

COMPTE RENDU DE "MACHINE DEVELOPMENT"Première Accélération de Deutons et de Particules  $\alpha$   
au-delà de 10 GeV/c par nucléon

(20-21.3.1976)

P. Asboe-Hansen, D. Boussard, M. Boutheon, H. Charmot  
J. Gareyte, H. Haseroth, W. Herdrich, J. Jamsek,  
J.P. Potier, G. Rossat, G. Roux, P. Têtu

\* \* \* \* \*

RESUME

Après une minutieuse préparation, le CPS a été en mesure d'accélérer, lors du premier essai et pour la première fois au monde à cette énergie,  $33 \times 10^{10}$  deutons (noyaux d'hydrogène lourd ou deuterium) et environ  $2 \times 10^{10}$  particules  $\alpha$  (noyaux d'He<sub>4</sub>) par cycle. Les deutons ont été accélérés jusqu'à 26 GeV/c impulsion totale (soit 13 GeV/c par nucléon) et éjectés à cette énergie vers les ISR, où 2 Ampères ont pu être stockés dans chaque anneau, et les collisions D-D observées par les physiciens pendant 40 heures environ. Les particules  $\alpha$  ont été accélérées jusqu'à 40 GeV/c impulsion totale (soit 10 GeV/c par nucléon).

ABSTRACT

For the first time in the world at these energies, the CPS has accelerated  $33 \times 10^{10}$  deuterons and  $2 \times 10^{10}$   $\alpha$  particles per pulse. Deuterons have been accelerated up to 13 GeV/c per nucleon, and sent at this energy to the ISR, where 2 Amps have been stacked in each ring, and D-D collisions observed by physicists for 40 hours.  $\alpha$  particles have been accelerated up to 10 GeV/c per nucleon.

## I. DEROULEMENT DE L'EXPERIENCE

Le plan de déroulement de l'expérience (fig. 1) a été suivi à peu de choses près. Un faisceau de  $30 \times 10^{10}$  deutons était éjecté vers 22h30 samedi, sur le bloc de décharge D3, en avance de 1h30 sur le plan. Les ISR ont commencé à régler le processus d'accumulation vers 24h00. Vers 2h00 dimanche, 2.16 A circulaient dans l'anneau I, et 1.86 A dans l'anneau II. De 2h00 à 4h00, on a procédé à diverses mesures et réglages au PS, sans parvenir à augmenter l'intensité au delà de  $33 \times 10^{10}$  d. A 4h00, on échangeait la bouteille de  $D_2$  contre une bouteille d'  $He_4$ . A 6h00, on accélérerait  $2 \times 10^{10}$   $\alpha$ .

Les faisceaux ISR ont été déchargés lundi 22.3 vers 18h00. Leur intensité était alors, respectivement, de 2.04 A et 1.70 A.

## II. LINAC (pour détails, voir PS/LIN/Note 76-6)

Il accélère sur le mode  $4\pi$  (2 oscillations RF pendant que les particules traversent un tube de glissement). Les vitesses sont donc divisées par deux, et la tension du préaccélérateur doit donc être diminuée de moitié.

### 1) Deutons

Après environ 3h. de réglages (haute tension préaccélérateur à 264 kV, ajustage individuel des quadrupôles de focalisation du tank I, réglage grossier des phases et niveaux RF sur tanks II et III, puis réglage de la focalisation des tanks II et III, enfin réglage fin de la RF pour optimiser la dispersion d'énergie), les intensités accélérées étaient les suivantes :

sortie source	150 mA
sortie préaccélérateur	77 mA
sortie tank I	13 mA
sortie tank III	12 mA
entrée PS	10 mA.

La dispersion d'énergie a été mesurée dans la ligne de mesure du PS, et est portée sur la fig. 2.

Les émittances transversales ont été également mesurées : elles sont identiques à celles du faisceau de protons.

L'aimant de déflexion IBH1 est réglé à 96% de sa valeur habituelle (l'impulsion des deutons à  $\beta = 0.157$  est égale à 96% de celle des protons à  $\beta = 0.314$ ).

On constate dans la ligne de mesure (SPES) que les émittances transversales sont complètement désadaptées par rapport au faisceau de protons habituel. On doit alors reprendre le réglage des triplets IQ11 et IQ21 pour retrouver la bonne adaptation.

