



CM-P00065064

SPS/ABM/FM

17 octobre 1979

SPS IMPROVEMENT REPORT No. 165

PREMIERES MESURES DE PROFIL UTILISANT LA LUMIERE SYNCHROTRON

R. Bossart, J. Bossier, L. Burnod, J. Camas, R. Cuenot,
E. d'Amico, J. Donnier, G. Ferioli, J. Mann, F. Meot

1. Introduction

Comme il a été montré dans une précédente publication¹⁾ le passage d'un faisceau de protons de haute énergie dans la zone de bord d'un aimant provoque une émission de lumière synchrotron dans le spectre visible : l'analyse de Fourier montre que la fréquence critique d'émission est $\nu_d = 2\gamma^3 c/L$ où L est la longueur de décroissance rapide du champ magnétique.

Les premiers résultats expérimentaux concernant l'observation de ce rayonnement, ont été publiés en mars 1979²⁾.

A la suite de ces travaux il a été étudié et mis au point un dispositif expérimental destiné à l'analyse du profil du faisceau : densité, spectre d'émission, position et dimension.

Ce rapport concerne les premiers résultats de cette expérience.

2. Dispositif expérimental

2.1 Optique du système (voir fig. 1)

L'ensemble est monté dans la superpériode 3 du SPS. Le rayonnement synchrotron est émis dans la discontinuité entre les aimants MBB 3213 et MBB 3215, et tangentielllement au faisceau de protons. A 14 m de ce point d'émission, la séparation entre rayonnement et faisceau de protons est suffisante pour interposer dans la chambre à vide un premier miroir plan M1 qui intercepte toute la lumière (dont la divergence est $1/\gamma$) et la dévie vers un deuxième miroir plan à travers un hublot qui assure l'étanchéité de la chambre à vide. Ce miroir M2 réfléchit la lumière sur un miroir sphérique M3 qui focalise l'image du point d'émission sur une caméra réceptrice via le miroir plan M4. Les dimensions optiques choisies résultent d'un compromis entre l'espace disponible et les qualités d'image exigibles

(résolution due à la diffraction, profondeur de champ). Ce système optique constitué de miroirs permet de réduire l'erreur d'achromatisme à celle introduite par le hublot. Il a aussi l'avantage de ne pas être sensible aux radiations qui modifient les caractéristiques optiques des systèmes dioptriques.

2.2 L'aspect mécanique du dispositif

La partie mécanique constitue le support de l'optique. Elle a été conçue en particulier de manière à pouvoir aligner parfaitement les quatre miroirs, qui sont donc réglables manuellement en position et en orientation (fig. 1). L'alignement a été vérifié en laboratoire et dans le tunnel au moyen d'un faisceau laser.

2.3 Le détecteur

Le détecteur est une caméra du type "Silicon Intensifier Target (SIT)" choisie pour sa sensibilité, environ cent fois supérieure à celle des Vidicons classiques. Elle est adaptable à l'électronique utilisée pour les systèmes de télévision du SPS. Les signaux de la caméra sont envoyés par câble spécial au bâtiment auxiliaire 3.

2.4 L'électronique

Outre la visualisation du spot lumineux sur un écran TV (photo 1), un traitement de l'image a été effectué qui permet de :

- superposer les signaux issus de chaque ligne TV (photo 2). On obtient ainsi le profil vertical du faisceau sur oscilloscope,
- visualiser simultanément l'ensemble des signaux issus de chaque ligne (photo 3). On obtient ainsi une description de l'évolution horizontale suivant les maxima verticaux du faisceau,
- intégrer le signal issu de chaque ligne pour obtenir le profil horizontal du faisceau (photo 4).

L'incertitude temporelle sur les mesures faites à partir de ces clichés est au maximum de 1/25 s, du fait du temps d'analyse d'une image TV.

La photo 5 montre une série d'instantanés pris à des énergies différentes. On notera l'évolution du profil en fonction de l'énergie, de l'intensité lumineuse et de la position du centre de gravité du faisceau.

