



CERN 70-27  
Division de la  
Physique nucléaire  
13 octobre 1970

ORGANISATION EUROPÉENNE POUR LA RECHERCHE NUCLÉAIRE  
**CERN** EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH

METHODE DE MESURE DU PROFIL D'UN FAISCEAU  
POUR DES INTENSITES ELEVEES DE PARTICULES ( $10^{12}/\text{cm}^2$ )

H. Ammoni, A. Cordailat, A.J. Herz,

O. Mendola et R. Opperl

GENEVE

1970

© Copyright CERN, Genève, 1970

Propriété littéraire et scientifique réservée pour tous les pays du monde. Ce document ne peut être reproduit ou traduit en tout ou en partie sans l'autorisation écrite du Directeur général du CERN, titulaire du droit d'auteur. Dans les cas appropriés, et s'il s'agit d'utiliser le document à des fins non commerciales, cette autorisation sera volontiers accordée.

Le CERN ne revendique pas la propriété des inventions brevetables et dessins ou modèles susceptibles de dépôt qui pourraient être décrits dans le présent document; ceux-ci peuvent être librement utilisés par les instituts de recherche, les industriels et autres intéressés. Cependant, le CERN se réserve le droit de s'opposer à toute revendication qu'un usager pourrait faire de la propriété scientifique ou industrielle de toute invention et tout dessin ou modèle décrits dans le présent document.

Literary and scientific copyrights reserved in all countries of the world. This report, or any part of it, may not be reprinted or translated without written permission of the copyright holder, the Director-General of CERN. However, permission will be freely granted for appropriate non-commercial use.

If any patentable invention or registrable design is described in the report, CERN makes no claim to property rights in it but offers it for the free use of research institutions, manufacturers and others. CERN, however, may oppose any attempt by a user to claim any proprietary or patent rights in such inventions or designs as may be described in the present document.

ORGANISATION EUROPÉENNE POUR LA RECHERCHE NUCLÉAIRE  
**CERN** EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH

METHODE DE MESURE DU PROFIL D'UN FAISCEAU  
POUR DES INTENSITES ELEVEES DE PARTICULES ( $10^{12}/\text{cm}^2$ ) \*)

H. Annoni<sup>\*\*</sup>), A. Cordaillat<sup>\*\*\*</sup>), A.J. Herz,  
O. Mendola et R. Oppel<sup>\*\*</sup>)

G E N E V E

1970

- 
- \*) La majeure partie de ce texte a été présentée au VIIe Colloque international de photographie corpusculaire et des détecteurs solides visuels, Barcelone, 7-11 juillet 1970.
- \*\*\*) Laboratoire de physique corpusculaire du Centre de recherches nucléaires de Strasbourg-Cronenbourg.
- \*\*\*) Visiteur CNRS.



## RESUME

Cette méthode permet une mesure rapide et précise tant dans la recherche du point de maximum d'intensité ou du profil d'un faisceau que de l'intensité (à environ 10% près). Cette estimation se fait pour des intensités de  $1 \times 10^{11}$  à  $2 \times 10^{12}$  particules/cm<sup>2</sup>.

C'est une méthode de densitométrie qui utilise des détecteurs plastiques (nitrate de cellulose) de faible épaisseur exposés perpendiculairement au faisceau à étudier. Les émulsions ionographiques n'ont été utilisées qu'en vue de la comparaison avec les détecteurs solides.

Les premières mesures ont été réalisées à l'aide d'un faisceau de protons d'une énergie de 600 MeV; la méthode peut, bien entendu, être appliquée à n'importe quel autre genre de faisceau, de haute intensité et de haute énergie.

## SUMMARY

This method allows a rapid and precise determination of the beam profile, the position of the maximum of the intensity and the absolute intensity (with an error of about 10%). At present, it can be used for intensities between  $10^{11}$  and  $2 \times 10^{12}$  particles/cm<sup>2</sup>.

Thin plastic detector foils (cellulose nitrate) are exposed normal to the beam under study and the measurements are carried with a microdensitometer. Nuclear-research emulsions have been used as a comparison standard.

The first measurements were carried out in a proton beam of energy 600 MeV; the method can, of course, be applied to any other kind of high-intensity, high-energy beam.

TABLE DES MATIERES

	Page
1. INTRODUCTION	1
2. APPAREILLAGE	2
3. TESTS ET ETALONNAGES	5
3.1 Test de linéarité du photomultiplicateur	5
3.2 Etalonnage des détecteurs	5
3.3 Choix des détecteurs	5
4. REPONSE ENREGISTREE	6
4.1 Emulsion ionographique	6
4.2 Détecteurs plastiques	6
5. CONCLUSION	7
5.1 Domaine d'intensité	7
5.2 Rapidité	8
5.3 Précision de mesure de localisation	9
5.4 Précision de mesure d'intensité	9
APPENDICE	10
REFERENCES	12

## 1. INTRODUCTION

Les traces de particules dans une émulsion ionographique apparaissent foncées sur un fond plus clair. La mesure de la lumière transmise constitue une mesure de densitométrie permettant de déterminer le nombre de traces contenues dans une émulsion ionographique, donc le nombre de particules ayant traversé ce détecteur<sup>1,2)</sup>.

