



CM-P00053270

PROPOSITION D'EXPERIENCE SUR L'ETUDE COMPAREE DES SECTIONS EFFICACESDIFFERENTIELLES DE DIFFUSION p-³He et p-³H à 600 MeVA L'AIDE DE DETECTEURS SEMICONDUCTEURS

L. AVAN,

par

M. Brossard^x, A. Cordaillat^{xx}, J. Combe^x, J. Fain^x, J. Gardès^x, L. Méritet^x,
M. Querrou^x, D. Riss^x, P. Siffert^{xxx}.I. INTRODUCTION

Une expérience de diffusion p-³He et p-Tritium est proposée à une énergie incidente de 600 MeV en vue de comparer les sections efficaces différentielles à la lumière de la théorie de diffusion multiple.

On utilise une cible d'hélium gazeuse et une cible tritiée solide, l'hydrogène servant de référence.

On détecte les noyaux de recul à l'aide d'un télescope de détecteurs semiconducteurs. L'électronique associée permet d'identifier les particules et de sélectionner en particulier les ³He ou ³H issus du choc élastique avec une très bonne résolution en énergie.

Des expériences test ont été effectuées et ont montré que l'identification sur les noyaux provenant d'une cible gazeuse irradiée à pleine intensité était satisfaisante.

^x Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand

^{xx} ~~CERN~~ (visiteur à CERN, supported by CNRS)

^{xxx} Département de Physique des Rayonnements et d'Electronique Nucléaire du Centre de Recherches Nucléaires, Strasbourg-Cronenbourg.

II. INTERET D'UNE ETUDE COMPAREE DES SECTIONS EFFICACES DE DIFFUSION ELASTIQUE p-³He et p-³H A HAUTE ENERGIE

a) L'un des problèmes fondamentaux est de déterminer la nature des forces nucléaires intervenant dans ³H et ³He : force à deux corps ou à trois corps. Les tentatives faites pour calculer l'énergie de liaison^(1,2) se heurtent en plus de notre mauvaise connaissance de ces forces au manque de connaissance précise de la fonction d'onde en particulier de celle de l'état fondamental. Jusqu'à présent les expériences de diffusion avec électron étaient celles qui donnaient le plus d'information à ce sujet⁽³⁾. La mise en évidence de structures nucléaires par diffraction de protons ou de pions de haute énergie^(4,5,6) sur les noyaux fait apparaître comme possible une étude plus fine de structure.

L'intérêt des détecteurs semiconducteurs dans une telle étude provient de leur grand pouvoir de résolution en énergie : on peut raisonnablement obtenir 500 KeV pour un moment de transfert $t = 0,3 \text{ (GeV/c)}^2$ soit un Δt de $\pm 0,0025 \text{ (GeV/c)}^2$. La détermination précise du moment de transfert au minimum de diffraction permettra une mesure précise des rayons nucléaires de ces deux noyaux.

b) Aux alentours du minimum de diffraction la section efficace différentielle est très sensible aux parties réelles α_n et α_p des amplitudes de diffusion simple p-n et p-p. En particulier le rapport pic-vallée du deuxième maximum au minimum est d'autant plus prononcé que les parties réelles sont voisines de 0. La connaissance simultanée des deux sections efficaces dans cette région permettra en levant les ambiguïtés de déterminer les deux parties réelles. On a approximativement :

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{He^3} = e^{\frac{R^2 \Delta^2}{6}} \left[2f_p(0) e^{-\frac{(R^2 + 2a_p)\Delta^2}{4}} + f_n(0) e^{-\frac{(R^2 + 2a_n)\Delta^2}{4}} + \frac{i}{P} \left(\frac{f_p^2(0) e^{-\frac{(R^2 + 2a_p)\Delta^2}{8}}}{R^2 + 2a_p} + \frac{2f_p(0)f_n(0)}{R^2 + a_p + a_n} e^{-\frac{\Delta^2(R^2 + 2a_n)(R^2 + 2a_p)}{8}} \right) \right]$$

(cf fig 1) où l'on a représenté les termes de diffusion simple et double uniquement.

$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\text{SI}}$ se déduisant de l'expression précédente en permutant les indices p et n.

R est le rayon du noyau, a_p a_n $f_p(0)$ $f_n(0)$ sont les paramètres de la diffusion simple

$$f_{pp} = \frac{ip\sigma_p}{4\pi} (1 - i\alpha_p) e^{-\frac{a_p s^2}{2}} = f_p(0) e^{-\frac{a_p s^2}{2}}$$

$$f_{nn} = \frac{ip\sigma_n}{4\pi} (1 - i\alpha_n) e^{-\frac{a_n s^2}{2}} = f_n(0) e^{-\frac{a_n s^2}{2}}$$

En réalité α_p et α_n dépendent du moment de transfert et il conviendra de fitter les courbes de sections efficaces en essayant diverses fonctions $\alpha_p(\Delta^2)$ et $\alpha_n(\Delta^2)$. Il faudra tenir compte également des effets de spin (7,8).

c) Pour les moments de transfert petits ($0,005 < \Delta^2 < 0,1 (\text{GeV}/c)^2$) correspondant à des énergies de recul comprises entre 500 KeV et 8 MeV la diffusion nucléaire se réduit au terme de diffusion simple et interfère avec la diffusion Coulombienne. Cette région particulièrement intéressante est accessible aux détecteurs semiconducteurs. On a approximativement :

