats pour les  $\pi^{\pm}$ ,  $\pi^0$ , à  $\sqrt{s} = 53$  GeV des expériences C.C.R.S., B.S., A.C.H.M.

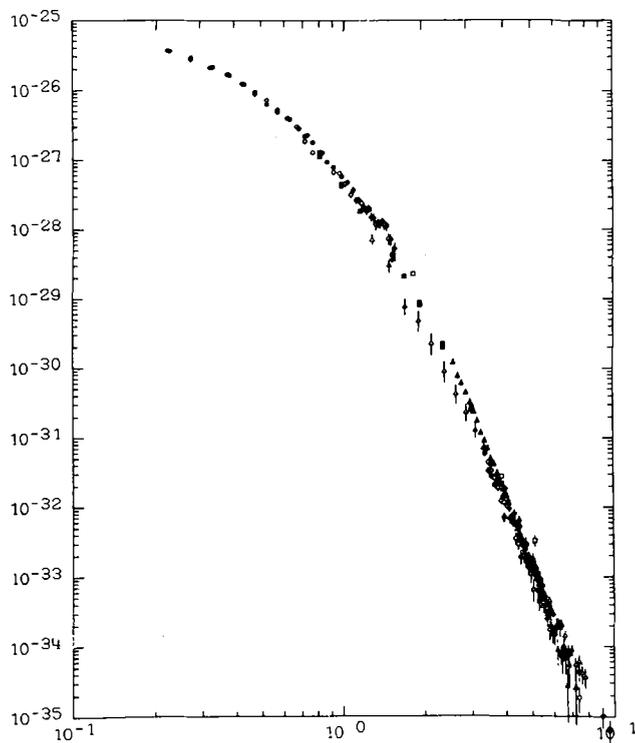


FIG. 24. — Représentation de la section efficace invariante des  $\pi^0$  en fonction de  $P_{\perp}$  en coordonnées log, log (expérience C.C.R.S.).

dépendent très peu de l'angle de production ( $40^\circ < \theta_{CM} < 90^\circ$ ).

3) On note une forte dépendance en énergie de la production des pions (intégrés à grand  $P_{\perp}$ ), en contra-

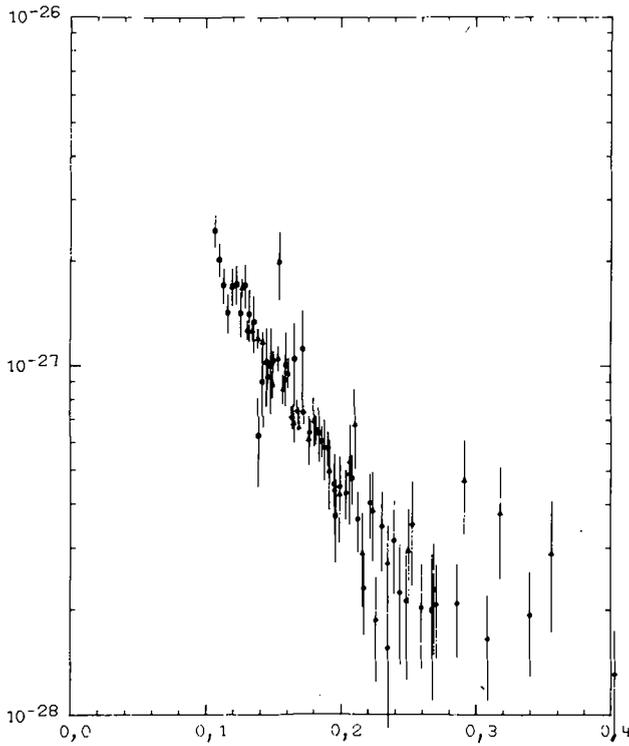


FIG. 25.

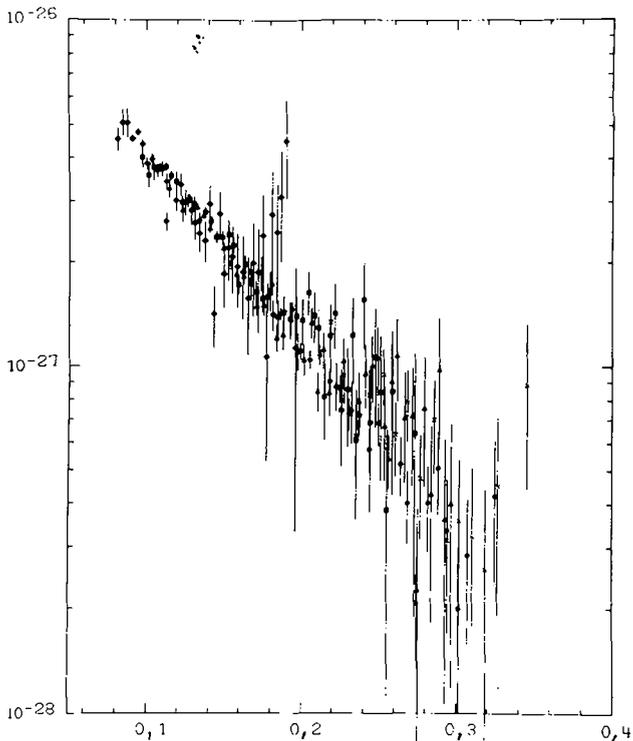


FIG. 25-26. --- Représentation de  $P_{\perp}^n E \frac{d^3\sigma}{dp^3}$  en fonction de  $X_{\perp}$  pour les  $\pi^{\pm}, \pi^0$ .

diction avec le caractère de non-dépendance en énergie pour  $P_{\perp} < 1$  GeV/c. L'augmentation est de l'ordre de 10 entre  $\sqrt{s} = 22$  GeV et 63 GeV.