Comme pour les émulsions ionographiques, la visualisation de la trace d'une particule est possible pour les détecteurs plastiques, qui sont des matériaux diélectriques (fig. 1, 2 et 3). Elle est obtenue à l'aide d'une attaque chimique préférentielle le long de la trace par un réactif approprié<sup>3,4,5)</sup>. La mesure de la lumière transmise dans ce cas se révèle comme constituant également une méthode d'estimation de flux<sup>6,7)</sup>.

Ces détecteurs présentent un seuil d'enregistrement spécifique élevé. Seules les particules ayant une ionisation spécifique supérieure à ce seuil auront des traces visualisées<sup>8)</sup>. Pour le cas des particules d'énergie élevée, ce n'est pas l'effet direct mais l'effet secondaire qui est mesuré. Il faut que la particule incidente interagisse avec un noyau du détecteur solide. Seules les traces résultant de cette interaction peuvent, dans certains cas, être visualisées, d'où la possibilité de mesure de flux élevés de particules.

Il convient de remarquer plus particulièrement :

Par suite de ce seuil de détection élevé, à l'inverse des émulsions ionographiques, tout le bruit de fond dû, par exemple, à des électrons, est supprimé.

La visualisation ne se fait que pour des traces en surface. Ce fait présente un avantage évident pour des méthodes de densitométrie, comme la nôtre.

La manipulation de ces détecteurs solides, qui peut se faire à la lumière, ne nécessite aucune précaution particulière.

L'appareillage réalisé est simple.

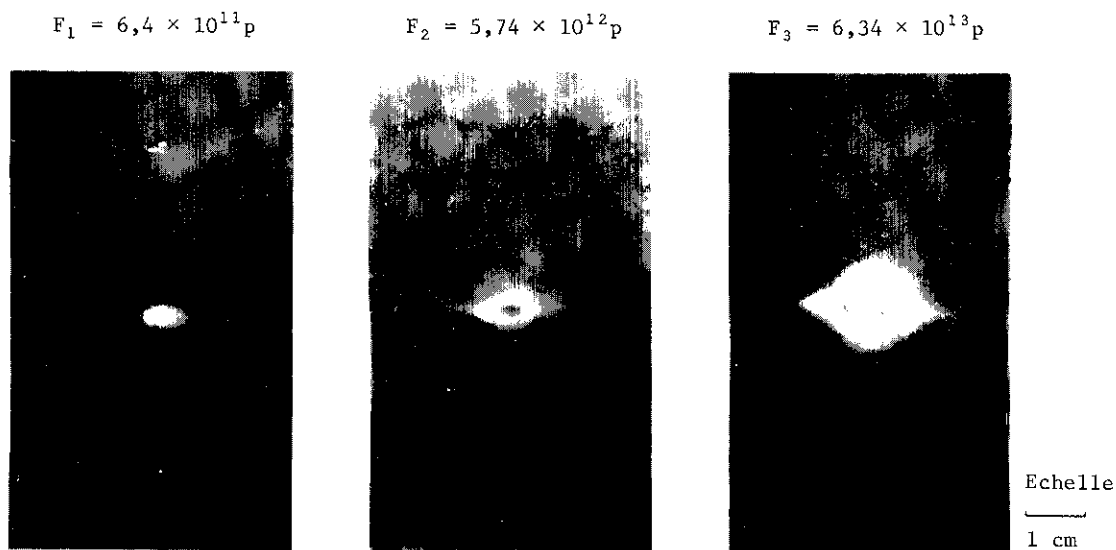


Fig. 1 Photos du détecteur après développement pour différents flux.