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\text{SI}} \approx \left(\frac{3A\sigma}{4\pi}\right)^2 e^{-\frac{(R_N^2 + 2a)\Delta^2}{2}} + \left(\frac{p\sigma}{4\pi}\right)^2 (2\alpha_p + \alpha_n)^2 e^{-\frac{(R_N^2 + 2a)\Delta^2}{2}}$$

$$- 2 \left(\frac{p\sigma}{4\pi}\right) (2\alpha_p + \alpha_n) e^{-\frac{(R_N^2 + 2a)\Delta^2}{4}} \times \frac{4Ze^2 p}{v \Delta^2} e^{-\frac{R_c^2 \Delta^2}{4}} \cos \delta$$

$$- 2 \left(\frac{3p\sigma}{4\pi}\right) e^{-\frac{(R_N^2 + 2a)\Delta^2}{4}} \times \frac{4Ze^2 p}{v \Delta^2} e^{-\frac{R_c^2 \Delta^2}{4}} \sin \delta$$

$$+ \left(\frac{4Ze^2 p}{v \Delta^2}\right)^2 e^{-\frac{R_c^2 \Delta^2}{2}}$$

R_N est le rayon Nucléaire du noyau

R_c est le rayon Coulombien du noyau, Z la charge du noyau,

$$\delta = \frac{Ze^2}{\hbar v} L_n \left(\frac{0,721}{\Delta^2} \right)$$

est le déphasage moyen obtenu à partir des ondes partielles par Bethe (9).

p et v sont relatifs au proton incident.

Les deux premiers termes et le dernier sont purement nucléaires ou Coulombiens. Le premier terme d'interférence directement proportionnel à la somme des parties réelles des trois nucléons peut être positif ou négatif suivant les valeurs et les signes de α_{pp} et α_{pn} , il a une influence prépondérante vers $0,01 \text{ (GeV/c)}^2$.

Le deuxième terme est toujours négatif et est à l'origine du minimum de section efficace vers $t = 0,005 \text{ (GeV/c)}^2$ (voir Fig. 2).

On voit d'une manière générale que la mesure vers les faibles moments de la section efficace sera d'un grand intérêt pour préciser le signe et les valeurs des parties réelles α_p α_n vers les moments de transfert nul. Ces résultats seront à rapprocher de certaines théories récentes sur la diffusion p-noyau "en avant" (10).

III. CONDITIONS EXPERIMENTALES

Nous utilisons dans cette expérience une cible d'hélium gazeux à pression maximale de 1 atm. ou une cible solide au Tritium et nous détectons et identifions les ^3He ou Tritium de recul issus du choc élastique à l'aide d'un télescope de deux semiconducteurs. La particule traverse le premier détecteur et perd une énergie ΔE puis elle s'arrête dans le deuxième détecteur en perdant une énergie E . Un circuit analogique permet de calculer le signal $a = (E + \Delta E)^{1,73} - E^{1,73}$. Ce signal d'après les relations parcours énergie permet d'identifier la particule. Lorsqu'il correspond à un ^3He (ou à un tritium) il ouvre une porte de sortie et permet l'enregistrement du signal $E + \Delta E$, correspondant à l'énergie totale de la particule, sur un sélecteur.

Conditions générales - Résultats de l'expérience test du 3.5.69.

Les conditions suivantes doivent être réalisées : utilisation d'un faisceau suffisamment étroit et de forte intensité (10^{11} p/s). Blindage suffisant pour protéger les détecteurs du bruit de fond général, et du bruit de fond provenant de la queue du faisceau et des fenêtres de la boîte.

Electronique de logique suffisamment sélective pour éliminer tout bruit de fond résiduel ne provenant pas du canal de détection.

Plusieurs expériences test ont été nécessaires pour déterminer les bonnes conditions expérimentales. Essais de bruits de fond, test de blindage dans la déviation p-2p du faisceau Isolde du SC du CERN. Test de l'électronique au SC de Lyon. Une expérience test réalisée le 3.5.69 dans la déviation du faisceau p-2p a été jugée définitivement satisfaisante : après un essai d'identification réussi sur une cible d'aluminium et à faible intensité ($5 \cdot 10^9$) nous sommes passés dans les "conditions de l'expérience" avec une cible de ^4He gazeux et en utilisant le faisceau à pleine intensité ($2 \cdot 10^{11}$). Bien que dans ces conditions le faisceau n'ait pas eu les conditions géométriques optimales nous avons pu continuer à identifier les particules issues de la cible (voir Fig. 5). Le spectre en énergie des ^4He issus de la cible à 70° montre clairement (Fig. 6) un pic élastique à une valeur de 50,5 MeV avec une largeur de 5 MeV correspondant à l'ouverture angulaire de 1° fixée par la géométrie (détecteur de 1 cm de diamètre à 60 cm de l'axe du faisceau). Ce pic disparaît à 90° et nous avons pu ainsi mesurer le bruit de fond résiduel provenant de la partie de la boîte cible "léchée" par le faisceau et vue dans le canal de détection (Fig. 7). Les vérifications suivantes ont pu être faites : essai "sans cible" ; en bouchant le canal de détection aucune particule n'est détectée en coincidence fortuite sur les détecteurs E et Δ E, preuve d'un bruit de fond général satisfaisant. Essai avec une fenêtre d'entrée simulant les conditions de l'expérience avec l' ^3He (voir fig. 3 et 4) : l'identification se fait toujours correctement.