## 2) Particules $\alpha$

Après changement de la bouteille et purge de la source, celle-ci a été réglée pour augmenter le nombre de doubles ionisations : la pression a été diminuée et le courant d'arc augmenté. On a pu obtenir à l'entrée du PS une impulsion rectangulaire de 90  $\mu$ s de longueur utile et 1.2 mA d'amplitude.

## III. INJECTION DANS LE PS

### 1) Deutons

On utilise une injection multitour : les 90  $\mu$ s utiles de l'impulsion du linac peuvent être injectés entièrement (6.8 tours dans le PS à  $\beta = .157$ ). La photo No. 1 montre l'impulsion de courant à l'entrée de l'infecteur 26 (BM49) et l'empilement multitour dans le PS (BM51). L'efficacité du multitour est de 40%, 27.3 mA circulant après la fin du processus, soit un nombre de particules  $N_d = 2.25 \times 10^{12}$ . Les Q de la machine étaient réglés à :  $Q_V = 6.70$  ;  $Q_H = 6.35$ . Les bandes d'arrêt  $2Q_V = 13$  et  $2Q_V + Q_H = 19$  étaient compensées.

La limite de charge d'espace du PS pour les deutons à l'injection est de l'ordre de  $2 \times 10^{12}$  (faisceau non groupé) et  $10^{12}$  (faisceau groupé). Le PS est donc saturé par le faisceau linac disponible.

## 2) Particules $\alpha$

On n'a pas retouché les réglages d'injection, et il était difficile de faire des mesures précises sur les transformateurs de courant. Avec la même efficacité que pour les deutons, on aurait empilé 3.3 mA, ce qui correspond à  $14 \times 10^{10}$  particules.

## IV. CAPTURE RF ET ACCELERATEUR

Les particules étant injectées avec un  $\beta = .157$  (au lieu de .314 pour les protons), la variation totale de  $\beta$  ne peut être assurée qu'à l'aide d'un changement de nombre harmonique : on fait une capture adiabatique à l'injection ( $B = 142$  Gauss) à 3 MHz sur l'harmonique 40, puis quand la fréquence atteint 9.5 MHz ( $\beta = 0.5$ ) à 515 Gauss, on effectue un dégroupage adiabatique sur un palier intermédiaire, puis une recapture adiabatique sur l'harmonique 20 ( $F = 4.75$  MHz), et on accélère jusqu'à  $B = 12400$  Gauss (26 GeV/c pour les protons, soit ici 13 GeV/c par nucléon).

La photo No. 3 montre le cycle magnétique utilisé : l'injection se fait à 142 Gauss avec un  $\dot{B} = \frac{dB}{dt}$  de  $0.35 \text{ T s}^{-1}$ . Ce  $\dot{B}$  est conservé jusqu'au palier intermédiaire de 100 ms à 515 Gauss, puis croît linéairement de zéro à sa valeur maximale de  $2.5 \text{ T s}^{-1}$ . Ce cycle a été calculé pour fournir, avec la tension RF maximum disponible de 190 kV, une acceptation longitudinale de 8.6 mrad à l'injection (harmonique 40), et 16 mrad minimum après la recapture sur l'harmonique 20.

Le programme de fréquence a dû être modifié pour suivre (à peu près à 70 kHz près) les variations théoriques de la fréquence. Le réglage de l'accord grossier des cavités a également dû être modifié pour que les erreurs restent dans la gamme de l'accord fin tout le long du cycle.

Efficacité de capture RF :  $50 \times 10^{10}$  deutons sont capturés, ce qui donne une efficacité globale de  $\approx 18\%$ . Cette très faible efficacité ne peut être expliquée : avec 8.6 mrad d'acceptance, et si les mesures d'émittance du linac sont correctes (fig. 2), on devrait capturer environ 45% du faisceau (l'efficacité de capture étant alors limitée par l'effet de charge d'espace transversale,  $10^{12}$  particules pouvant être capturées au maximum, voir paragraphe III). Tout se passe comme si la tension RF effective à l'injection était très inférieure à la valeur mesurée à 190 kV.