Nitrocellulose

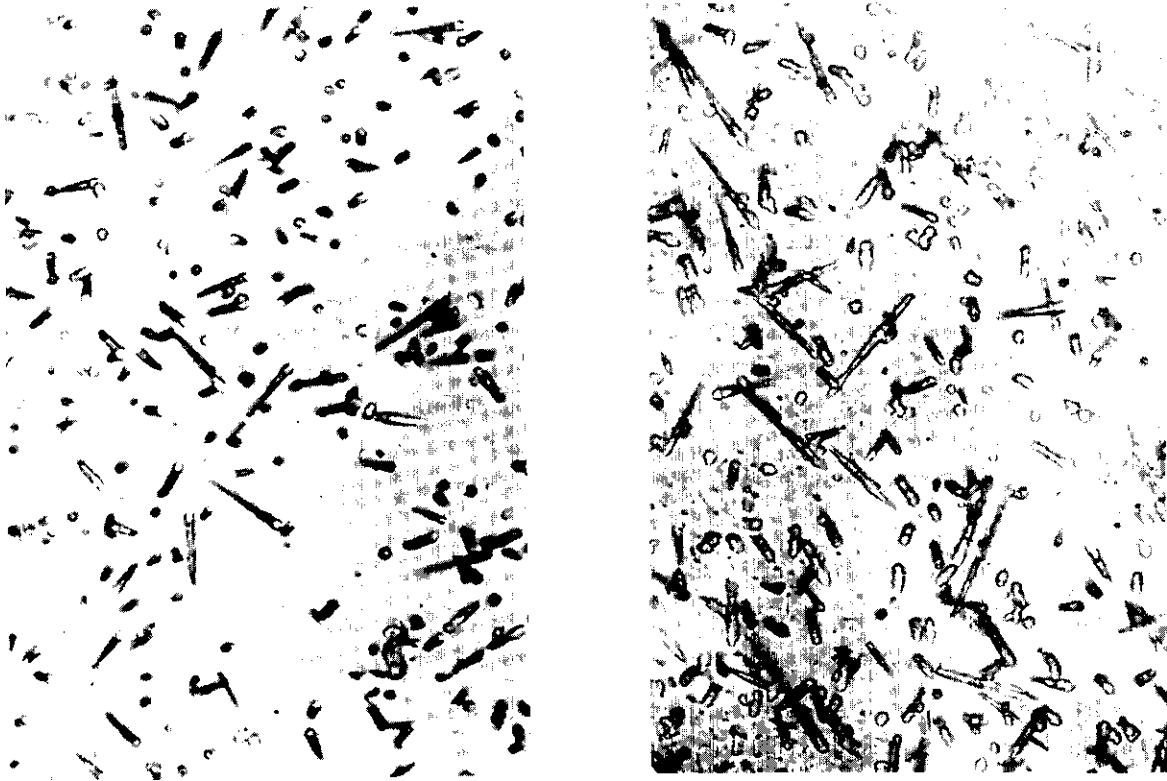


Fig. 2 Vue des traces sur les deux surfaces pour un flux de  $6,4 \times 10^{11}$  protons.

## 2. APPAREILLAGE

L'appareillage (fig. 4 et 5) est composé de :

- a) Un microscope Leitz Orthoplan avec comme condenseur un objectif renversé;
- b) Une sonde à photomultiplicateur type 56 AVP;
- c) Un enregistreur galvanométrique "Sefram" de 0 à 100  $\mu$ A;
- d) Un appareil de commande pour le déplacement de la platine porte-détecteur et le papier millimétré de l'enregistreur.

La petite vitesse d'analyse permet l'intégration des variations rapides, et de ce fait l'obtention d'une courbe homogène (courbe a, fig. 6); la grande vitesse, au contraire, donne plus de détails sur le profil du faisceau (courbe b, fig. 6).