Les conditions expérimentales de l'expérience test du 3.5.69 sont considérées comme définitives. Les détails techniques sont les suivants :

Cibles : Elles seront constituées a) d'hélium³ gazeux sous pression maximale de 1 atmosphère; b) d'une cible tritiée (hydrure de Titane) de 1 et $10/\mu$ d'épaisseur supportée par une membrane en capton de $10/\mu$. La même boîte support sert dans les deux cas. Le bras de détection est constitué d'un tube de longueur variable articulé et commandé automatiquement. Les angles sont variables de 50° à 90° par pas de $1/10$ de degré.

Détecteurs : Les détecteurs sont des barrières de surface (Si compensée). Les épaisseurs des détecteurs ΔE et E sont choisies en fonction de l'énergie moyenne et de la nature de la particule à détecter (exemple $\Delta E = 450 \mu$ et $E = 1 \text{ mm}$ pour des ^4He de 50 MeV, conditions de l'expérience ~~(15)~~). L'ensemble diode préamplificateur est étalonné à l'aide d'une source α . La protection des détecteurs est réalisée à l'aide d'un mur de béton de 2 m de long (protection vis-à-vis des particules de la queue du faisceau) et d'un blindage de plomb destiné à éliminer le bruit de fond provenant des particules issues des fenêtres de la boîte.

Electronique : L'électronique linéaire est constituée de l'identificateur précédé d'une logique (fig. 3): Les principales fonctions réalisées par la logique sont : l'amplification linéaire des deux voies et la mise en forme; une coincidence rapide de résolution comprise entre 10 et 100 ns; l'élimination de signaux non compatibles (particules traversant les deux détecteurs); le déclenchement en temps de l'identificateur.

Faisceau : Le faisceau utilisé pour l'expérience p-2p (déviaton du faisceau Isolde) semble convenir moyennant quelques modifications : utilisation d'un collimateur plus grand et optimisation des dimensions du faisceau au niveau de la cible; la largeur souhaitée est de 1,5 cm à mi-hauteur. L'installation peut être faite entre l'aimant de déflexion et l'expérience p-2p.

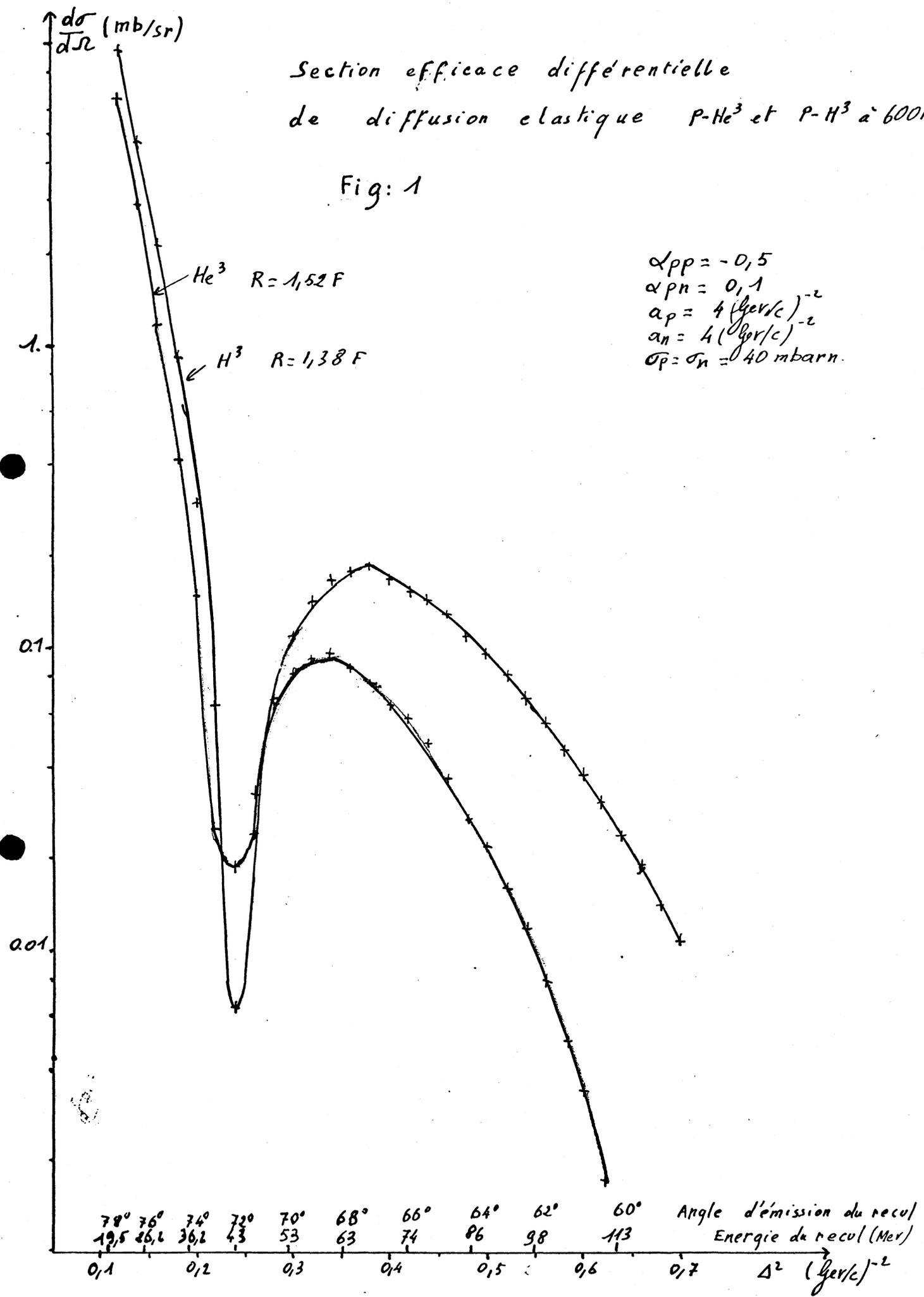
Le tableau A donne les sections efficaces et taux de comptage prévus pour l'expérience. Il est nécessaire de prévoir une occupation du faisceau de l'ordre de 80 shifts pouvant être répartis en plusieurs périodes à partir du 1er Septembre 1969.