Des mesures d'émittance longitudinale A ont été faites au cours de l'accélération :

B (Gauss)	P (GeV/c par nucléon)	A (mrad)
500	0.5	3.7
1000	1.06	10.6
4000	4.2	14.2
10000	10.46	14.0

Ces mesures suggèrent que :

- l'acceptance est faible à l'injection (faible émittance avant dégroupage);
- une dilution importante se produit lors du dégroupage et de la recapture. L'émittance reste cependant inférieure à l'acceptance de 16 mrad, ce qui explique l'absence de pertes à la recapture (photo 2).

La photographie No. 2 montre que quelques pertes de faisceau se produisent avant le palier (stop-band sextupolaire ?), ainsi que vers  $\beta \approx 0.9$  (nous n'avons pu trouver la cause de cette dernière, mais nous pensons qu'elle est triviale). A peu près 30% du faisceau est perdu pendant l'accélération.

La photographie No. 3 montre le signal de l'électrode P.U. à large bande, proportionnel à la densité de charge des paquets (cette photo a été prise lors de l'accélération des  $\alpha$ ; elle aurait la même allure pour

les deutons, seule l'amplitude diffèrerait).

La photo No. 4 montre la formation des paquets lors de la capture à  $h = 40$  à l'injection. La photo 5 montre le même phénomène à la recapture sur  $h = 20$  à la fin du palier.

#### REMERCIEMENTS

En plus des personnes qui ont effectivement participé à cette expérience, je tiens à remercier tous ceux qui l'ont rendue possible : la direction du PS et les membres du MST qui ont travaillé à redonner vie à ce projet, les physiciens qui ont manifesté leur intérêt dès le début, le groupe Opération et, en particulier, les opérateurs de service pendant le MD, qui nous ont aidés très activement, et les personnes du groupe PO qui ont mis au point et reproduit fidèlement le cycle magnétique.

Rédigé par J. Gareyte

Distribution (ouverte, s'adresser à Mme E. DURIEU, PS)

Personnes présentes au MD

PS Scientific Staff

Opérateurs OP

R. Paredes

H. Rottstock

F. Bonaudi (3 ex) , ISR

S. Myers , ISR

D. Neet (10 ex) , ISR

W. Schnell , ISR

A. Van Steenberghe , ISR

T. Ericson , TH

Y. Baconnier , SPS

B. de Raad , SPS

E.J.N. Wilson , SPS

C. Zettler , SPS

M. Albrow , EP

G. Cocconi , EP

P.G. Hansen , EP

B.G. Pope , EP

B. Povh , EP

H. Sens , EP

Mme C. Serre , EP

P. Strolin , EP

J.L. Laclare, Saclay (Département Saturne)