La photo 6 montre les profils à divers instants d'une extraction lente à 400 GeV : on observe que l'intensité lumineuse évolue en proportion du nombre de protons.

Les photos 4, 5 et 6 sont du même type : profil intégré ligne par ligne.

3. Analyse des résultats expérimentaux

3.1 La calibration des dimensions du faisceau a été obtenue par différentes méthodes.

En laboratoire : avec un objectif de distance focale de (55 ± 1) mm et deux sources lumineuses (LED) séparées dans le plan objet d'une distance déterminée, on a obtenu :

- la distance entre deux lignes TV = (30 ± 1) μm
- la valeur du balayage dans la ligne : 1 μs correspond à (240 ± 10) μm .

Ces valeurs corroborent le nombre de lignes et la vitesse de balayage nominaux correspondant aux dimensions du SIT ($9,6 \times 12,8$ mm²).

Dans le tunnel : un réticule gradué peut être amené sous vide par un mécanisme BBS (moteur pas-à-pas) dans le plan d'émission de la lumière synchrotron (entre les aimants MBB 3213 et 3215). Ce réticule est éclairé de l'extérieur de la chambre à vide au moyen d'une lampe et d'un periscopes solidaires du mécanisme. En déplaçant verticalement le réticule et en mesurant le déplacement correspondant de l'image sur le SIT, on obtient le grandissement du système optique complet (parties sous vide, hublot et miroir sphérique).

On trouve : $g = 0,27 \pm 0,02$ à comparer avec le grandissement nominal du système optique (hublot exclu) qui vaut 0,26.

Suite à ces mesures, le profil du faisceau peut être donné avec une résolution spatiale de (111 ± 5) μm , soit la distance entre deux lignes TV (= 30 μm) divisée par le grandissement g (= 0,27).

Avec le faisceau : une expérience de déplacement radial du faisceau par 'RF bump' à 402 GeV a permis de vérifier la calibration précédente par la mesure de la position du faisceau fournie par les pick-ups situés en 3.20 et 3.22. Connaissant la phase bétatronique et la valeur de β au point d'émission de la lumière, on trouve :

$$(110 \pm 5) \mu\text{m par ligne TV.}$$

3.2 L'analyse détaillée des profils obtenus par la méthode de la photo 3 montre une distribution gaussienne du faisceau jusqu'à $\pm 2 \sigma_x$. La figure 3 correspond à deux profils obtenus à 270 et 450 GeV respectivement, pour une intensité de 1×10^{13} ppp ($\beta = 30,5$ m).

<u>Energie</u>	<u>Nombre de lignes à $\pm 2\sigma$</u>	<u>Dimensions à $\pm 2\sigma$</u>	<u>Emittance mm mrad</u>	<u>Emittance normalisée mm mrad</u>
450	25	2,75	0,062	29,7
270	33	3,63	0,108	31,1

L'évolution des dimensions du faisceau en fonction de l'énergie est donnée en fig. 2.

3.3 L'ordre de grandeur du nombre de photons émis corrobore les premiers résultats²⁾. Un étalonnage minutieux de l'optique et de la caméra SIT doit permettre d'obtenir des mesures plus précises de la quantité de lumière émise et de spectre d'émission, aux différentes énergies.

3.4 Dans l'état actuel de notre dispositif de mesure, et compte tenu en particulier des caractéristiques du détecteur, la limite inférieure d'analyse d'un profil se situe vers 270 GeV, 2×10^{12} ppp avec un temps de mesure de 40 ms.

4. Conclusions

L'avantage de la méthode de mesures du profil par le rayonnement synchrotron réside dans son caractère non destructif. Elle est par ailleurs relativement simple pour des résolutions de l'ordre de 1/10e mm avec le détecteur actuel et permet une analyse bidirectionnelle du faisceau.