REFERENCES

- 1) J.M.Blatt, G.H.Derrick and J.N.Lyness Phys. Rev. Letters 8, 323 (1962)
- 2) J.M.Blatt and L.M.Delves Phys. Rev. Letters 12, 544 (1964)
- 3) - H.Collard, R.Hofstadter, E.B.Hughes, A. Johansson, M.R.Yearian, R.B.Day and R.J.Wagner Physical Review Vol. 138 No 113 1357-1365
- L.I.Schiff Theory of the electromagnetic form factors of ^3H and ^3He Physical Review Vol. 133 No 313 10.2.64
- 4) Elastic Scattering of 1 BeV protons from hydrogen, helium, carbon and oxygen nuclei - Palevsky et al. BNL 11360
- 5) Beschitz, Roberts, Vincent, Gotow, Gugelot, Perdrisat, Swenson Physical Review Letters Vol. 20, No 20
- 6) J.Combe, E.Dahl-Jensen, N.Doble, J.Gardès, M.Querrou - Diffusion π^- - He^4 à 1,25 GeV/c - To be published in Physics Letters
- 7) Franco and Glauber - Phys. Rev. Letters Vol. 17 No 15 10 Oct.66
- 8) Spin effects in the scattering of protons from light nuclei - Kujawski, Sachs, Trefil - Phys. Rev. Letters Vol. 21 No 8, August 68
- 9) Bethe - Scattering and polarization of protons by nuclei - Annals of Physics 3, 190-240 (1958)
- 10) T.E.O.Ericson and M.P.Locher - Nuclear nucleus forward dispersion relations Th 891 CERN

Section efficace différentielle
de diffusion élastique P-He³ et P-H³ à 600 Mev

Fig: 1



Angle d'émission	76°	75°	74°	73°	72°	71°	70°	68°	66°	64°	62°	60°
Moment de transfert carré ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	0,147	0,168	0,191	0,215	0,241	0,276	0,294	0,352	0,418	0,482	0,549	0,634
Energie des He^3 (MeV)	26,2	30	34	38,4	43	47,5	53	63	74,5	86	98	113
$\frac{d\sigma}{d\Omega}$ (He^3) (mb/sr)	1,6	0,7	0,25	0,025	0,02	0,055	0,075	0,095	0,055	0,027	0,01	0,001
nb de neutrons pour He^3 par g d'air à 1 atm	0,48	0,21	0,075	0,0075	0,006	0,016	0,0225	0,0195	0,0165	0,0071	0,003	0,0003
Durée pour 1000 erts	1h	2h	4h	36h	44h	17h	13h	15h	17h	39h	100h	1000h
$\frac{d\sigma}{d\Omega}$ (H^3) (mb/sr)	3	1,5	0,6	0,06	0,006	0,055	0,1	0,17	0,15	0,11	0,6	0,03
nb d'erts/s en H^3 *	3,6	1,8	0,7	0,07	0,007	0,065	0,09	0,12	0,065	0,032	0,012	0,0012
durée pour 1000 erts	300s	500s	1/2 h	5h	42h	5h	4h	3h	5h	9h	24h	240h