- Pour un 2ème développement de 1 min à 75°C -

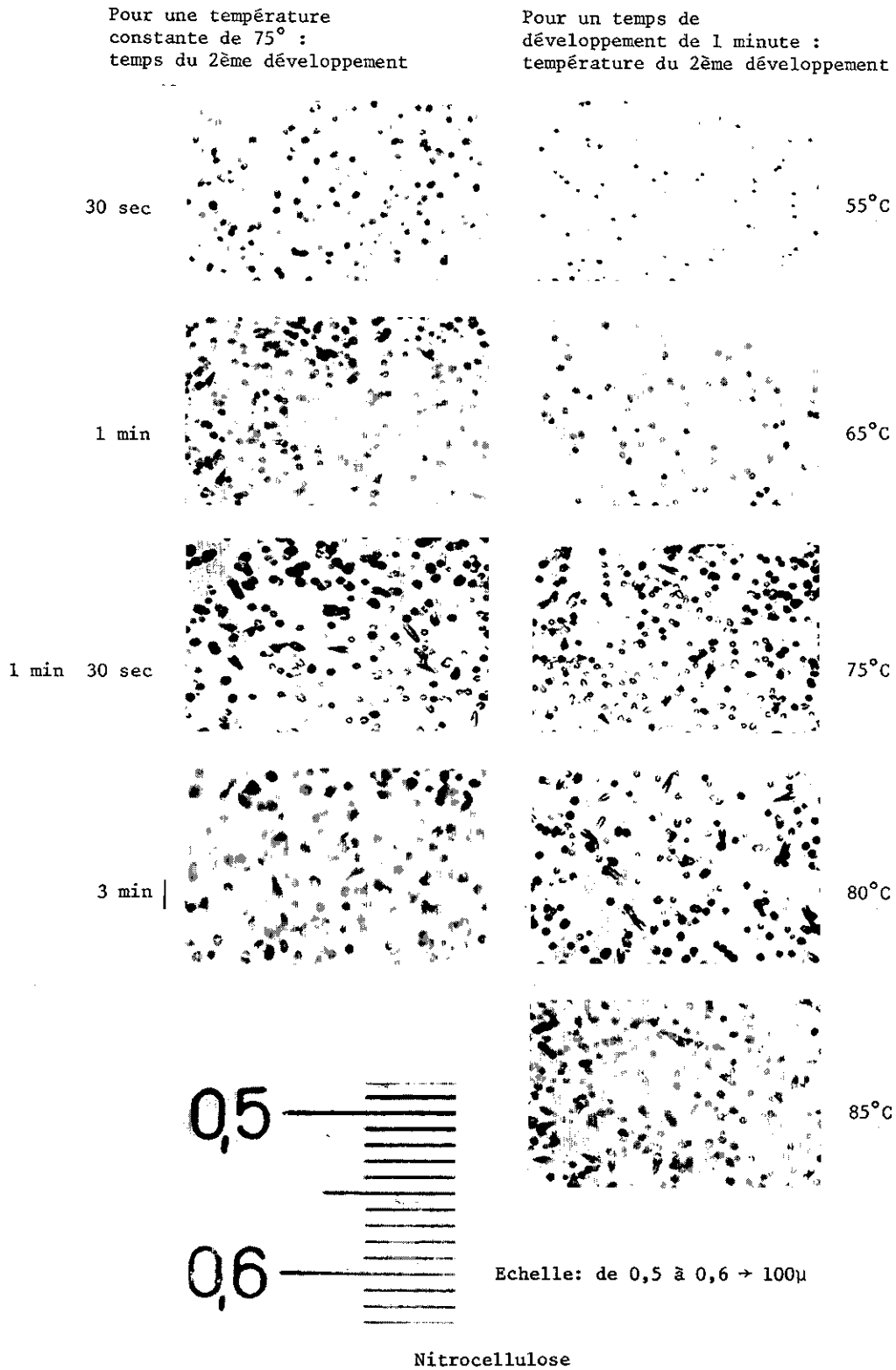


Fig. 3 Dimensions des traces en fonction de la température et de la durée du premier développement.

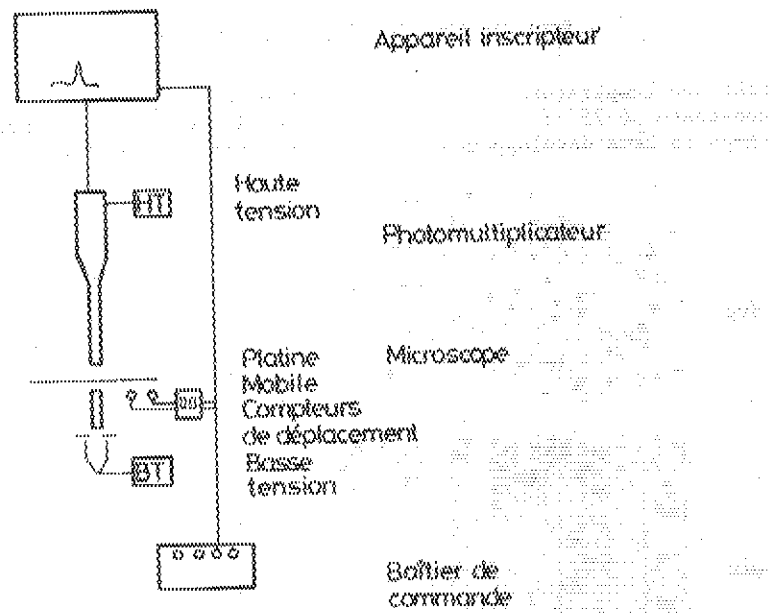


Fig. 4 Schéma général de l'appareillage.

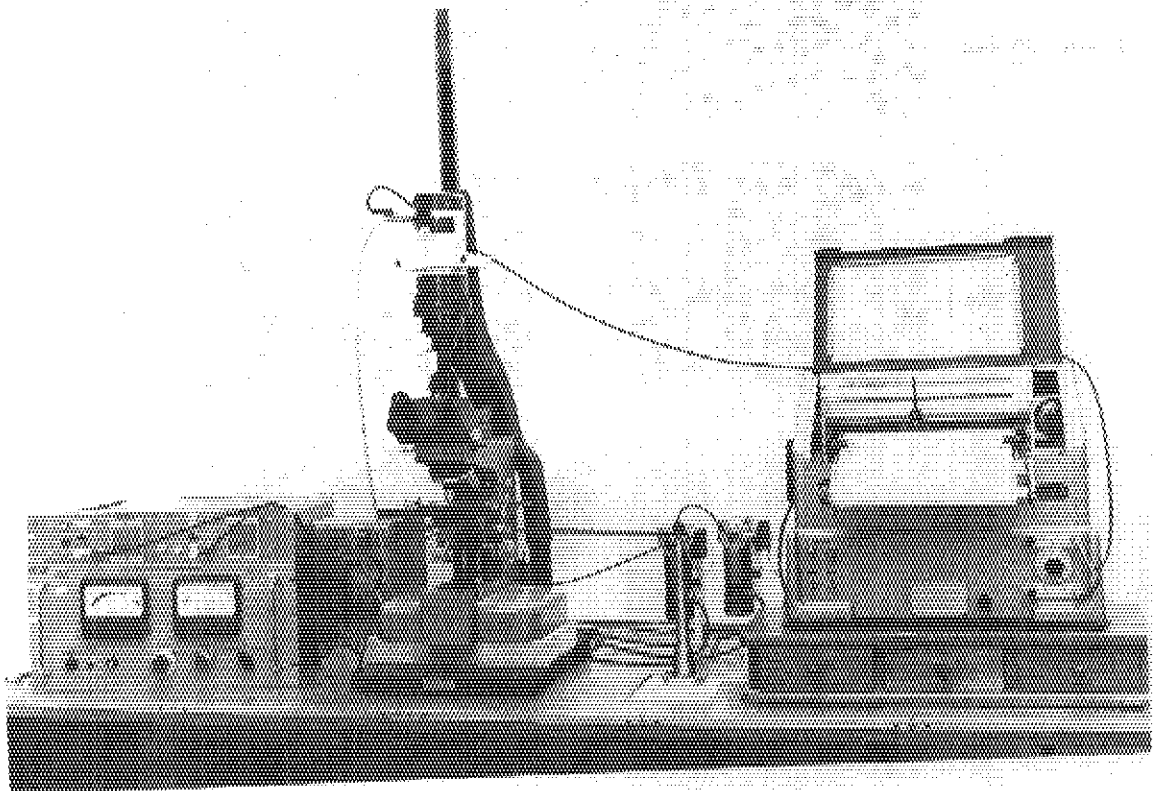


Fig. 5 Vue de l'appareillage.