Un système de détection plus sensible doit permettre des mesures à intensités et énergies plus faibles encore, pour permettre son utilisation à 270 GeV dans les conditions de pp.

Remerciements

Nous remercions J.P. Papis, S. Livesley et M. Hublin pour leur contribution à cette expérience, et M. Ziebell (ESO) pour le prêt du SIT.

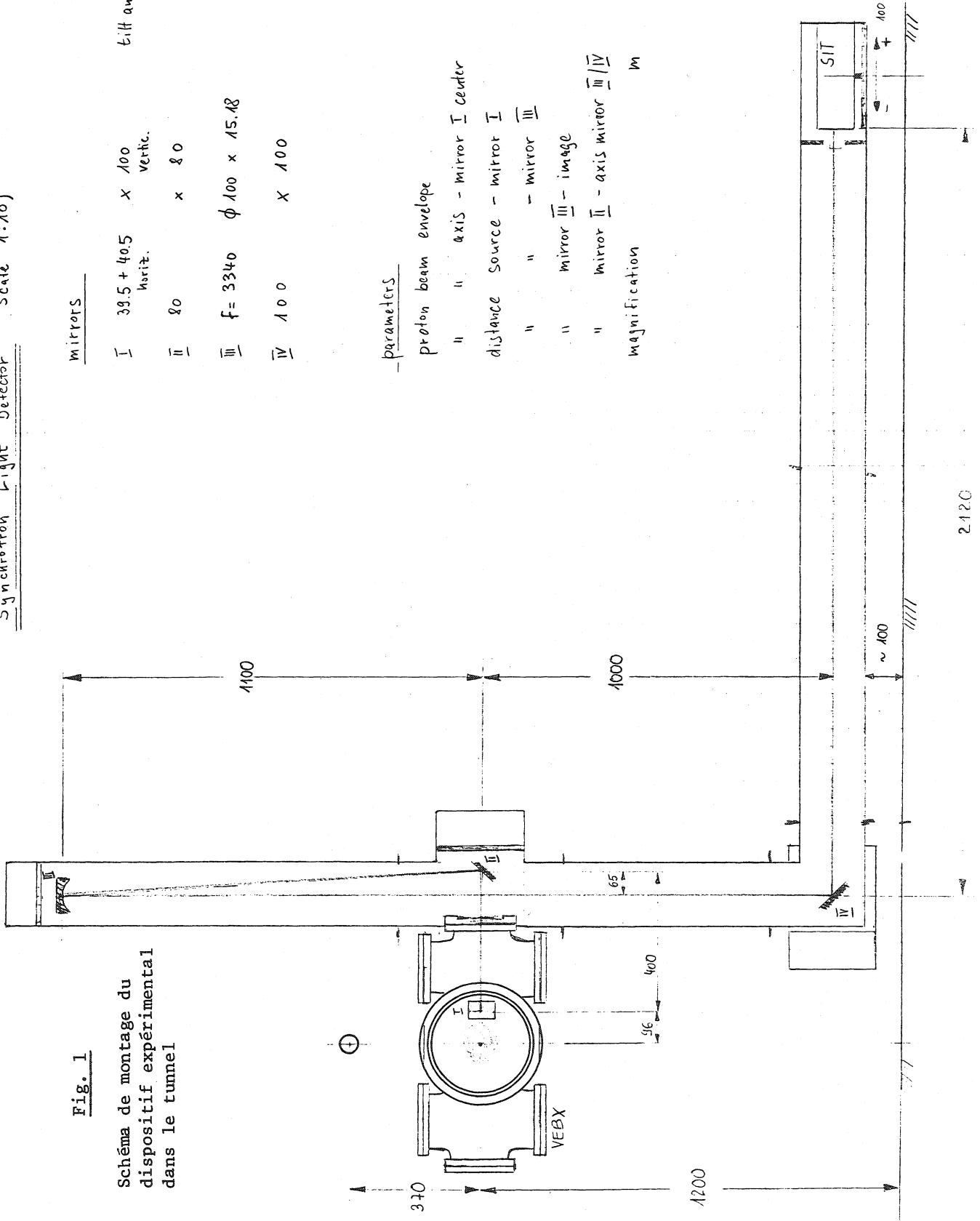
Références

1. R. Coisson, Narrow band visible synchrotron radiation from high energy proton beams. Nucl.Instr.Methods 143 (1977) 241-243.
2. R. Bossart et al., Observation of visible synchrotron radiation emitted by a high-energy proton beam at the edge of a magnetic field. Nucl. Instr.Methods 164 (1979) 375-380.

Synchrotron Light Detector 'Scale 1:10)

