

EXPERIENCES REALISEES A L'ACCELERATEUR D'IONS LOURDS
DE HAUTE ENERGIE BEVATRON DU LAWRENCE BERKELEY LABORATORY
EN VUE DE L'ETUDE DE LA FRAGMENTATION DES IONS LOURDS
DU RAYONNEMENT COSMIQUE. RESULTATS PRELIMINAIRES (*)

R. KAISER, J-P. MASSUE, R. PFOHL, R. SCHMITT, P. CÜER.

Laboratoire de Physique Corpusculaire
Université de Strasbourg - France

F. FERNANDEZ, M. TOMAS, J. MEDINA, A. DURA, V. GANDIA

Laboratoria de Fisica Corpuscular,
Universidad Autonoma de Barcelona - España

J.M. BOLTA, J.L. RAMON, F. SENENT

Instituto de Fisica Corpuscular
Universidad de Valencia - Espana

* * *

INTRODUCTION

Antérieurement à Juin 1971, principalement deux accélérateurs dans le monde permettaient d'obtenir des faisceaux d'ions lourds ayant des énergies allant jusqu'à 10 MeV/nucléon, l'un implanté à Dubna en URSS et l'autre à Berkeley aux U.S.A.

Au Lawrence Berkeley Laboratory, l'existence du Bevatron et du Hilac ainsi que le développement de la technologie des sources d'ions et du "stripping" permettaient d'envisager la production de faisceaux d'ions lourds beaucoup plus énergétiques.

Initialement, cette possibilité présentait un intérêt prépondérant pour les besoins du programme biomédical mais il est évident que d'autres domaines scientifiques, comme la physique nucléaire, la physique du rayonnement cosmique et la chimie nucléaire, sont directement concernés.

(*) ^{8th} INTERNATIONAL CONFERENCE ON NUCLEAR PHOTOGRAPHY AND SOLID STATE TRACK DETECTION
BUCHAREST, JULY 1972

I. DEVELOPPEMENT DU PROGRAMME DES IONS LOURDS DE HAUTE ENERGIE

Trois phases ont été prévues pour aboutir à la production de faisceaux d'ions lourds de haute énergie.

Dans la phase appelée zéro et qui est en cours, le Bevatron a été équipé d'une source d'ions utilisée sur le Hilac. Le Linac fonctionne à un voltage plus élevé, ce qui permet d'obtenir un faisceau de 70 MeV d'azote cinq fois chargé qui est finalement sept fois chargé après passage à travers un écran de stripping approprié (Fig.1). On a ainsi obtenu des faisceaux de 10^6 particules par pulse aux énergies de 250 MeV/nucléon et 2,1 GeV/nucléon.

La phase un consiste à installer une ligne de transfert entre le Superhilac et le Bevatron. Des faisceaux plus intenses d'ions lourds de charge plus élevées doivent être disponibles au courant de 1974.

$^{20}_{10}\text{Ne}$	10^{10}	particules par pulse
$^{40}_{18}\text{Ar}$	10^9	particules par pulse
$^{56}_{26}\text{Fe}$	$3 \cdot 10^7$	particules par pulse

Dans la phase deux, on ajoutera au Superhilac un "booster", augmentant au départ l'énergie des ions lourds de 30 à 50 MeV/nucléon en vue d'accélérer le krypton et le xenon par exemple, pour aboutir à l'uranium

II. EXPERIENCES REALISEES AUPRES DU BEVATRON

A ce jour, les expériences se placent dans le cadre de la phase zéro.

En Août 1971, des deutérons, des particules alpha et de l'azote ont été accélérés à des énergies de 250 MeV/nucléon et 2,1 GeV/nucléon.

Les conditions sont à peu près semblables entre protons, deutérons et particules alpha mais pour l'azote, le rapport e/m nécessite un gradient du Linac et du champ quadripolaire accru de 40%. L'efficacité de l'écran de "stripping" est de 50% pour passer de l'état de charge 5 à l'état de charge 7. Dans l'anneau du Bevatron, 10% des ions $^{14}_7\text{N}$ survivent et le processus d'extraction lui-même a une efficacité de 50 à 70%, ce qui nous amène finalement de 2,5% à 3,5% d'ions lourds d'azote exploitables.

