

NOTE D'INFORMATION SUR LE FAISCEAU ET LES MESURES DE FAISCEAU DU LINAC

TENANT COMPTE DE L'EFFET DE CHARGE D'ESPACE

P. Têtu

1. INTRODUCTION

Cette note est la première d'une série qui se propose d'exposer les résultats obtenus à l'aide du programme TRANSPORT (modifié par F. Sacherer et T.R. Sherwood pour inclure l'effet de charge d'espace) et des mesures sur le faisceau du linac à 50 MeV effectuées comme vérifications expérimentales dans la zone de l'infecteur. L'ensemble du travail de mesure a été entrepris à la demande de C.S. Taylor et T.R. Sherwood et bénéficie de l'aide efficace de C. Poinard qui traitera au fur et à mesure des problèmes relevant de sa compétence.

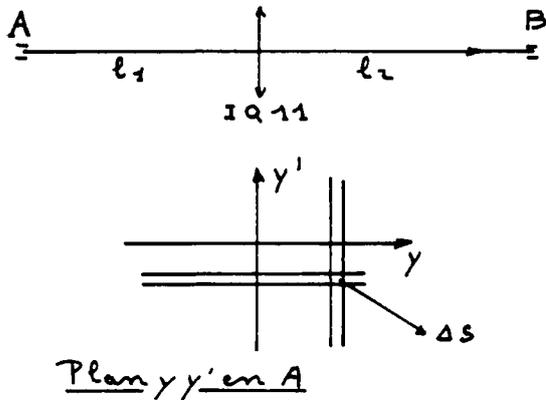
Les données sur le faisceau que nous introduisons dans le programme sont obtenues en grande partie par des mesures d'émittances, de répartition de charge du faisceau à différents endroits de la zone de l'infecteur et par les mesures de dispersion d'énergie; c'est pourquoi nous pensons dans les deux premières notes exposer les principes de ces mesures et y inclure les corrections à effectuer pour tenir compte de l'effet de charge d'espace introduit par le fait que le faisceau, limité par une fente, ne porte pas une charge négligeable. Par la suite nous traiterons des faisceaux fins et de l'adaptation du PS.

Ces notes ayant pour but principal de fournir des résultats vérifiés théoriquement et expérimentalement, nous ne parlerons du programme et des méthodes de vérification que pour autant que cela semblera indispensable à la compréhension et à l'utilisation des résultats.

2. MESURE D'EMITTANCE

2.1. PRINCIPE ELEMENTAIRE

Si l'on veut mesurer les densités dans le plan de phase yy' en A (voir schéma ci-dessous) on limite à cet endroit le faisceau par une fente



qui, dans la plan de phase correspondant, accepte les particules comprises entre deux droites parallèles à l'axe des y' .

Après la lentille IQ 11 on place une seconde fente en B et on ajuste la lentille de telle façon que sa distance focale f égale l_2
 $\delta = \frac{1}{f} = \frac{1}{l_2}$. Les particules acceptées par la fente en B seront celles qui en A seront comprises entre deux droites parallèles à l'axe des y . Les particules acceptées par l'élément de surface ΔS sont mesurées à l'aide d'un transformateur.

Si y_1 et y'_1 représentent les coordonnées diamètre et angle d'une particule en A et y_0, y'_0 les coordonnées de cette même particule en B, on a

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y'_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -l_1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & \delta & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_0 \\ y'_0 \end{pmatrix}$$

avec $\delta = \frac{1}{l_2}$

$$y_1 = 1 - \frac{l_1}{l_2} y_0 - l_2 y'_0$$

$$y'_1 = \delta y_0 = \frac{y_0}{l_2}$$

2.2. MESURE EFFECTIVE

En fait le principe élémentaire assimile le triplet quadrupolaire IQ 11 à une lentille mince et suppose qu'entre A et B le faisceau est suffisamment faible pour qu'aucun phénomène de charge d'espace n'intervienne.

La Fig. Ia nous indique la disposition effective de l'appareillage. La Fig. Ib tient compte de la longueur magnétique équivalente des quadrupoles. Les différents éléments intervenant dans la mesure sont les suivants :

a) Fente diamètre et angle (EBA 41 et EBA 42)

Ces éléments permettent d'obtenir des fentes de 2 mm verticales ou horizontales suivant le plan que l'on désire mesurer. Le déplacement s'effectue à l'aide d'une came qui peut faire avancer de 2 mm l'une ou l'autre fente à chaque impulsion.

b) Triplet IQ 11

Il s'agit de trois quadrupoles identiques de 0,25 m de longueur et 0,12 m d'ouverture.

La longueur magnétique équivalente mesurée par A. Septier est de 0,308 m.