Fig. 1

Schéma de montage du dispositif expérimental dans le tunnel

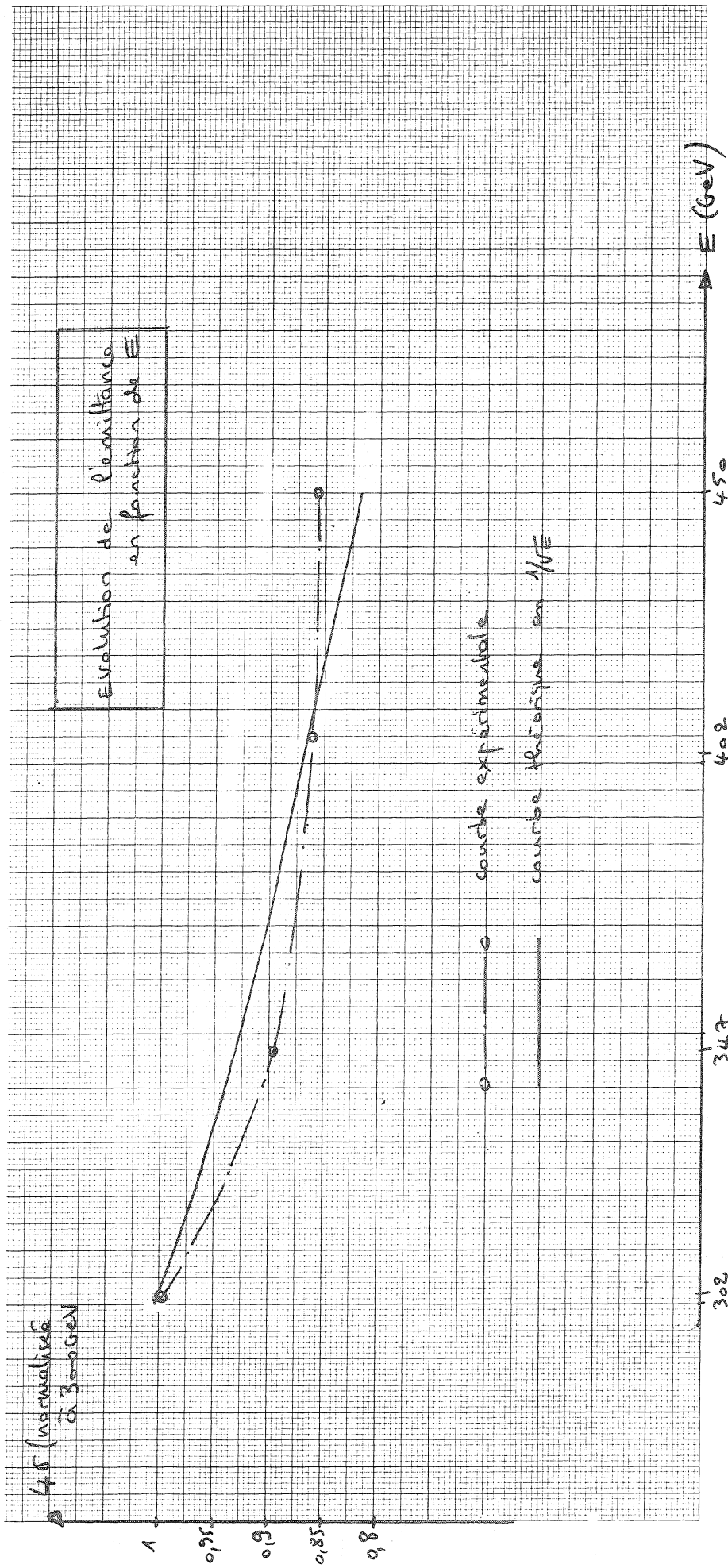


Mirrors

I	39.5 + 40.5 horiz.	X 100	vertic.	tilt angle : 45°
II	80	X 80		$\beta = 46.7^\circ$
III	f = 3340	$\phi 100 \times 15.18$		$\alpha = 1.7^\circ$
IV	100	X 100		45°

parameters

proton beam envelope	r ~ 63
" " axis - mirror I center	96
distance source - mirror I	14500
" " - mirror III	16000
" " mirror III - image	4221
" " mirror II - axis mirror III/IV	65
magnification	m - .26