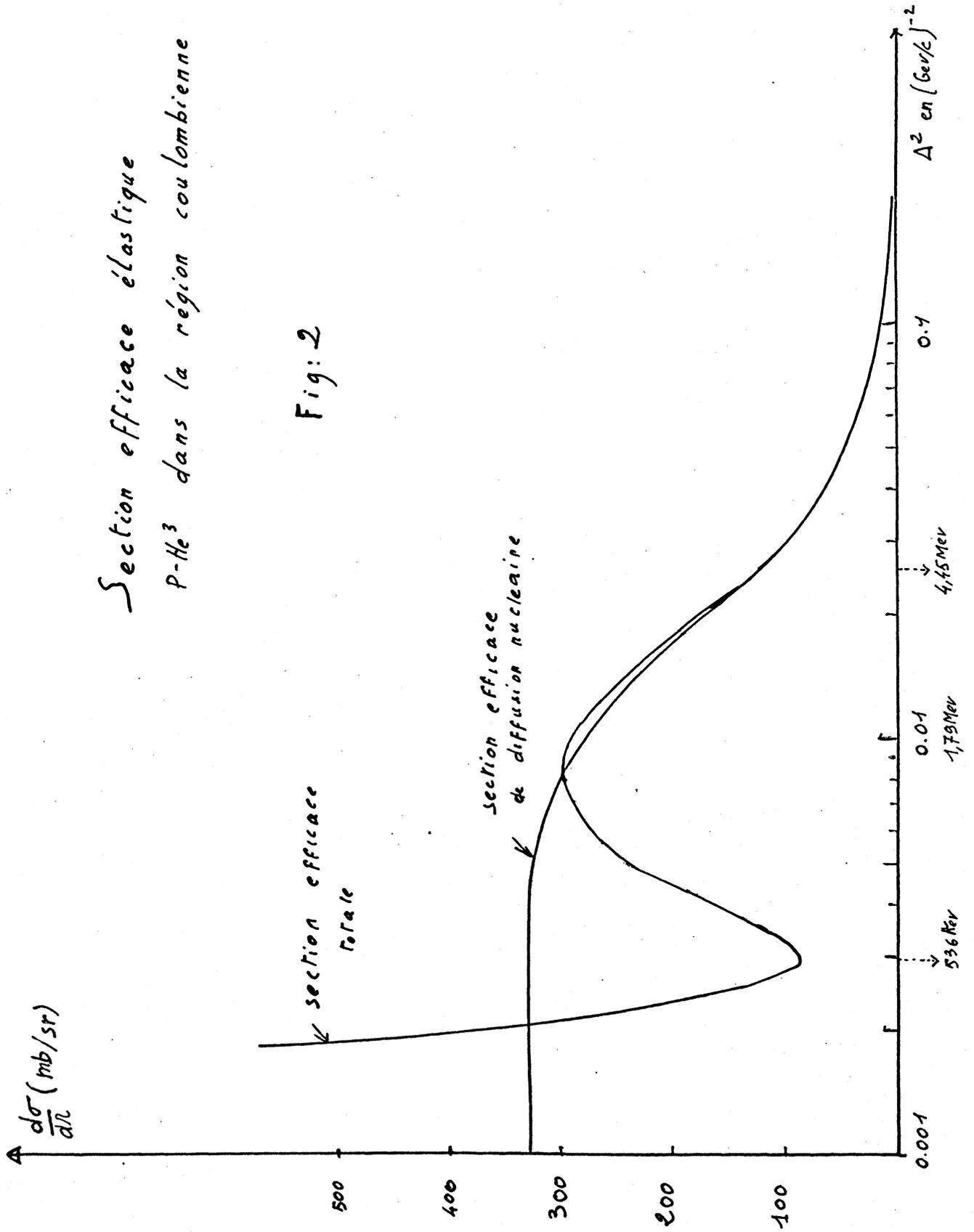
Tableau A Diffusion élastique - Détecteur à 60cm du faisceau - 1cm