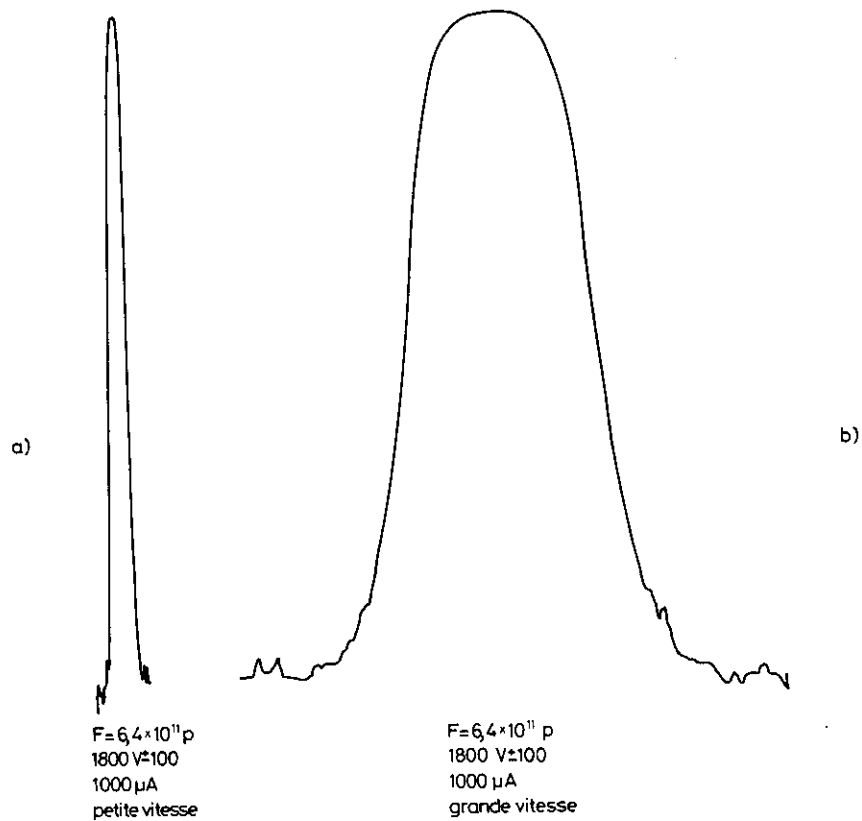


Fig. 6 Courbes de sortie de l'enregistreur galvanométrique.

### 3. TESTS ET ETALONNAGES

Ces tests et étalonnages ont porté sur plusieurs points :

#### 3.1 Test de linéarité du photomultiplicateur

Il a été réalisé à l'aide de la méthode des filtres gris; les mesures de valeurs absolues en flux ont été prises à l'aide d'une cellule Kipp en Zoonen.

#### 3.2 Etalonnage des détecteurs

Le flux de lumière étant réglé, il faut prendre comme étalon une zone vierge non exposée au flux et régler le courant sur le galvanomètre jusqu'à déviation maximale.

#### 3.3 Choix des détecteurs

Pour ce qui est des émulsions, le choix s'est porté sur des Ilford K5, d'épaisseur 20  $\mu m$ , développées au révélateur Kodak D19 dilué 1:4.

Seuls parmi tous les détecteurs plastiques, les nitrates de cellulose ont été étudiés. C'est que ces détecteurs permettent la mesure de flux élevés et, de plus, en s'adressant à l'industrie, il est possible d'obtenir des quantités suffisantes avec une grande homogénéité

des constituants. Dépourvus de rayures, des détecteurs plastiques d'une épaisseur de 100  $\mu\text{m}$  donnent lieu à une réponse uniforme de l'appareil de mesure.

Le développement de ces nitrates de cellulose s'est fait, pour ce qui est de ceux provenant de Kodak, à l'aide de révélateurs fournis par cette maison.

Un premier développement à base de NaOH donne, au bout d'une minute à une température de 75°, des traces côniques d'environ 3  $\mu\text{m}$  de longueur et 2  $\mu\text{m}$  de base. Un deuxième développement, dans les mêmes conditions de temps et de température, avec une solution comprenant un solvant en plus du NaOH, nous donne des traces hémisphériques d'un diamètre moyen de 4,5  $\mu\text{m}$ . Le solvant permet d'éliminer le léger dépoli apparu dans les zones irradiées au cours de l'attaque dans la première solution.

Ces détecteurs plastiques ont été développés sur chaque face, autant celle que le faisceau rencontre en premier que l'autre. Les traces ont été comptées et le rapport relatif aux deux faces considérées est voisin de 1; de plus, il est indépendant du nombre de traces comptées, donc du flux de particules incidentes. Les détecteurs plastiques que nous utilisons étant de faible épaisseur (de 100  $\mu\text{m}$  à 200  $\mu\text{m}$ ), l'effet de la diffusion multiple est négligeable et ne modifie donc pratiquement pas les caractéristiques du faisceau.