69214

Fig. 2 - Variation de l'émittance en fonction de l'énergie

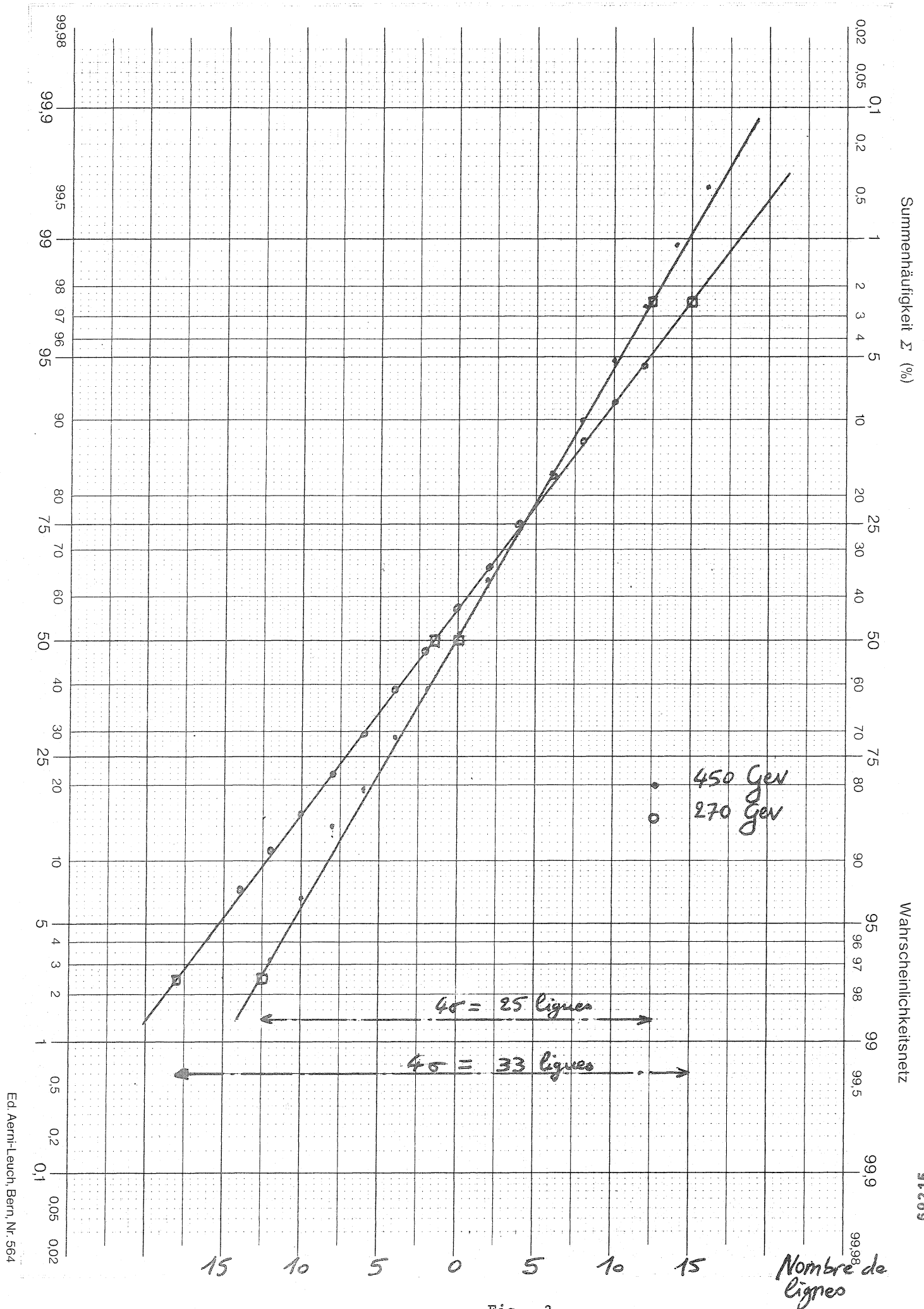


Fig. 3

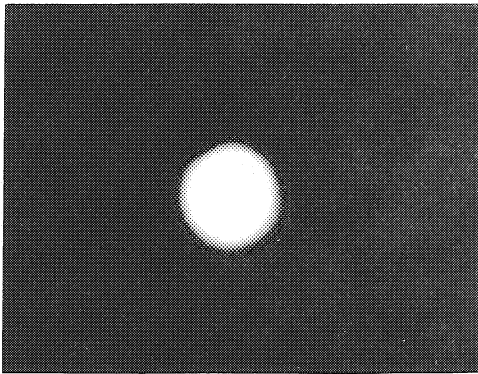


Photo 1 : spot du rayonnement observé sur la télévision

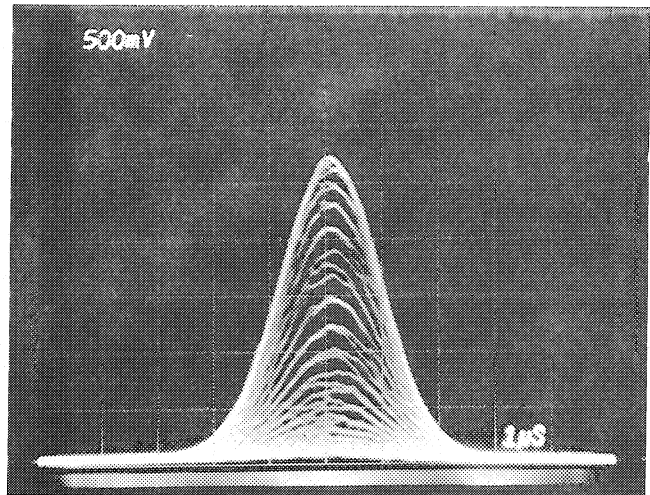


Photo 2 : visualisation superposée de chacune des lignes : c'est le profil de la densité de protons suivant autant de coupes du faisceau en X