La relation entre courant d'alimentation et gradient est donnée par :

$$K = 40,36 \cdot I$$

K en Gauss/cm

I en Amp.

Le triplet est symétrique, les deux quadrupoles extérieurs étant alimentés en série.

Le programme TRANSPORT nous a permis de déterminer le courant à afficher dans les quadrupoles pour obtenir : d'une part que la matrice de transfert entre EBA 41 et EBA 42 soit de la forme :

$$\begin{pmatrix} 0 & R_{12} \\ R_{21} & R_{22} \end{pmatrix}$$

en considérant le comportement optique de l'ensemble tel qu'il est indiqué sur la Fig. Ib , d'autre part de choisir R_{21} tel que la définition angle soit correcte par rapport aux émittances à mesurer.

Les résultats sont les suivants :

$I_{int} = 9,47 \text{ A}$	$I_{ext} = 5,07 \text{ A}$
----------------------------	----------------------------

On a ajouté 50 mA pour tenir compte dans une certaine mesure de la rémanence.

N.B. Bien que l'on puisse obtenir en principe un même résultat pour une configuration F.D.F. ou D.F.D. du triplet, on choisira toujours la configuration F.D.F. dans le plan à mesurer car, pour une variation de courant d'alimentation donnée ΔI sur un quadrupole, la variation de focalisation est plus faible que dans la configuration D.F.D.

Avec les valeurs de courant affichées ci-dessus, la définition angle est de 0,53 mRad (pour une fente en EBA 42 de 2 mm).

L'unité de mesure a pour surface :

$$0,53 \times 2 = 1,06 \text{ mm.mRad} = 0,106 \text{ cm.mRad.}$$

Ces résultats supposent qu'entre EBA 41 et EBA 42 aucun effet de charge d'espace n'intervienne.

2.3. EFFET DE LA CHARGE D'ESPACE

Lorsque la fente EBA 41 analyse la répartition de charges, la quantité de faisceau qui la traverse varie de 0 sur le bords à plus de 20 mA au centre. Comme ce volet se trouve près du tank III le faisceau est très fortement groupé longitudinalement, ce qui augmente encore la densité des particules. Puisqu'en EBA 42 on mesure la répartition du faisceau en provenance de la lère fente il est intéressant de déterminer l'effet de cette charge

d'espace sur la valeur de la définition angulaire de la mesure d'une part, et sur l'inclinaison de la limitation angle par rapport à l'axe des y ou des z d'autre part (c'est-à-dire la variation de R_{11} dans la matrice de transfert).

Le programme utilisé considère l'effet de charge d'espace comme linéaire. Lorsqu'on introduit une fente, cette dernière est assimilée dans le plan de phase correspondant à une limitation elliptique. Les extensions y, z, y', z', $\frac{\Delta p}{p}$ et ϕ et leurs corrélations représentent les 2σ des courbes de densités supposées Gaussiennes. (On envisage pour des questions de corrélation entre programmes et de précision de porter cette valeur à 2,2). Cette approximation pour un cas simple comme celui qui nous intéresse, après comparaison avec des résultats donnés par des programmes plus complexes, semble justifiée. La vérification expérimentale avec des passoires par exemple apporte un complément de confirmation.

Les données que nous fournissons au programme sont les extensions y, y', z, z', $\frac{\Delta p}{p}$, ϕ , et le courant transporté par le faisceau. Si l'on est intéressé par l'effet dans le plan yy' on met les valeurs suivantes :

- pour y, la valeur de la fente,
- pour z, y', z', les valeurs mesurées,
- pour $\frac{\Delta p}{p}$, la valeur correspondant à la mesure de dispersion d'énergie,
- pour ϕ , bien qu'il ne soit pas exactement connu (ϕ longueur du paquet) on peut calculer l'effet de charge d'espace pour une gamme de valeurs probables.

Les résultats que nous donne le programme sont en fonction du faisceau transporté : l'enveloppe du faisceau entre EBA 41 et EBA 42, la matrice de transfert entre ces points et l'amplitude des coordonnées ainsi que leur facteur de corrélation avant et après chaque élément de transfert (espace de glissement ou quadrupole). A l'aide de ces résultats et après traitement nous obtenons :

- En Fig. IIa la variation de l'unité de surface de mesure en fonction du courant du faisceau ayant traversé la fente diamètre, pour deux valeurs de ϕ (longueur de paquet).