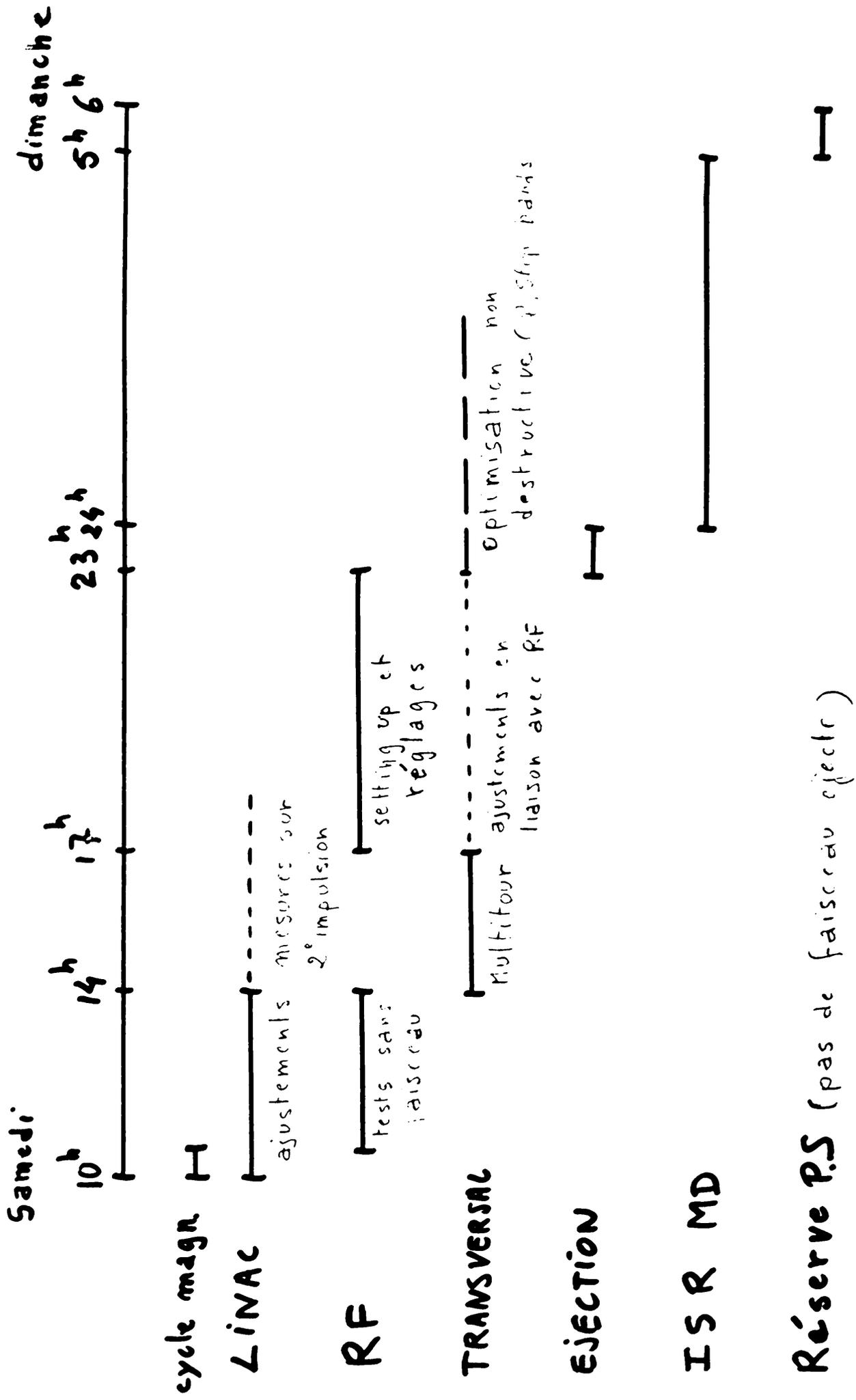
G. Raka, Brookhaven (2 ex)