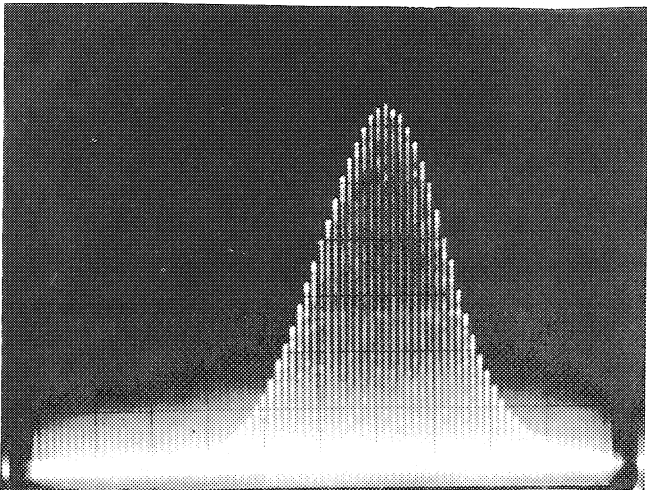


Photo 3 : Oscillogramme d'un balayage du SIT

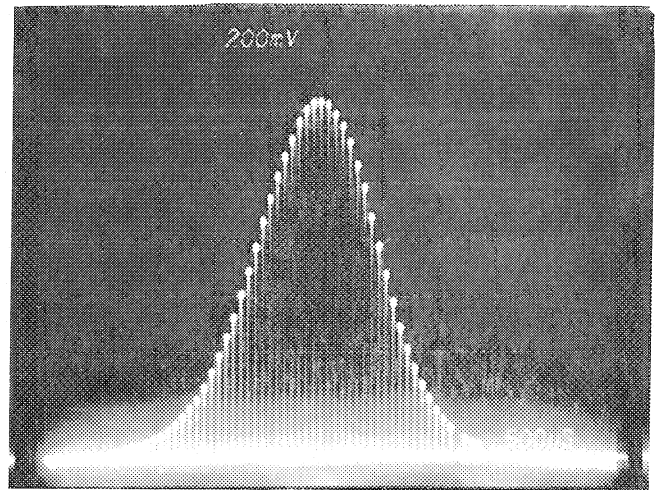


Photo 4 : profil intégré ligne par ligne : c'est le profil de la densité de protons suivant le diamètre Y

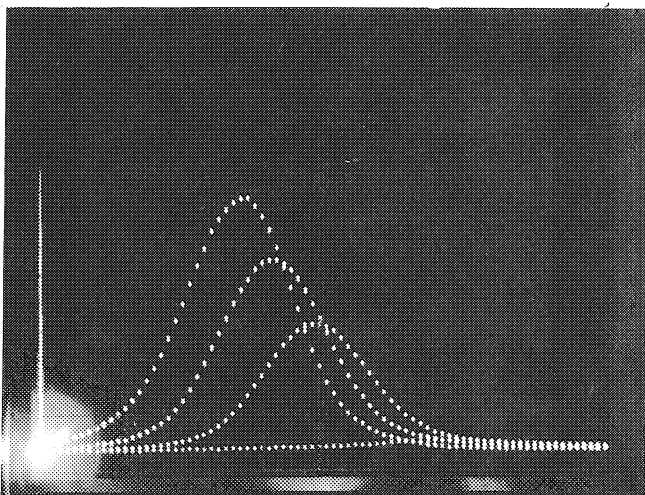


Photo 5 : 4 clichés successifs à énergies différentes

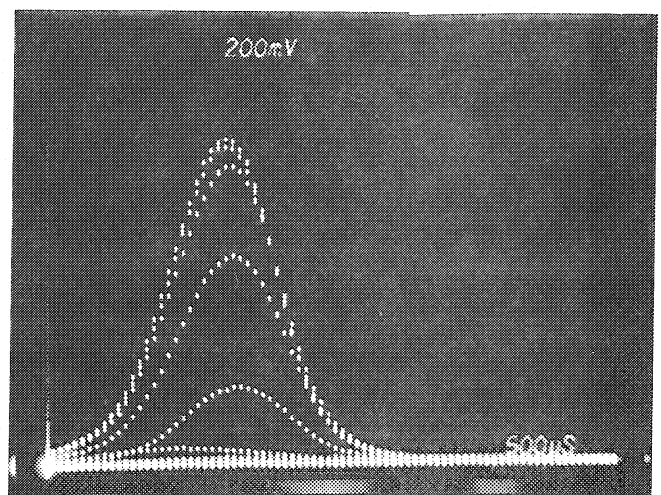


Photo 6 : 4 clichés successifs extraction lente à 450 GeV