- En Fig. IIb la variation de la pente de la limitation angle par rapport à l'axe des diamètres dans le plan de phase, en fonction de la même variable que dans la Fig. IIa.
- En Fig. III un exemple d'abaques où l'on voit comment varient les unités de mesure en fonction d'un faisceau ayant une répartition de courant égale à celle que l'on obtient en moyenne à la sortie du Linac, avec une longueur de paquet courte (effet de charge d'espace maximum).
- En Fig. IV la visualisation de l'enveloppe du faisceau avec et sans charge d'espace (courant de 0 et courant de 20 mA) dans le plan mesuré et dans l'autre plan; la fente diamètre étant au centre ($\phi = \pm 1,5$ cm). (Nous avons fait des passages de programme avec 0, 2, 10 et 20 mA de faisceau dans la fente).

3. INTERPRETATION DES RESULTATS

Lorsqu'on effectue des mesures d'émittance avec l'appareillage décrit on est intéressé par deux sortes de résultats.

a) La courbe émittance-courant

Dans le cas le paramètre à connaître est la surface de l'élément de mesure. La Fig. IIa montre en effet que la charge d'espace dans des cas limites peut introduire une variation de -10% pour le centre de l'émittance. Ce sont donc les densités centrales qui sont affectées (voir Fig. Va).

b) La forme de la courbe d'émittance

Si l'on cherche à calculer une adaptation, on veut connaître les paramètres caractéristiques de l'ellipse. On peut à l'aide des Figs. IIa et IIb rectifier la courbe mesurée. La Fig. Vb nous montre un tel exemple, où l'on a pris un effet de charge d'espace maximum (longueur du paquet petit). On peut remarquer que les paramètres caractéristiques de l'ellipse a/b et c/b varient dans des proportions importantes si l'on rectifie la courbe mesurée.

4. CONCLUSION

Il est certain qu'un travail important reste à faire pour connaître exactement l'effet de la charge d'espace sur les mesures d'émittance. Les mesures et les calculs que nous avons effectués permettent néanmoins d'évaluer cet effet dans des limites raisonnables et d'en tenir compte dans les résultats. Bien entendu, dans la mesure, on pourrait rectifier automatiquement la surface de l'élément de mesure en fonction du courant de la fente diamètre, ou envisager en fonction de la même variable un réajustement du triplet pour avoir un élément de mesure constant. Mais, pour l'instant, nous nous bornerons à une rectification approximative des résultats et nous affinerons les méthodes en fonction des besoins (en particulier dans la mesure d'émittance en une impulsion, où le même problème se pose).

P. Têtu

Distribution (ouverte)