M. Barton, Brookhaven

H. Grunder, Berkeley

L. Ratner, Argonne

R. Martin, Argonne



**Fig. 1: Plan de déroulement de l'expérience**

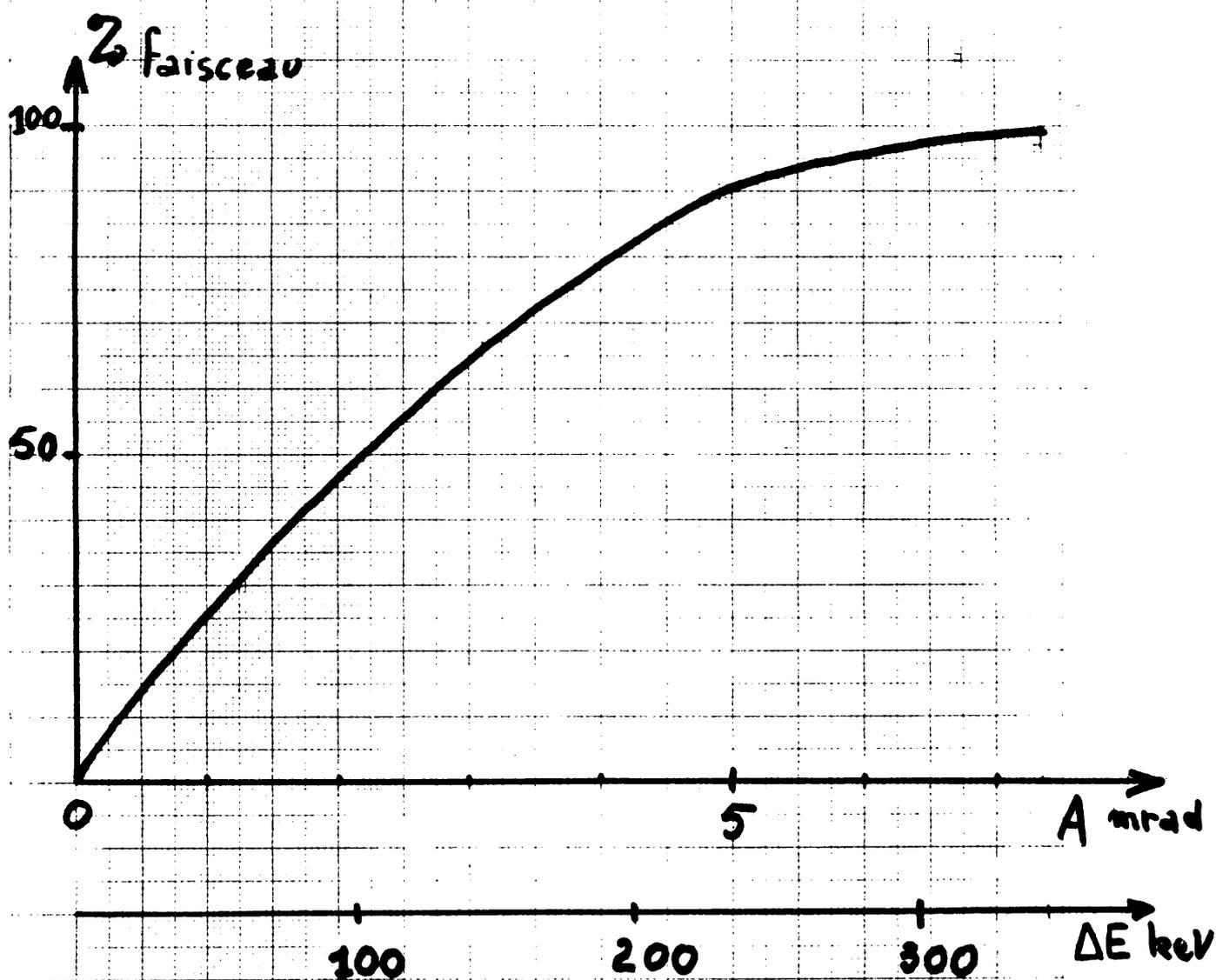
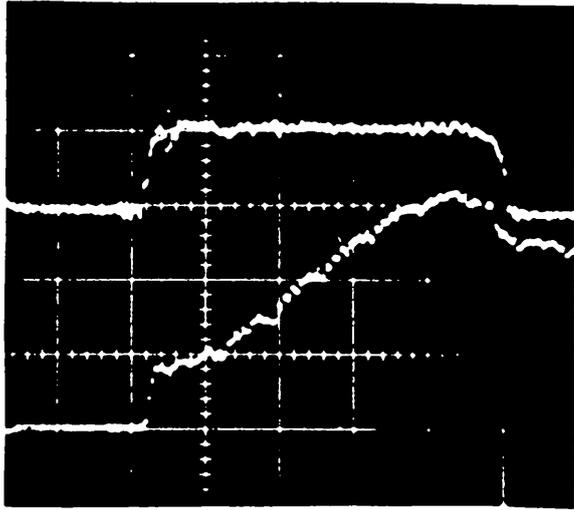


Fig. 2 : Emittance longitudinale à la sortie du linac



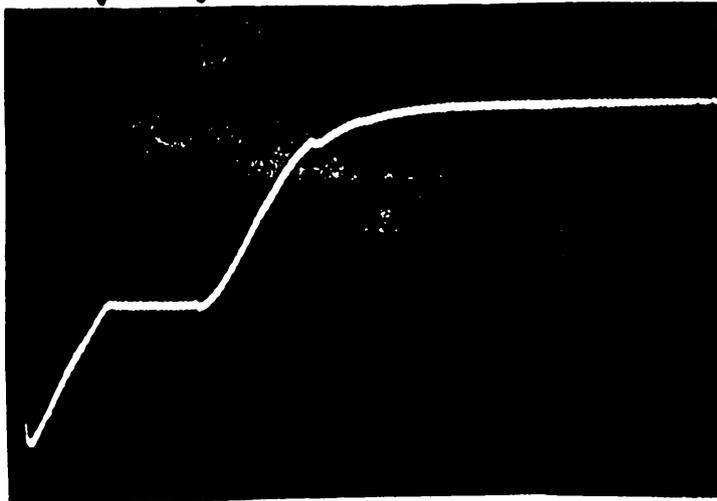
BM 49

BM 51 (1 mV = 0.53 mA)

| 20 mV/cm  
| 20 μs/cm

Photo 1 : Empilement multitor deutons

palier à 515 g.