#### 4. REPONSE ENREGISTREE

##### 4.1 Emulsion ionographique

Sur la figure 7a ont été reportés en ordonnée la sortie lue sur l'enregistreur galvanométrique, en abscisse le comptage des grains développés. La fonction ajustée aux points expérimentaux par la méthode des moindres carrés se présente ainsi :

$$x = \left[ (1,5 \times 10^7) - (6,4 \times 10^5 y) + (7 \times 10^3 y^2) \right] \pm 3\%.$$

Il est à remarquer que cette courbe est fort connue <sup>1)</sup>. Un phénomène de saturation rend difficile la mesure pour des intensités de l'ordre de  $10^8$  particules/cm<sup>2</sup>.

On peut penser qu'une exposition des émulsions avec un léger angle par rapport à l'axe du faisceau présenterait une courbe de proportionnalité mieux définie. Mais il est exclu qu'une telle exposition permette de reculer sensiblement le seuil de saturation.

##### 4.2 Détecteurs plastiques

Le comptage des traces vues à la surface du détecteur plastique se fait à l'aide d'un microscope. Il n'en reste pas moins que ce nombre de traces est dépendant de la section efficace d'interaction des particules incidentes. Afin de déterminer la relation entre le signal de sortie de l'enregistreur et l'intensité en particules par cm<sup>2</sup>, le dispositif suivant a été réalisé :

Sur la direction d'un même faisceau de  $6,3 \times 10^{12}$  protons de 600 MeV, deux détecteurs ont été placés en deux points différents. En ces deux endroits, le flux total est le même; par contre l'intensité est différente, la forme du faisceau ayant varié entre ces deux points.

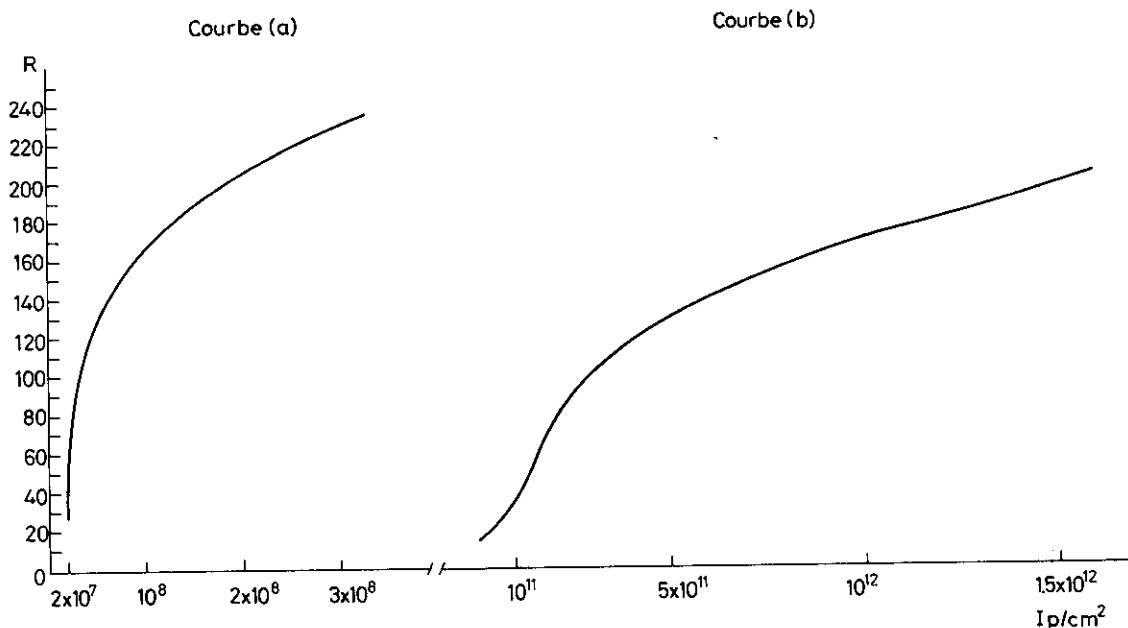


Fig. 7 Réponse de l'enregistreur en fonction du nombre de particules ayant traversé le détecteur : courbe (a) émulsions; courbe (b) détecteurs plastiques.

Le dépouillement de toute la surface des détecteurs a permis de déterminer le rapport suivant :

$$k = \frac{\text{nombre de protons incidents}}{\text{nombre de traces produites}} = (4,5 \pm 0,3) \times 10^4.$$

A l'aide de ce facteur de proportionnalité, la relation entre le signal de sortie  $y$  lu sur le papier millimétré de l'enregistreur et l'intensité du flux de particules se met sous la forme (fig. 7b) :

$$x = \left[ (-2,7 \times 10^{10}) + (5,2 \times 10^9 y) - (5,2 \times 10^7 y^2) + (3,5 \times 10^5 y^3) \right] \pm 3\%.$$

Une méthode de détermination du flux incident est indiquée en appendice.

## 5. CONCLUSION

L'intérêt de cette réalisation réside dans les différents points suivants :

### 5.1 Domaine d'intensité

La méthode employée en ce qui concerne les protons de 600 MeV est valable pour des intensités comprises entre  $1,2 \times 10^{11}$  et  $2 \times 10^{12}$  particules/cm<sup>2</sup> avec les détecteurs plastiques. Ce domaine est évidemment fonction de la section efficace d'interaction.