Disposition de l'appareillage de mesure d'émission à 50 MeV

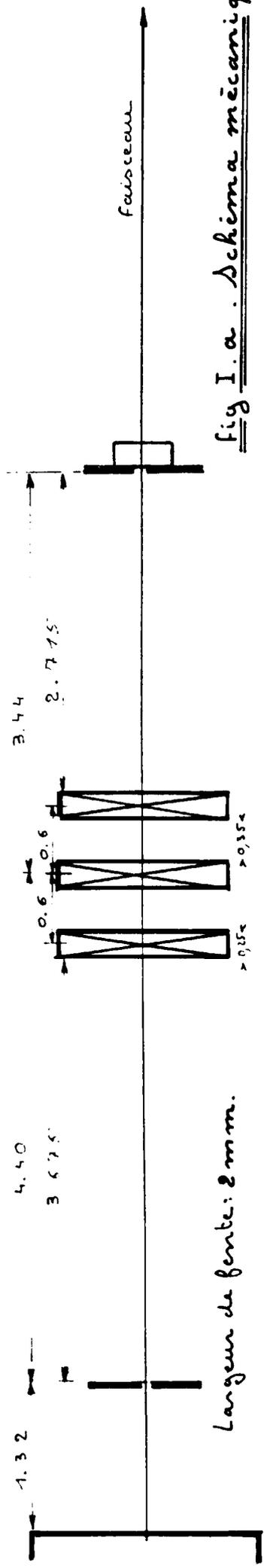


Fig I. a. Schéma mécanique

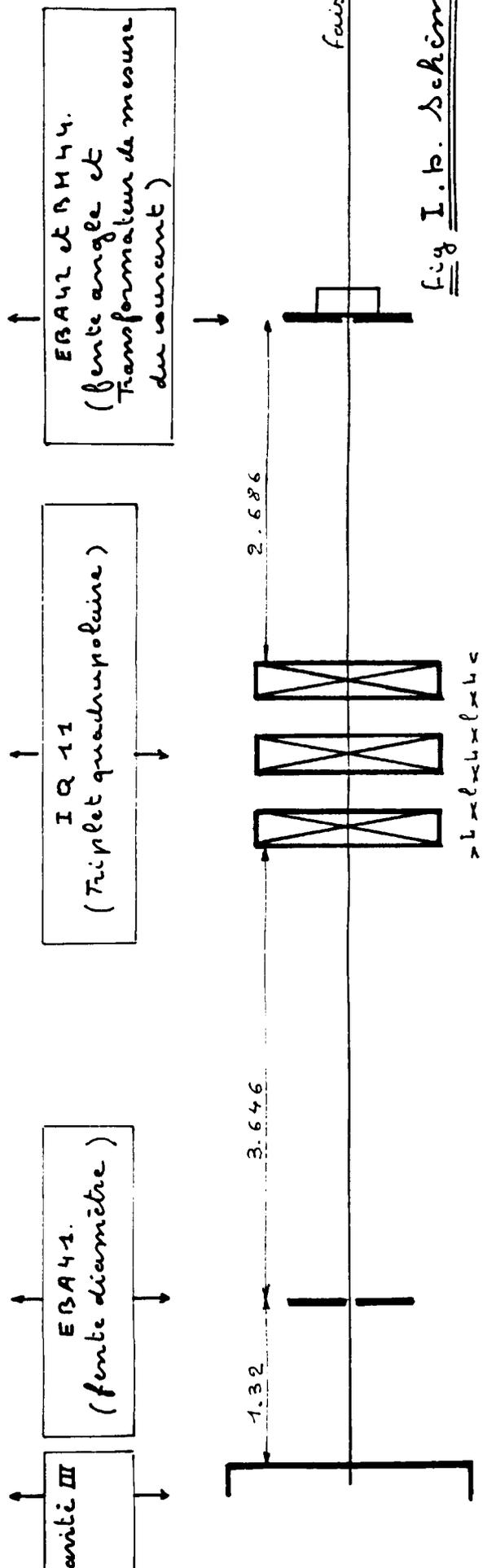
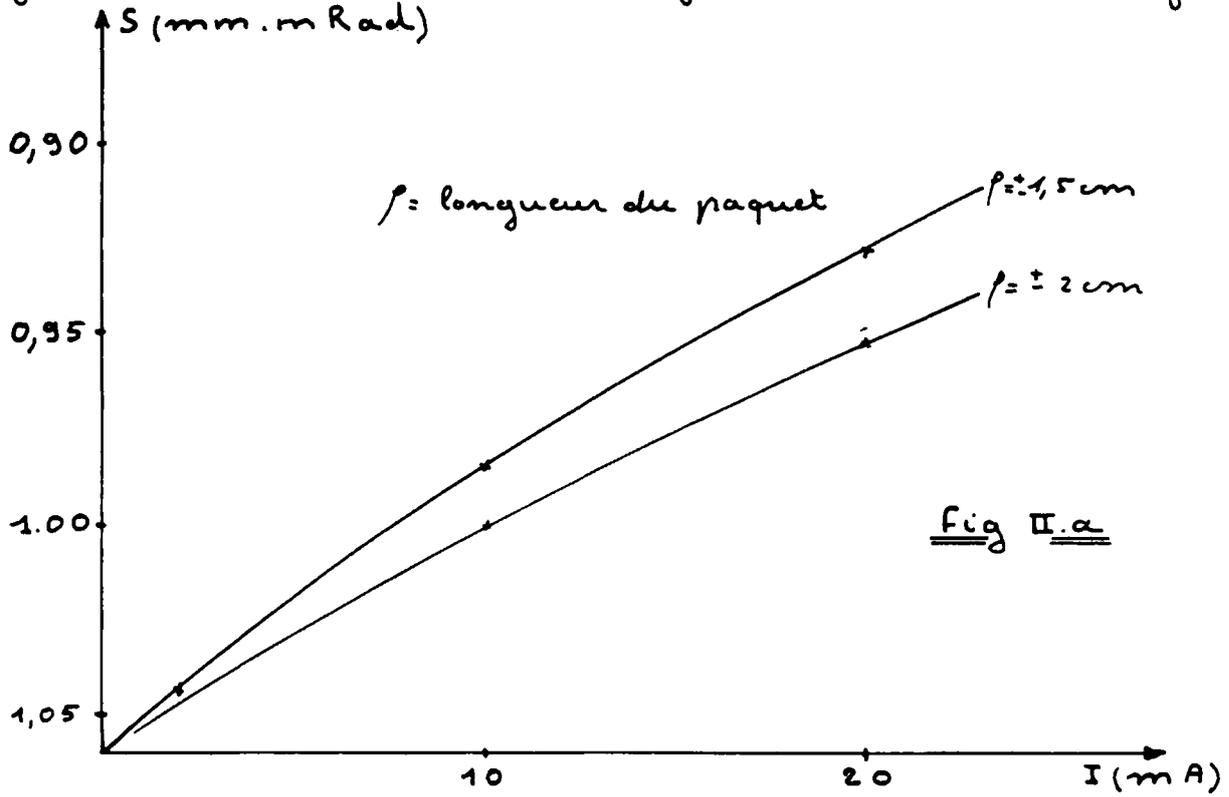