Trigger: injection

100 mA/cm

0.5 V/cm

Photo 2 : Intensité deutons (transfo. de courant) au cours du cycle

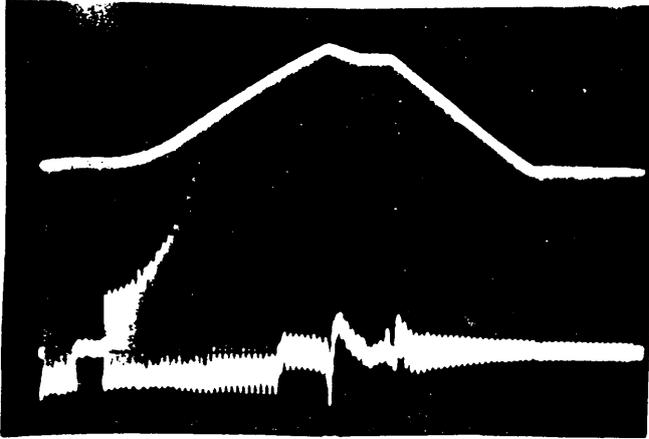


Photo 3: Accélération  $\alpha$   
 200 ms/cm  
 - champ B

- Electrode PU  $\Sigma$  large bande  
 (5 mV/cm)

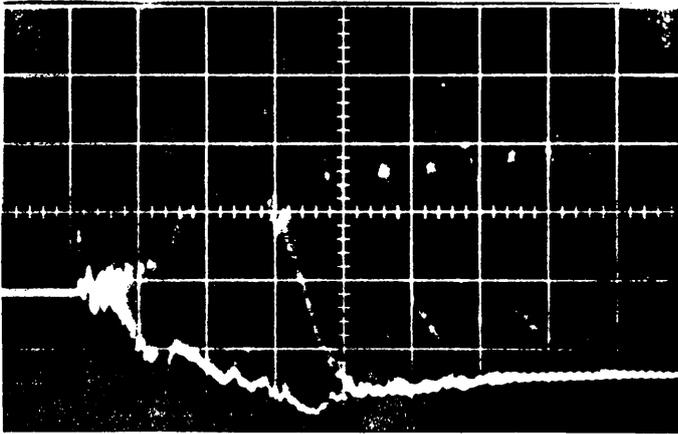


Photo 4: Capture  
Deutons sur  $h=40$   
à l'injection

PU  $\Sigma$  100  $\mu$ s/div  
 20 mV/div

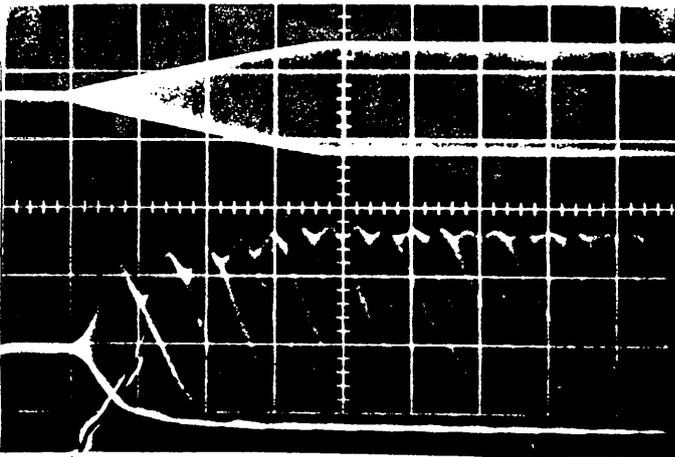


Photo 5: recapture  
deutons sur  $h=20$   
à 515 Gauss

- VRF  
 - PU  $\Sigma$

200  $\mu$ s/div  
 10 mV/div