Il faut cependant remarquer que les variations de cette section efficace d'interaction avec l'énergie dans le domaine des hautes énergies sont faibles et monotones. Un premier test effectué au Synchrotron à protons du CERN avec des protons de 25 GeV/c a permis de montrer que le facteur  $k$  liant le nombre de protons incidents à celui de traces visibles variait très peu.

Il est à noter qu'à des intensités très élevées, avec les mêmes conditions de développement, les nitrates de cellulose présentent un phénomène comparable à la solarisation, comme le montre la figure 1. A la limite, le dommage causé au détecteur plastique est tel qu'après développement il se présente complètement troué.

Pour atteindre des intensités supérieures, il faut soit varier les conditions de développement et faire plusieurs courbes d'étalonnage, soit utiliser des détecteurs plastiques moins sensibles. Des essais sur d'autres détecteurs plastiques, tels que le Makrofol E, ont donné des résultats encourageants pour des intensités de l'ordre de  $10^{14}$  protons/cm<sup>2</sup>.

## 5.2 Rapidité

Le profil ainsi qu'une première estimation de l'intensité d'un faisceau peuvent être obtenus moins de vingt minutes après l'exposition.

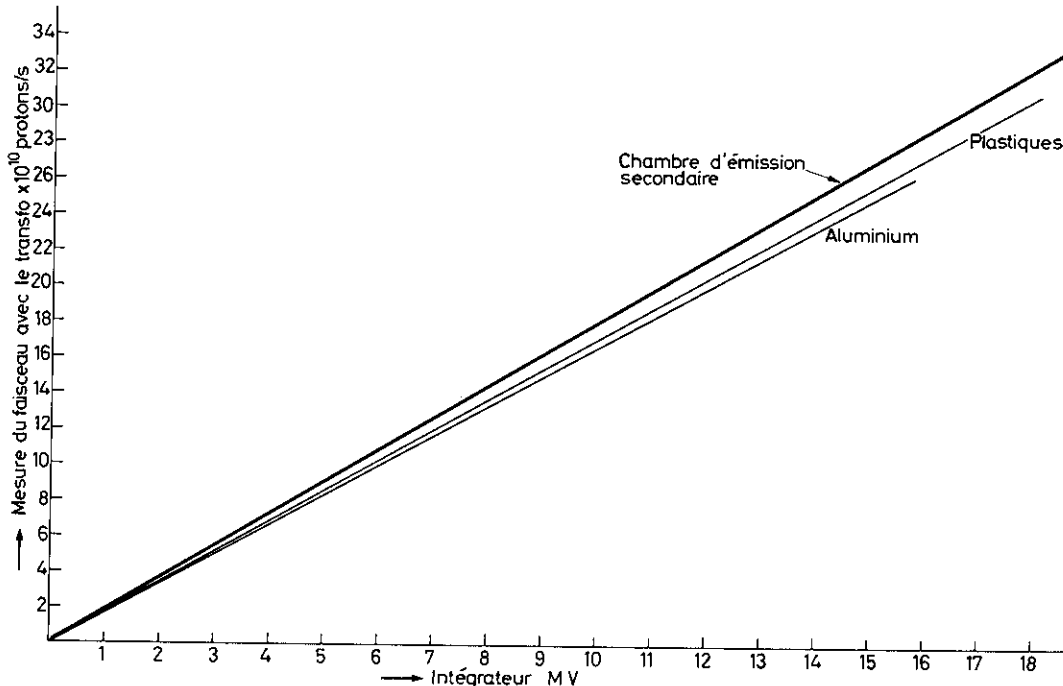


Fig. 8 Comparaison de la détermination du nombre de protons d'un faisceau à l'aide d'une chambre d'émission secondaire, par mesure d'activité sur aluminium, et par calcul du nombre de traces avec les plastiques.

### 5.3 Précision de mesure de localisation

Il convient de souligner tout particulièrement la précision obtenue pour définir la structure ou localiser un maximum d'intensité d'un faisceau. Cette mesure est en effet favorisée par le grossissement obtenu à l'aide du microscope. Mais elle exige, il est vrai, un repérage précis de l'emplacement du détecteur.

### 5.4 Précision de mesure d'intensité

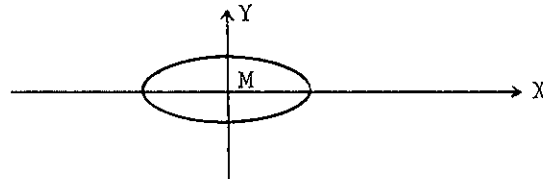
Après les essais avec les protons de 600 MeV, en comparant les résultats obtenus avec une chambre d'émission secondaire aux mesures de l'activité de l'aluminium, nous pouvons constater sur la figure 8 que la précision est excellente.

### Remerciements

Nous remercions les professeurs P. Preiswerk et H. Schopper, du CERN, et P. Cüer, de Strasbourg, pour le soutien qu'ils nous ont apporté. Nous sommes reconnaissants envers le professeur E.G. Michaelis pour avoir facilité notre travail auprès du Synchrocyclotron du CERN.

CALCUL DU FLUX TOTAL

Par différents balayages successifs suivant une direction Ox, le point M d'intensité maximale est déterminé.



Dans la plupart des faisceaux que nous avons analysés, les courbes obtenues étaient approximativement des gaussiennes.