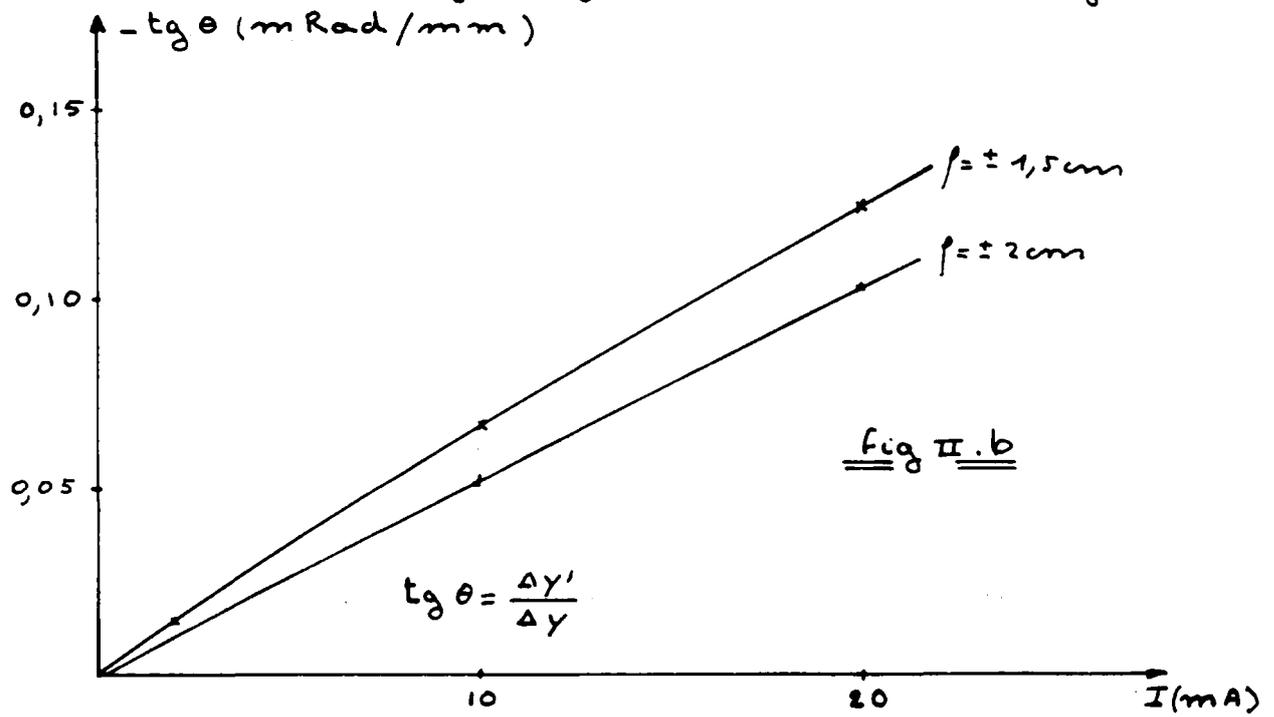
Fig I. b. Schéma de l'optique

L (longueur magnétique équivalente) = 0.308
 l (espace de glissement entre quadrupole) = 0.292