- Flux : 10^{11} p/s

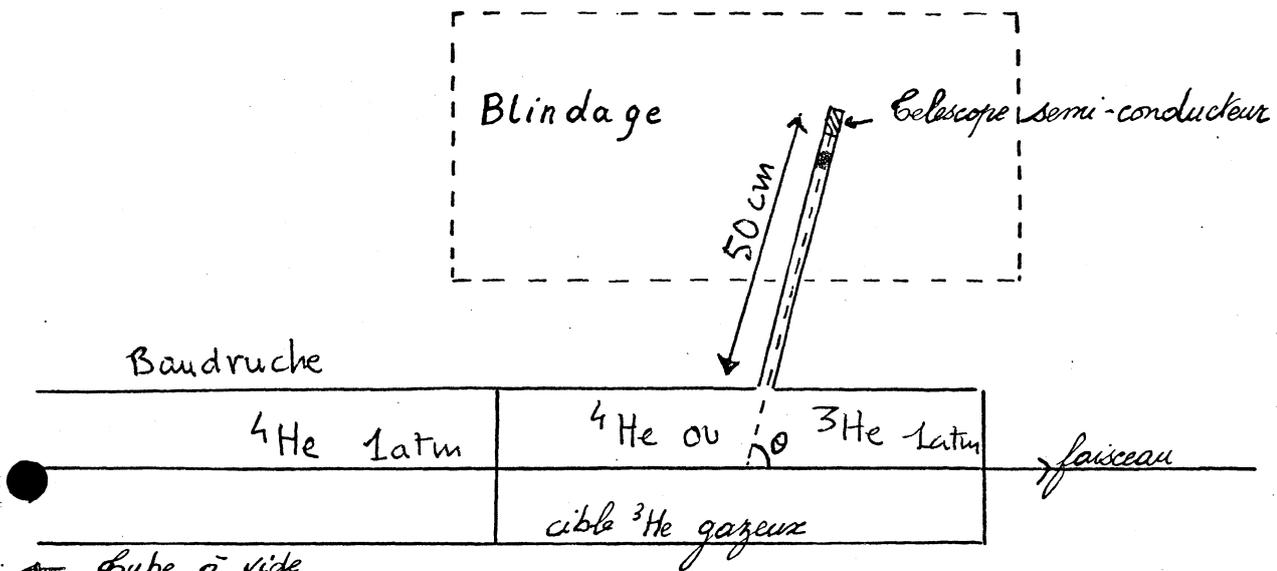
* Pour H^3 cible solide de 10curie/cm²

Section efficace élastique
 P-He³ dans la région coulombienne

Fig: 2



DIFFUSION ELASTIQUE Proton-³He



schema du montage expérimental

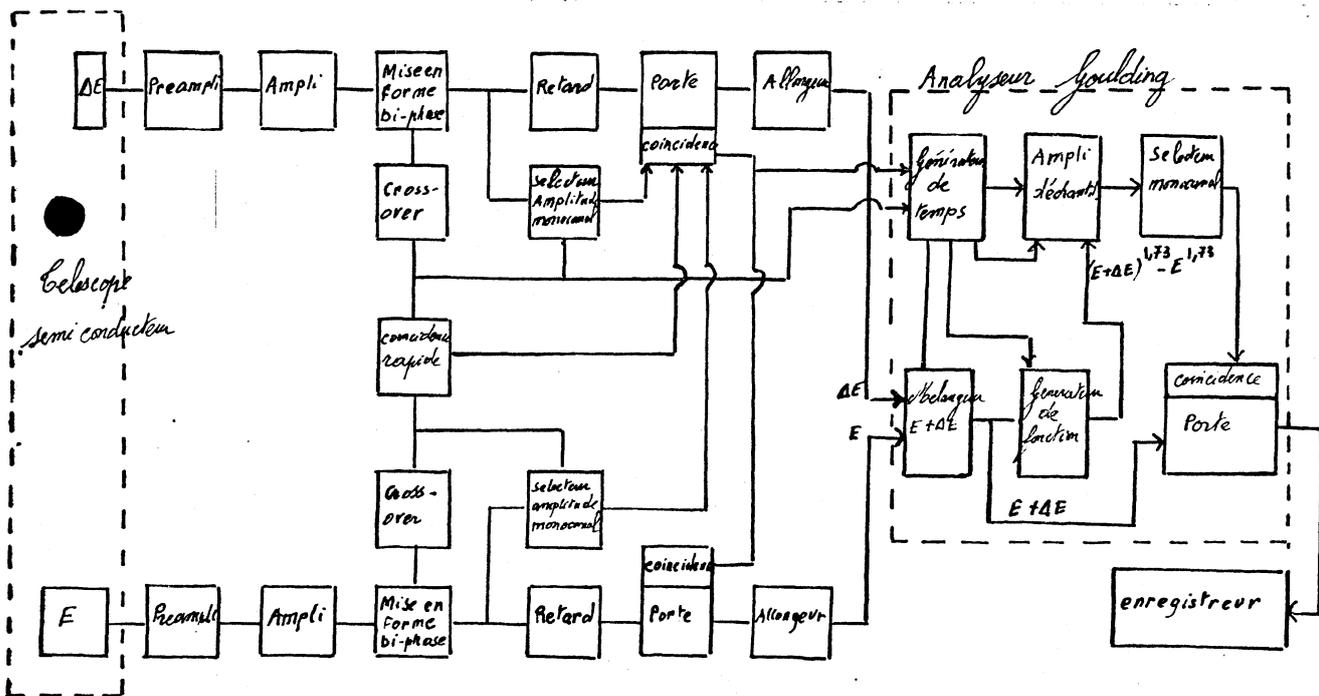


Fig 3 : bloc diagramme électronique