Les expériences ont été réalisées en connection avec celle du Dr. Harry HECKMAN et collaborateurs, qui consiste à déterminer les produits de fragmentation, émis autour de 0° , de l'azote interagissant avec le polyéthylène ou le carbone par variation de la rigidité du spectromètre magnétique suivant $R = \frac{M\beta\gamma}{Ze}$ (Fig.2). Des résonances très importantes de masse M sont obtenues.

En utilisant la configuration prévue pour l'étude de la fragmentation de l'azote sans cible toutefois, nous avons exposé en Janvier 1972 des empilements d'émulsions nucléaires de diverses sensibilités et de plastiques aux faisceaux d'ions lourds de carbone de 2,1 GeV/nucléon et d'oxygène de 250 MeV/nucléon.

En Juin 1972, cette configuration a été considérablement modifiée de façon à effectuer une analyse en position et non pas en variant la rigidité, c'est-à-dire le champ magnétique. Des ions de carbone et d'oxygène de 2,1 GeV/nucléon ont été obtenus et une dizaine d'empilements d'émulsions nucléaires ont été exposés ainsi que des cristaux de chlorure d'argent. L'abscisse en GV de la Figure 2 est remplacée par une abscisse en cm. Un essai a été tenté avec une source de néon, mais l'obtention d'un faisceau de néon est assez délicate, compte tenu de la perte dans l'anneau par échange de charge qui faisait apparaître le pic de l'oxygène et, de plus, une cible de polyéthylène était nécessaire dans le faisceau extrait pour faire perdre de l'énergie aux ions lourds de néon, donc leur donner une courbure plus grande à la sortie de l'analyseur.

Un des objectifs scientifiques poursuivi est l'étude de l'ionisation des ions lourds :

- distribution de la densité des rayons delta,
- distribution des longueurs de lacunes,
- approche d'une loi photométrique et extension du travail sur les ions lourds cosmiques à l'aide d'une grande statistique portant sur des ions lourds de charge et d'énergie connues,
- parcours - énergie.

L'objectif le plus important consiste en l'étude des interactions nucléaires des ions lourds pour contribuer à une meilleure connaissance de la fragmentation des ions lourds du rayonnement cosmique.

III. RESULTATS PRELIMINAIRES

Deux résultats préliminaires ont été obtenus avec des ions lourds d'azote de 2,1 GeV/cnucléon.

En vue de déterminer le libre parcours moyen de l'azote à 2,1 GeV/nuc-léon, 508 traces ont été suivies, soit une longueur totale de 16,73 mètres, compte tenu de la longueur de la plaque d'émulsion nucléaire G5 qui est de 5 cm. 123 interactions ont été trouvées. Les traces ne traversant pas complètement la plaque ont été rejetées et les interactions qui sont considérées comme valables sont celles dont la trace incidente a un angle tel que s'il ne s'était pas produit d'interaction, la trace incidente aurait traversé complètement la plaque.

Le libre parcours moyen λ_N a été déterminé par application de la méthode des moindres carrés aux valeurs expérimentales, en considérant que l'absorption du faisceau incident suit la relation :

$$I = I_0 e^{-\frac{x}{\lambda N}}$$

I_0 flux incident à l'entrée du détecteur,

I flux à une distance x de l'entrée du détecteur (Fig.3)

$$\lambda N = 14,4 \pm 0,6 \text{ cm}$$

soit $\lambda N = 55,1 \pm 2,1 \text{ g/cm}^2$ (émulsion nucléaire G5)

Ce résultat peut être comparé à ceux donnés par les auteurs pour les ions lourds du rayonnement cosmique du groupe M ($6 \leq Z \leq 9$) (Tableau 1).

D'une façon tout à fait préliminaire, on a également classé les interactions nucléaires produites par les ions lourds d'azote selon le nombre et la nature des branches. Notamment, la distribution angulaire des branches relativistes présente le même aspect que celle obtenue dans le rayonnement cosmique par GAGARIN et IVANOVA dans ce domaine d'énergie.