Surface de l'élément de mesure en fonction du courant de la fente diamétri-

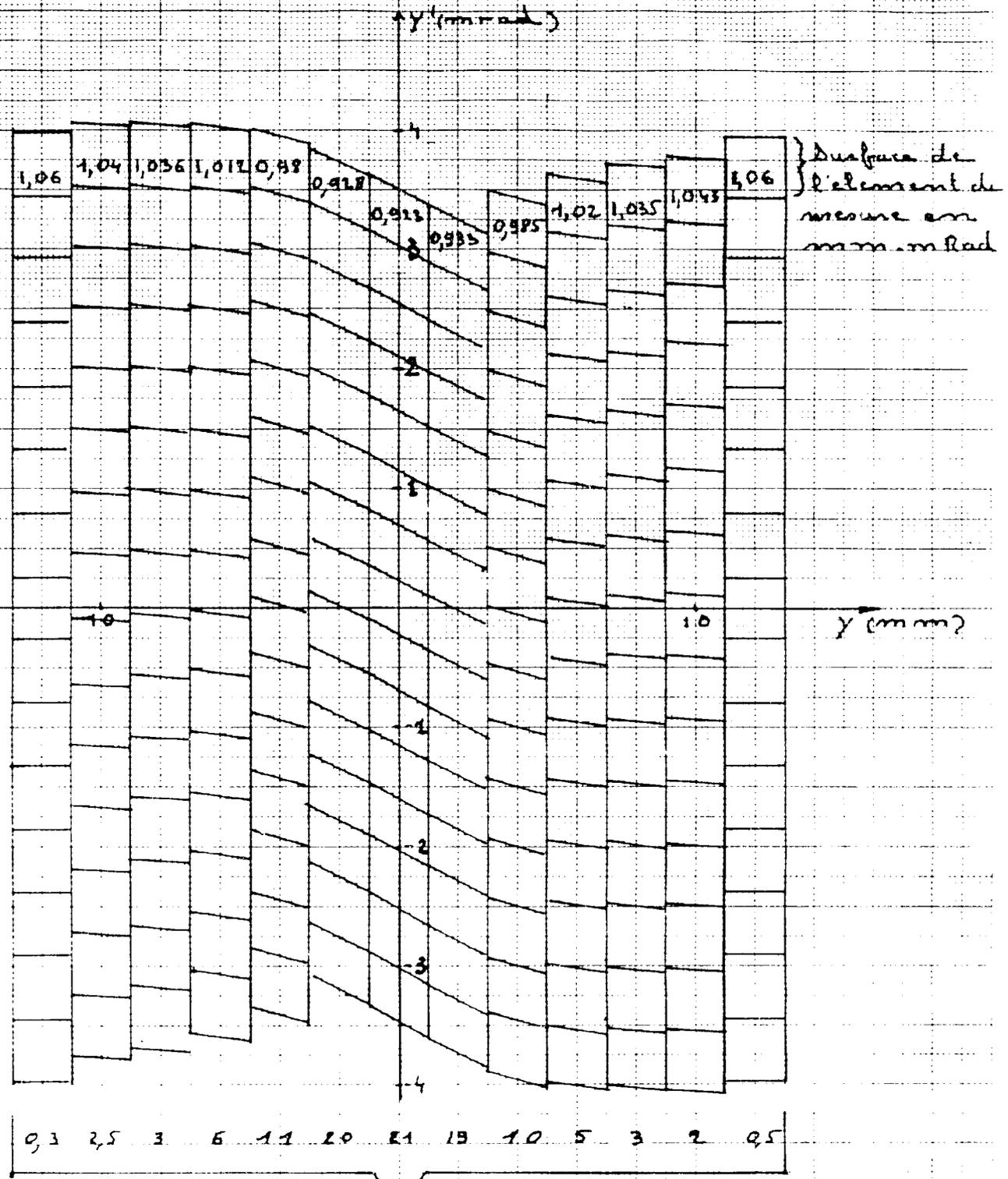


Pente de la limitation angle en fonction du courant de la fente diamétri-



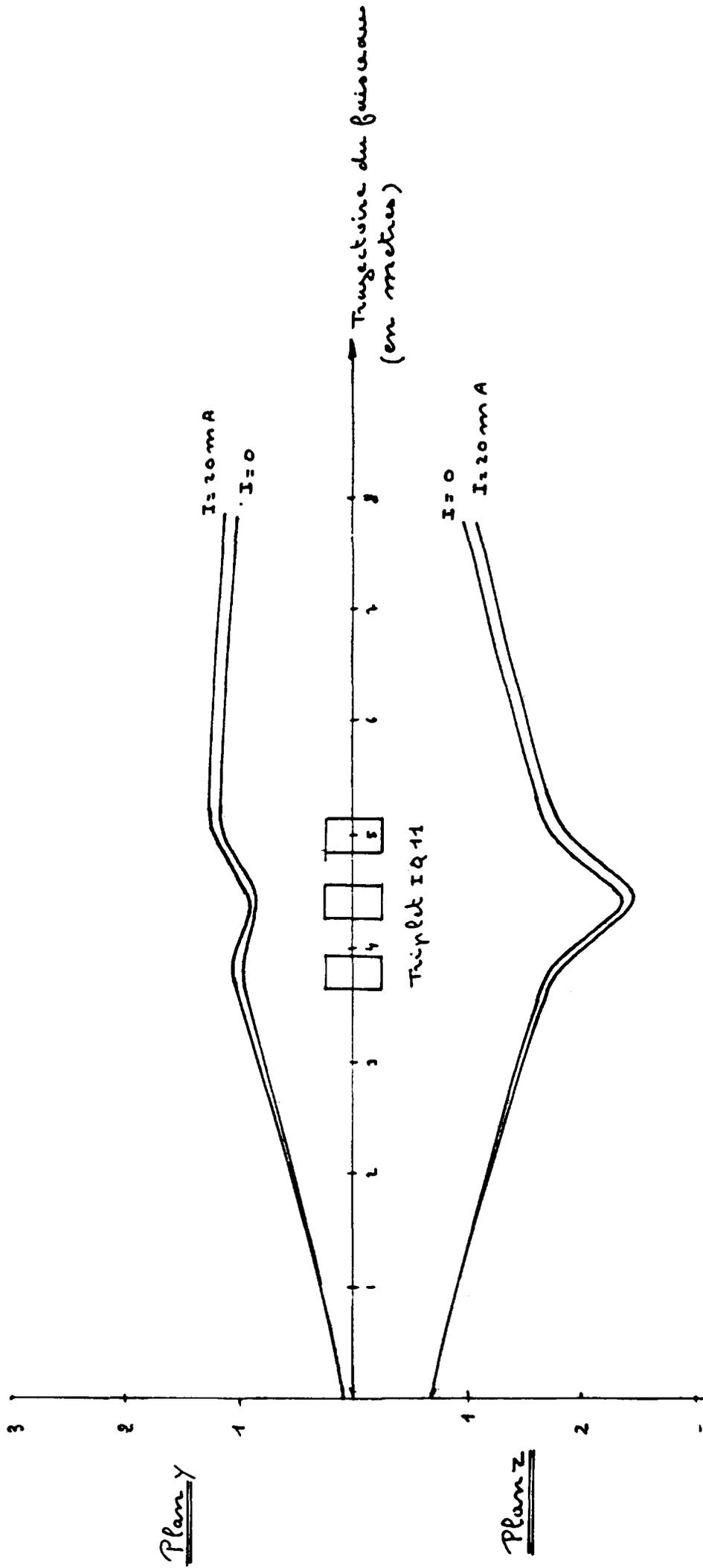
Appareil de mesure d'émittance avec charge d'espace