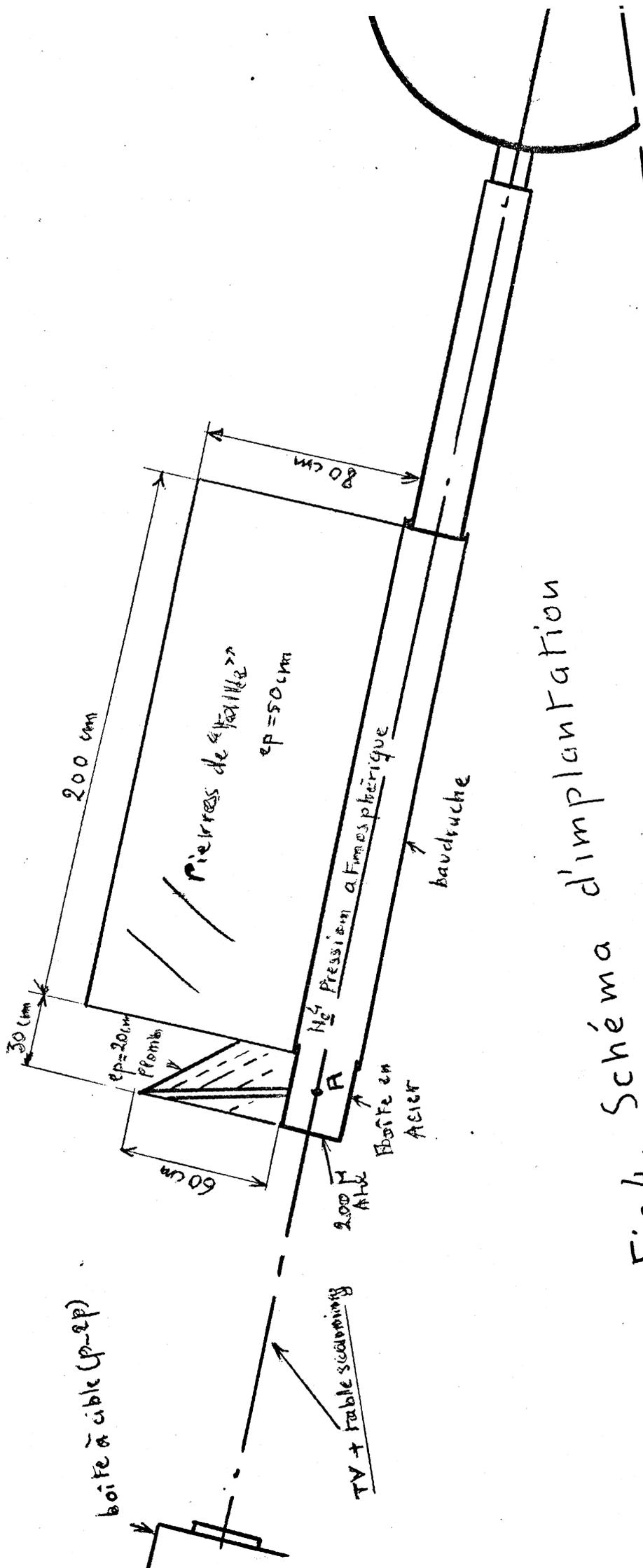


Fig 4. Schéma d'implantation

Evs

500
400

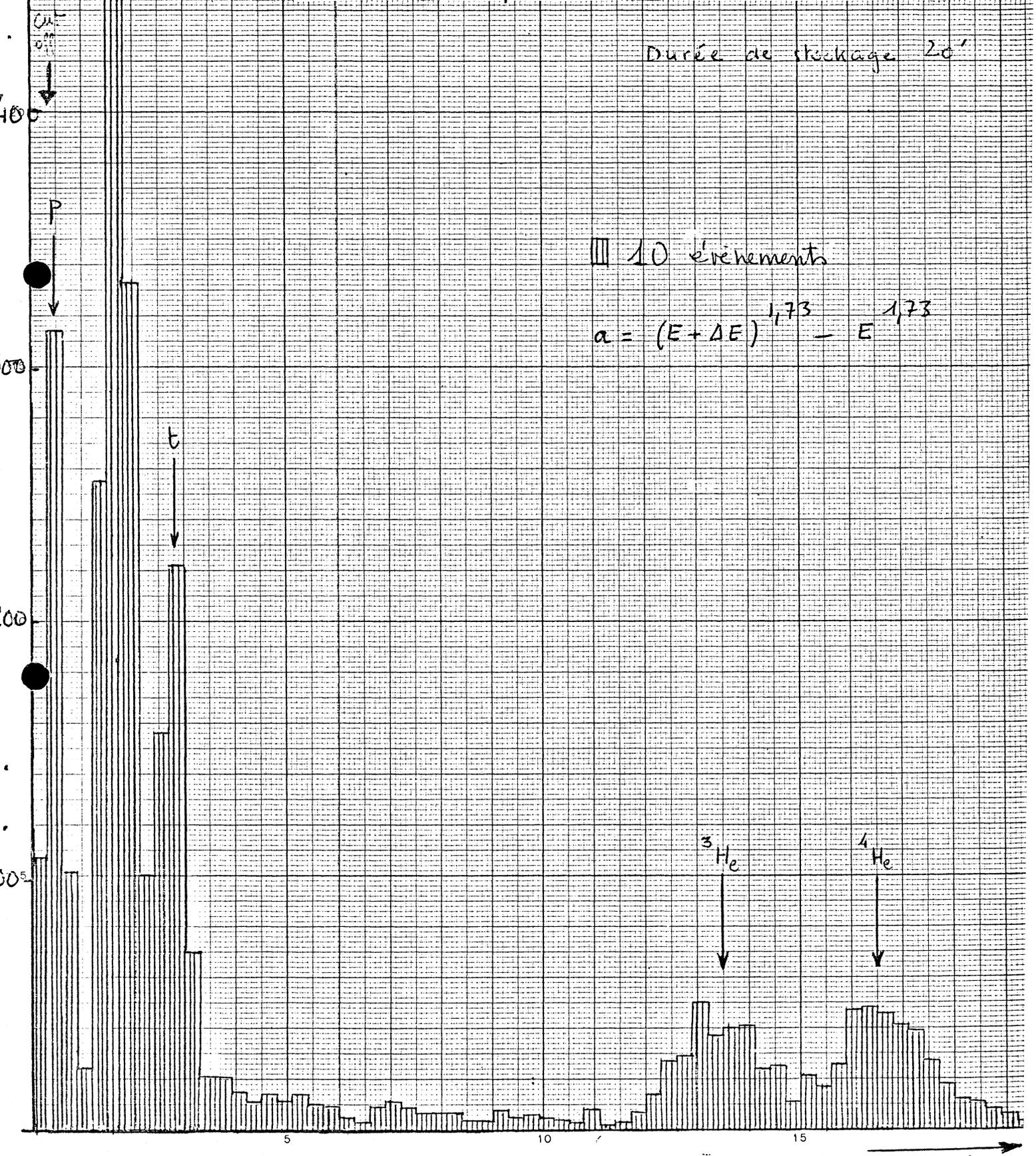
d

Fig 5 Spectre d'identification
 $p\text{-He}^4 - 70^\circ - 2 \times 10^{11} \text{ p/s} - 600 \text{ MeV}$

Durée de stockage 20'

▨ 10 événements

$$a = (E + \Delta E)^{1,73} - E^{1,73}$$



300

200

100

5

10

15