REMERCIEMENTS

Nous exprimons nos remerciements au Dr. Harry BECKMAN du Lawrence Berkeley Laboratory de Berkeley (California, USA) pour les conseils et l'aide très efficace qu'il nous a apportés pendant les expositions.

Bibliographie

- 1). J.H. NOON et M.F. KAPLON
Phys. Rev., 97, 769 (1955)
- 2). P.H. FOWLER, R.R. HILLIER et C.J. WADDINGTON
Phil. Mag., 2, 239 (1957)
V.Y. RAJOPADHYE et C.J. WADDINGTON
Phil. Mag., 3, 19 (1958)
- 3). R. CESTER, A. DEBENEDETTI, C.M. GARELLI, B. QUASSIATI, L. TALLONE
et M. VIGONE
Nuovo Cimento, 7, 371 (1958)
- 4). E. LOHRMANN et M.W. TEUCHER
Phys. Rev., 115, 636 (1959)
- 5). C.J. WADDINGTON
Prog. Nucl. Phys., 8, 1 (1966)
- 6). M.W. FRIEDLANDER, K.A. NEELAKANTAN, S. TOKUNAGA, G.R. STEVENSON,
C.J. WADDINGTON
Phil. Mag., 8, 1691 (1963)
- 7). Yu.F. CAGARIN, N.S. IVANOVA et V.N. KULIKOV
Sov. J.Nucl. Phys., 11, 698 (1970)

T A B L E A U 1

R é f é r e n c e	λ_N (g/cm ²)
NOON et KAPLON ⁽¹⁾	59,6 ± 6
FOWLER et autres ⁽²⁾	51,9 ± 3,8
CESTER et autres ⁽³⁾	51,6 ± 3,3
LOHRMANN et TEUCHER ⁽⁴⁾	49,8 ± 3,6
WADDINGTON ⁽⁵⁾	51,1 ± 2,2
FRIEDLANDER et autres ⁽⁶⁾	56,1 ± 3,9
Valeur, moyenne	53,3 ± 3,8
Notre valeur pour ${}^{14}_7\text{N}$	55,1 ± 2,1

Libre parcours moyen du groupe M ($6 \leq Z \leq 9$) des ions lourds
du rayonnement cosmique et valeur obtenue pour l'azote
accéléré à 2,1 GeV/nucléon au Bevatron du LBL.