4) Le rapport  $\pi^+/\pi^-$  qui était au-dessous de 1 GeV/c voisin de un, devient égal à 1,2 à  $P_{\perp} = 3$  GeV/c.

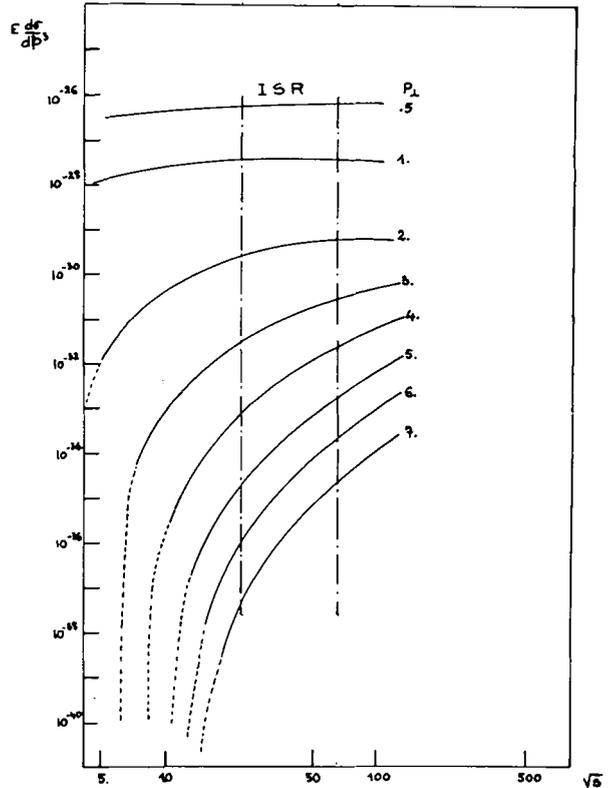


FIG. 27. — Graphique de  $\log E \frac{d^3\sigma}{dp^3}$  en fonction de  $\log \sqrt{s}$  à  $P_{\perp}$  fixé.

On peut essayer de représenter les résultats, pour différentes valeurs de  $s$  par une courbe de la forme :

$$E \frac{d^3\sigma}{dp^3} = P_{\perp}^{-n} F(X_{\perp}) \quad \text{avec} \quad X_{\perp} = \frac{2 P_{\perp}}{\sqrt{s}}$$

et on adopte pour  $F(X_{\perp}) = A e^{-BX_{\perp}}$ .

Sur les figures 25 et 26 est portée la quantité représentée par  $P_{\perp}^n E \frac{d^3\sigma}{dp^3}$  en fonction de  $X_{\perp}$  pour les données en  $\pi^+$  et en  $\pi^-$  de l'expérience C.C.R.S. ( $\sqrt{s} = 44, 52, 63$  GeV). Les valeurs de  $n$  obtenues, pour les  $\pi$  chargés, les  $\pi$  neutres des diverses expériences sont représentées dans le tableau II.

TABLEAU II

Groupe	Particules	Valeurs de $n$
C.C.R.S.	$\pi^+$	7,5
	$\pi^-$	7,86
	$\pi^0$	8,62
B.S.	$\pi^+$	$\sim 8$
A.C.H.M.	$\pi^0$	7,2
FNAL	$\pi^-, \pi^+$	11

$$J = E \frac{d^3\sigma}{d^3p} = P_{\perp}^{-n} F(X_{\perp}) = P_{\perp}^{-n} e^{-2BP_{\perp}/\sqrt{s}}$$

lorsque

$$\sqrt{s} \rightarrow \infty \quad F(X_{\perp}) \rightarrow 1$$

et par suite

$$J \rightarrow P_{\perp}^{-n}.$$

On représente sur la figure 27,  $\log J$  en fonction de  $\log \sqrt{s}$  à  $P_{\perp}$  fixé. On constate que l'on a pas encore atteint la région asymptotique, et qu'elle est d'autant plus difficile à obtenir que  $P_{\perp}$  est grand.

### Bibliographie

- [1] *Collaboration Saclay-Strasbourg*. Papier présenté à la XVI<sup>e</sup> Conférence Internationale sur la Physique des Hautes Energies (Chicago et Batavia, septembre 1972).
- [2] *Collaboration CERN-Columbia-Rockefeller*. Même référence que ci-dessus.
- [3] *Collaboration Britannique-Scandinave*. Même référence que ci-dessus.
- [4] CRONIN, J. W. *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **31** (1973) 1426.
- [5] CAREY, D. C. *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **32** (1974) 24.
- [6] APPEL, J. A. *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **33** (1974) 719.
- [7] BÜSSER, F. W. *et al.*, *Phys. Lett.* **55B** (1975) 232.
- [8] BÜSSER, F. W. *et al.*, Papier présenté à la Conférence Internationale des Particules Élémentaires (Palermo, 23-28 juin 1975).
- [9] ALPER, B. *et al.*, *Phys. Lett.* **44B** (1973) 521.
- [10] ALPER, B. *et al.*, *Nucl. Phys.* **B87** (1975) 19.
- [11] CRONIN, J. W. *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **31** (1973) 1426.