En conséquence, considérons les deux courbes obtenues, l'une par un balayage suivant Ox, l'autre suivant une direction perpendiculaire à Ox, et passant dans les deux cas par M. L'écart type des gaussiennes considérées est donné par

$$\sigma = \frac{d}{\sqrt{2 \log 2}}$$

d étant la mesure à mi-hauteur.

Pour calculer le flux total  $F_T$  nous appliquons la relation :

$$F_T = \pi I_m \sigma_x \sigma_y,$$

$\sigma_x$  et  $\sigma_y$  étant la demi-largeur du pic à une hauteur de  $1/e$ , et  $I_m$  étant l'intensité maximale par centimètre carré au point M.

Sur les deux réponses enregistrées (voir fig. 9), la valeur du signal maximal  $R_m$  se lit aisément. L'intensité maximale  $I_m$  est déterminée à l'aide de la figure 7.

Ainsi toutes les grandeurs servant à l'estimation du flux total  $F_T$  sont connues.



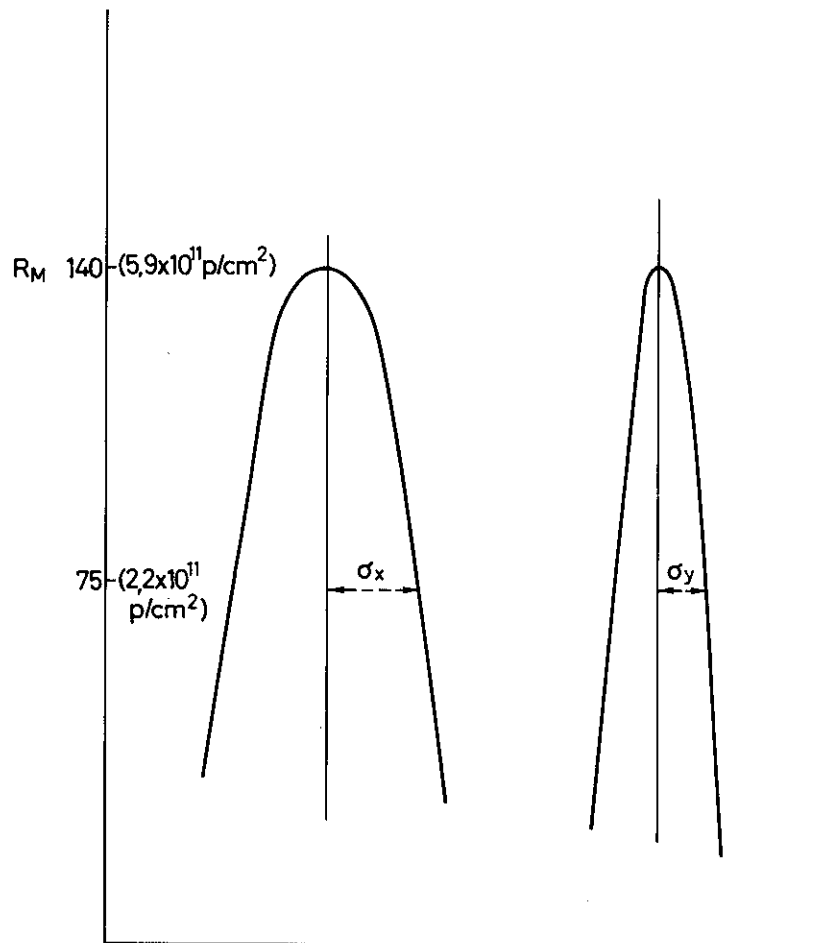


Fig. 9 Les deux réponses enregistrées pour les balayages suivant deux axes perpendiculaires passant par M (point d'intensité maximale).

$R_m$  = réponse enregistrée maximale.

$\sigma$  = écart type de chaque courbe.

REFERENCES

- 1) W.H. Barkas, Nuclear research emulsions (Academic Press, New-York, 1963).
- 2) C.F. Powell, P. Fowler and D.H. Perkins, The study of elementary particles by the photographic method (Pergamon Press, 1959).
- 3) M. Debeauvais et P. Cüer, C.R. Acad. Sci. 258, 1777 (1964); R.L. Fleischer, P.B. Price, R.M. Walker and E.L. Hubbard, Phys. Rev. 133, 1443A (1964).
- 4) M. Debeauvais, C.R. Ve Colloque international de photographie nucléaire, Genève (1964), CERN 65-4, Vol. II, p. I.I.
- 5) M. Debeauvais et P. Cüer, Colloque sur l'électronique nucléaire et la radioprotection, Toulouse (mars 1968).
- 6) M. Debeauvais, P. Volmer et E. Christophel, Colloque sur l'électronique nucléaire et la radioprotection, Toulouse (mars 1968).
- 7) R. Stein, G. Mosinski et J. Ralarosy, Colloque sur l'électronique nucléaire et la radioprotection, Toulouse (mars 1968).
- 8) G. Mosinski, Contribution à l'étude de l'enregistrement des traces dans les détecteurs solides visuels - Application à l'étude de la dosimétrie des neutrons rapides, Thèse Université de Strasbourg (1968).
- 9) G. Barbier, Communication privée (Kodak).
- 10) W. Schultz, Rev. Sci. Instrum. 39, 12 (1965).