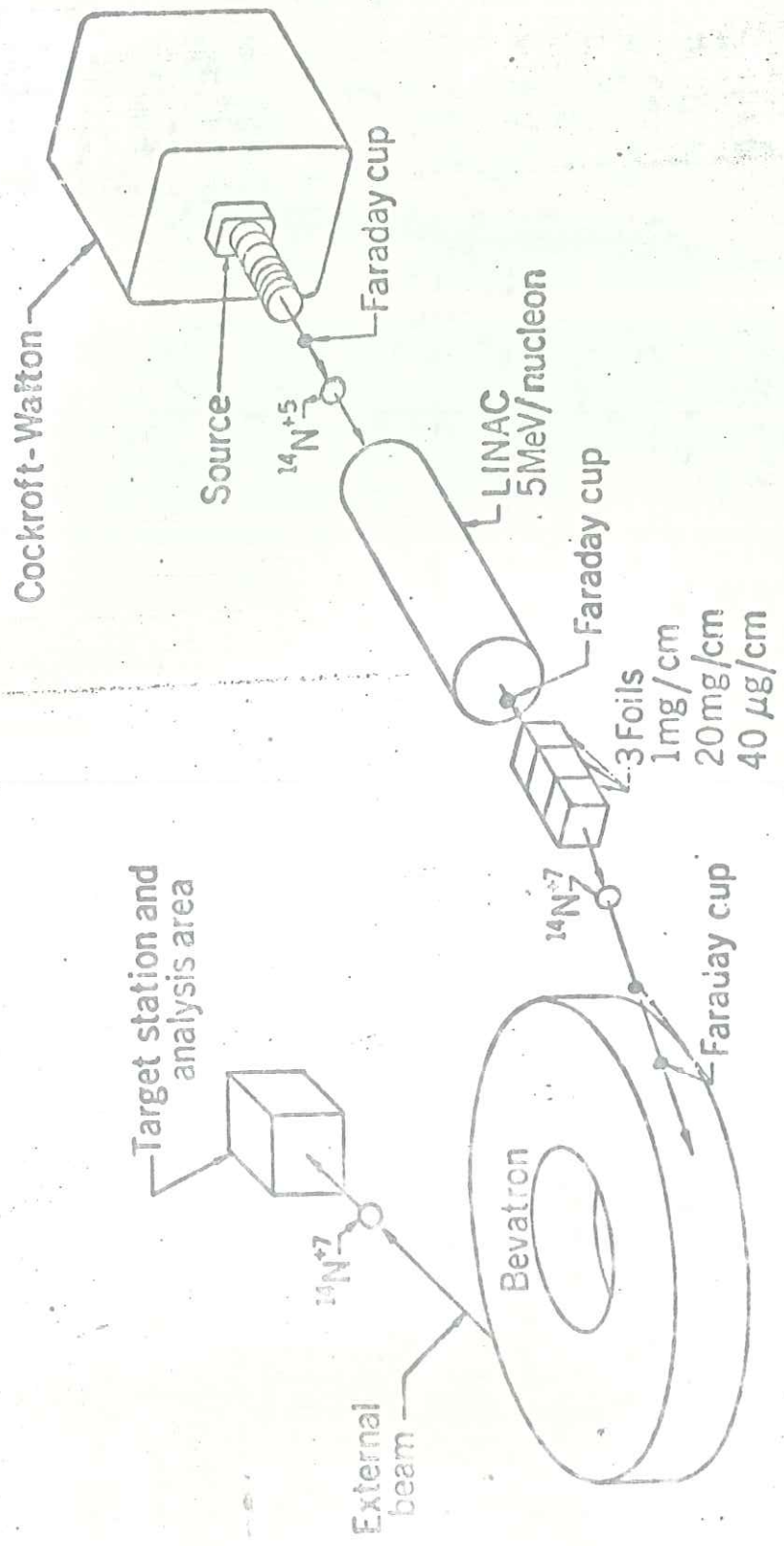


Fig. 1

NOMBRE
ATOMIQUE Z

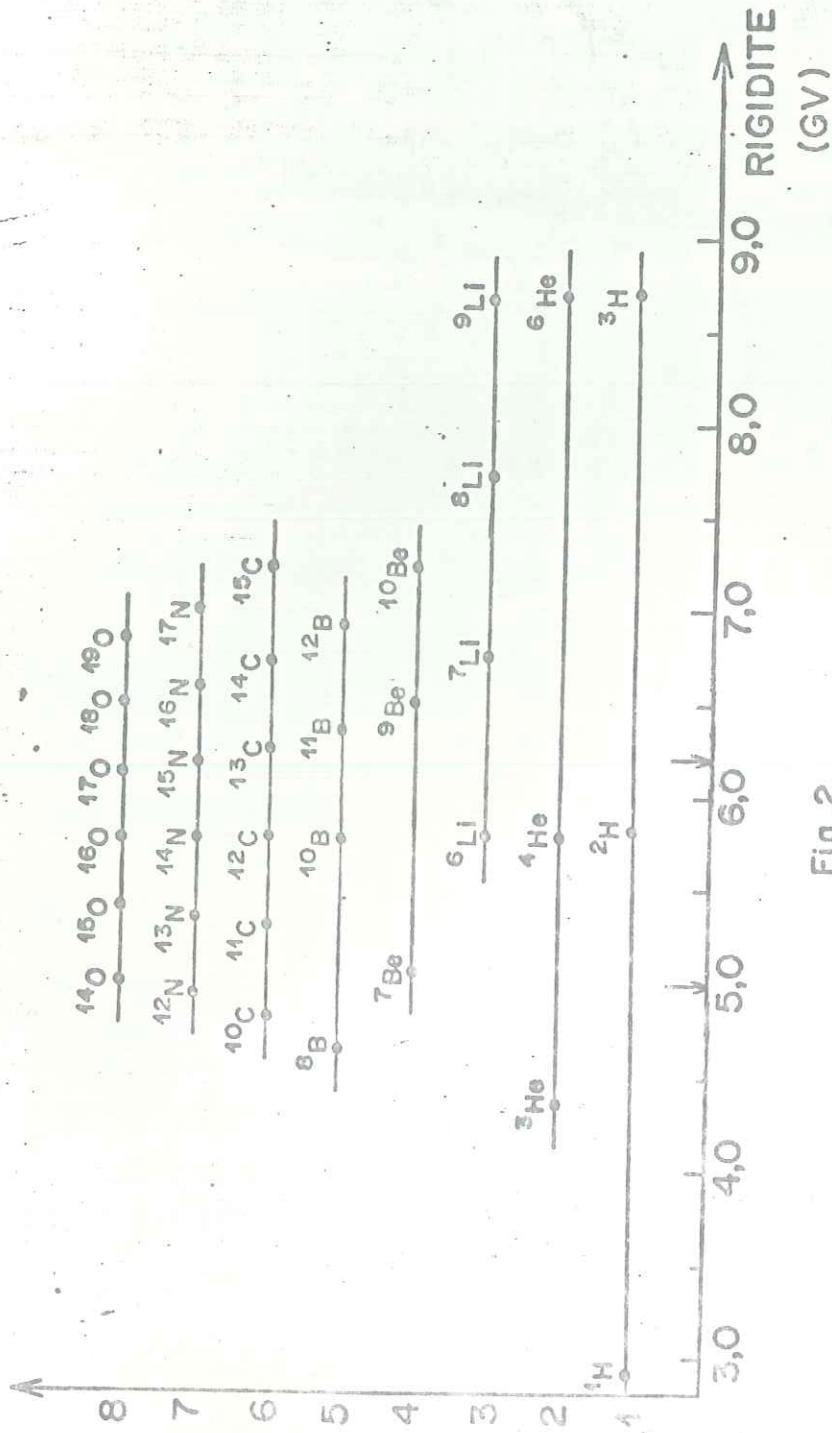


Fig. 2