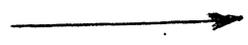


Fig 6 Spectre en energie
des ^4He à 70° (p-He à 600 Mev)

1 événement

Durée de stockage 10^7

pic élastique

Cut off

He évaporé
provenant des parois

Cut off

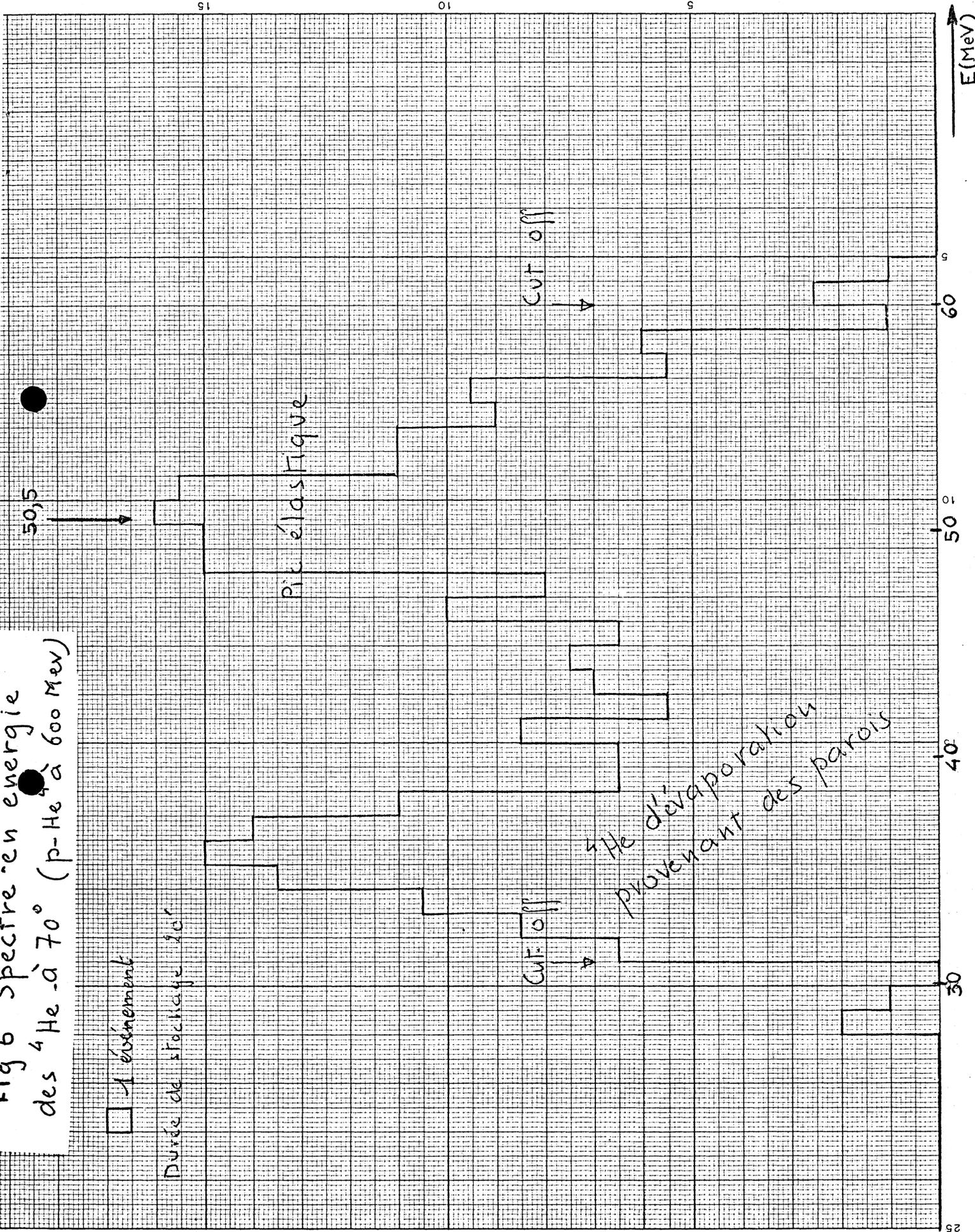


Fig 1 -> spectre en energie
 des ${}^4\text{He}$ à 90° - (p He 4 600 MeV)

□ événement