Plum y y' - épaisseur total 10,5 mm A
 longueur du paquet 115 mm



Repartition du courant suivant y pour la fente de 2mm
 1 cm mA.

Enveloppe du faisceau dans le plan de la mesure γ et dans l'autre plan z



Demi-longueur du faisceau
(en cm)

Fig IV

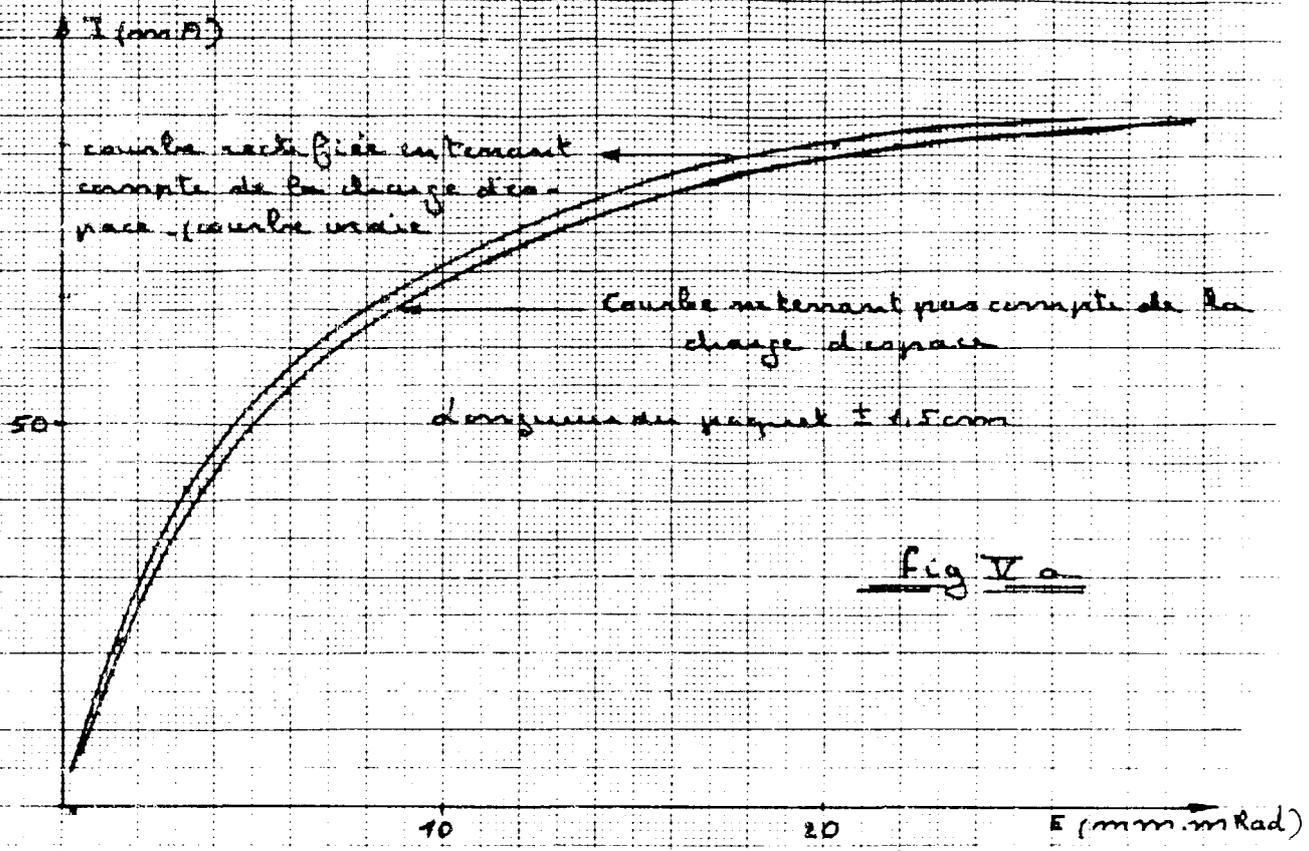


Fig V a

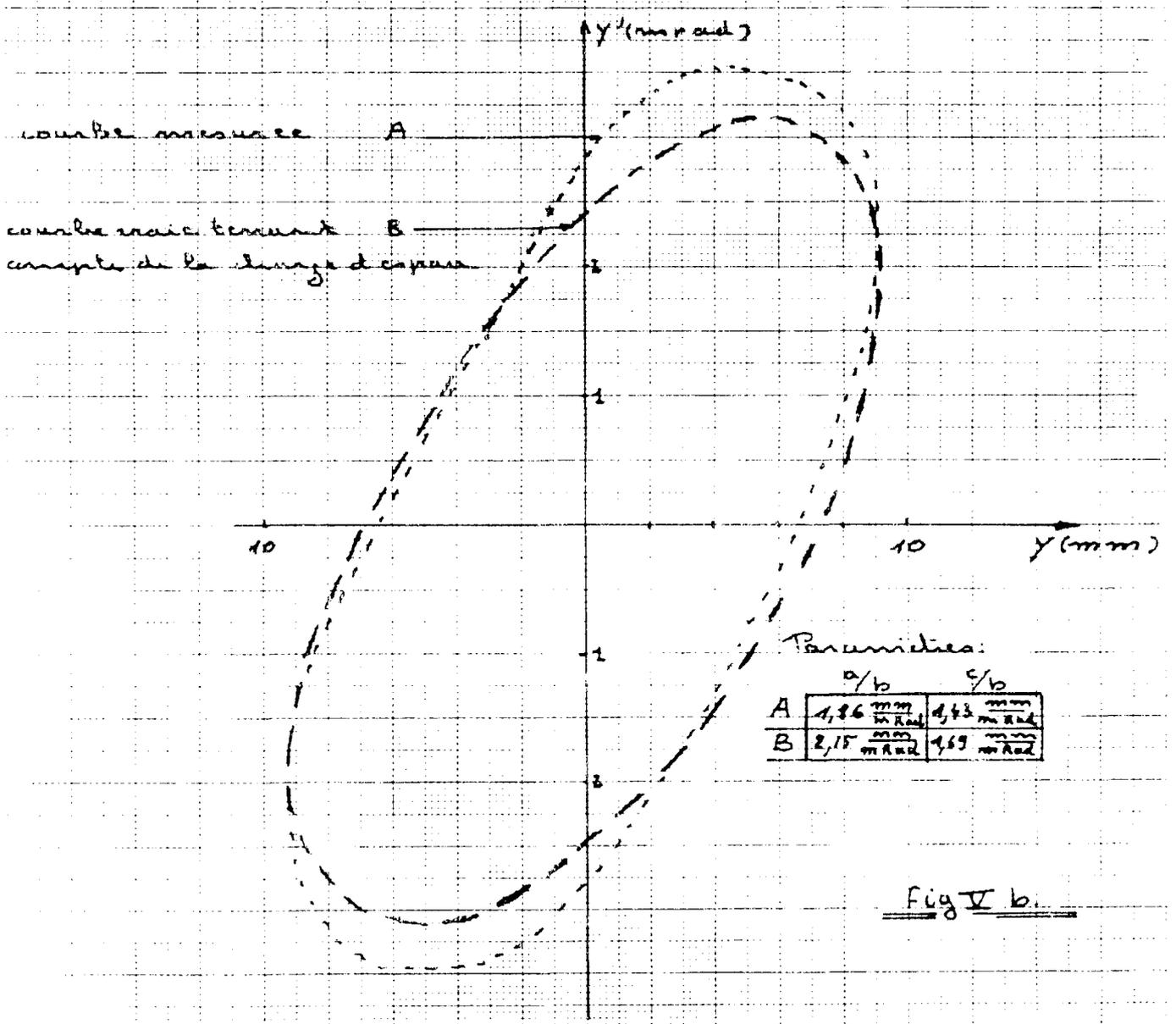


Fig V b.