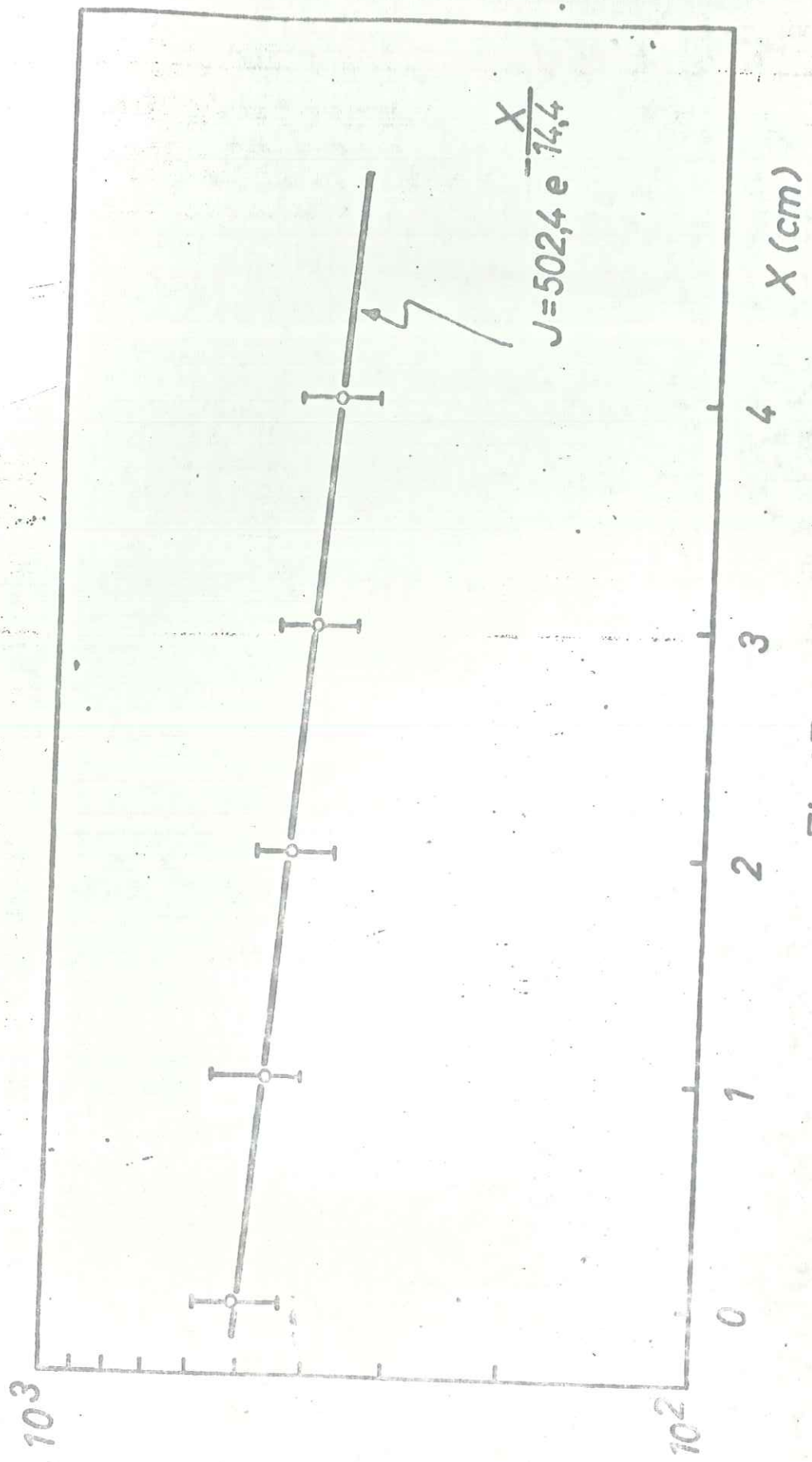
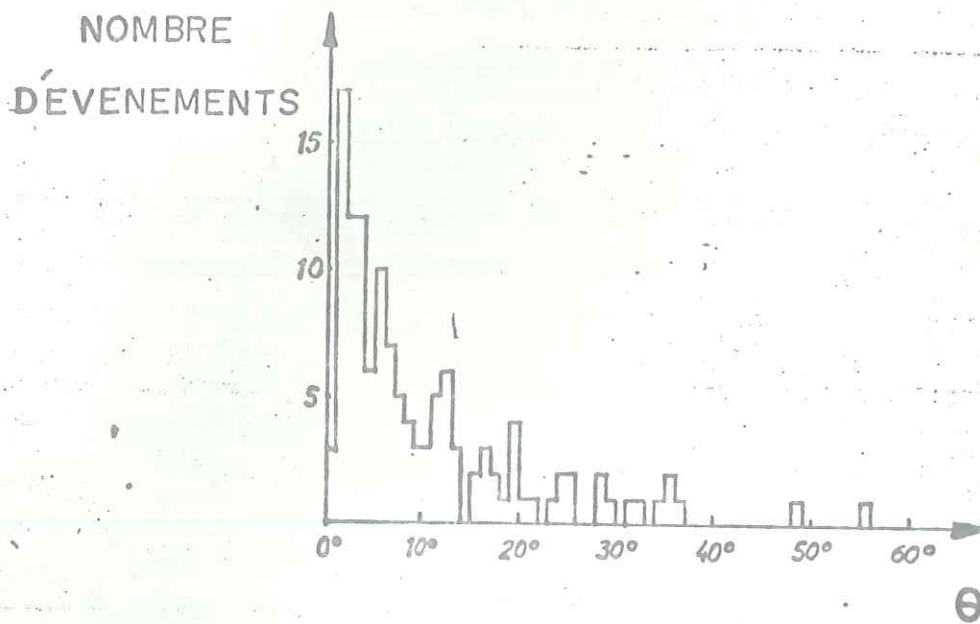


Fig. 3



DISTRIBUTION ANGULAIRE DES BRANCHES
 RELATIVISTES DANS LES INTERACTIONS
 D'IONS LOURDS D'AZOTE DE 2,1 GEV/NUC
 AVEC LES NOYAUX DE L'EMULSION NUCLEAIRE

FIG. 4