

Emittance du faisceau Linac

1. Introduction

Les mesures dont il est rendu compte ont pour but la représentation des courbes de l'émittance du Linac à la sortie de la cavité III soit à une énergie de 50 MeV.

Nous exposons tout d'abord la méthode utilisée puis l'évolution de la mesure ces dernières années, ainsi que la précision que l'on peut en attendre à l'heure actuelle. Enfin, nous indiquons les résultats obtenus et en particulier comparons les émittances que nous avons avec l'ancien arrangement du transport du faisceau entre la colonne et la cavité I et celles que nous obtenons maintenant.

A l'aide de ces courbes et connaissant l'optique de l'infecteur on peut étudier :

- 1.1 Quelle partie du faisceau nous pouvons raisonnablement espérer accélérer (partie acceptée par le PS).
- 1.2 Quels sont les réglages qui permettent la meilleure adaptation au PS.
- 1.3 L'évolution du faisceau le long du Linac et la détermination d'éventuelles aberrations en rapport avec d'autres mesures effectuées à la sortie du pré-injecteur et de la cavité I.

2. Rappel

On introduit la notion d'espace de phase dans le but d'étudier l'évolution de l'ensemble du faisceau le long de sa trajectoire.

Si une particule est définie en position par trois coordonnées, dans l'espace de phase on a six dimensions : trois coordonnées de position et trois coordonnées de quantité de mouvement

Dans ce texte, nous supposons que les différents plans de l'espace de phase sont indépendants et nous nous intéressons uniquement aux plans yy' et zz' . (fig. 1).

Le contour de la courbe d'émittance étant en principe elliptique, l'émittance E est définie par le produit $a \times b$ (Fig. 1a).

Si A est l'aire de l'ellipse et E l'émittance, on a évidemment :

$$E = \frac{A}{\pi} = a \cdot b \text{ (mm} \cdot \text{mrad)}$$

Nous exprimons E en millimètres x milliradians, usuellement nous parlons de microradians.

Nous définissons aussi le rapport des axes :

$$\chi = \frac{b}{a} \text{ (m}^{-1}\text{)}$$

3. Principe de la mesure

L'exposé porte sur le plan yy' et il est aisé d'étendre ce qui est dit au plan zz' .

A l'aide d'une fente verticale de 2 mm, placée en BA 41 (fig. 2) on détermine dans le plan de phase une droite $y = c = \text{constante}$, puis on règle le triplet IQ 11 de telle façon que sa distance focale $F = D$ (distance entre le triplet et les volets BA 42). (Fig. IIa). Toutes les particules passant par la fente BA 41 et ayant un même angle seront focalisées en BA 42 à une distance de l'axe proportionnelle à cet angle. On aura donc une transformation d'angle en distance à l'axe (fig. 2a).

$$y' = \frac{d}{D} \quad y' \text{ en mrad ; } D \text{ en mètres ; } d \text{ en mm}$$

(pour toute particule parallèle à l'axe du Linac $y' = 0$).

Avec une fente (par exemple de 2 mm) en BA 42, on peut "balayer" le faisceau passant à travers la fente en BA 41 et déterminer ainsi les angles des particules. L'intensité du faisceau est mesurée à l'aide des transformateurs de courant se trouvant après chaque volet et répétant cette mesure pour différentes positions de la fente en BA 41 on obtient :

- a) le contour de l'émittance
- b) la répartition du courant à l'intérieur de l'émittance.

4. Historique

Les premières mesures de l'émittance du Linac étaient effectuées par une méthode exposée par M.G.N. Hine et B.W. Montague, laquelle se basait sur la supposition que la courbe d'émittance était une ellipse dans le plan des phases uniformément remplie par les particules. Bien que rapide, cette méthode avait le désavantage de ne pas révéler la forme exacte de la courbe. Les essais optiques dans la région de l'infecteur nous ont obligés à mieux connaître cette courbe (en forme et répartition de densité) et nous ont amenés à utiliser la méthode "point par point" exposée dans le paragraphe précédent.

Jusqu'au début de cette année, aucun test précis n'a été fait sur les possibilités de la mesure et la précision que nous pouvions en attendre. Nous avons simplement un moyen de contrôler de semaine en semaine les propriétés globales du faisceau injecté.

Depuis 1963, notre étude a porté sur deux points principaux :

- a) connaître la précision de la mesure et l'améliorer si possible,
- b) prévoir un système permettant de la faire plus rapidement.

5. Etude de la mesure

5.1 Détermination de la définition

Lors des premières mesures nous prenions une fente de 2 mm en tenant compte de 2 facteurs contradictoires :

- a) avoir une fente suffisamment étroite en position et en mesure d'angle pour obtenir une bonne définition,
- b) la choisir assez large pour diminuer l'effet de dispersion (scattering) sur la mesure ainsi que l'imprécision des volets quant à la détermination de la fente.

Des essais ultérieurs dont nous rendons compte plus loin nous ont en effet conduits à garder 2 mm comme largeur de fente.

À la sortie de la cavité III. le faisceau a un diamètre horizontal de l'ordre de 26 mm et vertical de 22 mm, avec des déplacements successifs de 2 mm on obtient donc un nombre de points de mesures à peu près égal à 10. Les angles sont compris entre 1 et 5 mrad. La distance triplet IQ 11 volet BA 42 étant 3,20 m (distance focale de IQ 11). Nous pouvons, à l'aide de notre fente de 2 mm, déterminer les angles à partir de $\frac{2}{3200} = 0,625$ mrad ; ce qui nous donne environ 8 points de mesure.

La définition dans le plan de phase est donc de :

$$2 \times 0,625 = 1,25 \text{ } \mu\text{rad}$$

Sur une émittance totale de 40 μrad représentant une surface de $40 \times \sqrt{\quad} \mu\text{rad} = 125,6 \mu\text{rad}$. cela représente à peu près 1 % de la surface totale du faisceau dans le plan de phase.

Afin d'améliorer la définition d'une part et de comparer la même mesure faite avec des paramètres différents d'autre part, nous avons utilisé BA 43 comme volet de mesure de l'angle, à ce moment la distance triplet-volet était portée à 7,5 m soit une définition de :

$$2 \times 0,265 = 0,53 \text{ } \mu\text{rad}$$

Les résultats comparatifs suivants ont été obtenus (voir fig. 3).

Volet mesurant l'angle	BA 42	BA 43
E pour 100 % du faisceau	45,5 μ rad	46 μ rad
E pour 95 % du faisceau	28 μ rad	28,2 μ rad

On obtient des résultats à peu près identiques en surface mais si l'on tient compte des différences point-à-point, on s'aperçoit que l'on peut trouver des différences de l'ordre de 2 %.

Sachant que pour une fente sur le diamètre on a :

$$I_{\text{moy}} = \frac{1}{2} \int_{y_1 - 1}^{y_1 + 1} b(y) dy$$

ou I_{moy} est la densité moyenne de courant entre $y_1 - 1$ et $y_1 + 1$

$b(y)$ la densité en fonction de y .

Le courant total est obtenu en additionnant toutes les densités moyennes et en les multipliant par la largeur de la fente.

Le même procédé est appliqué pour représenter la répartition du courant par rapport aux angles.

A partir de la fonction escalier obtenue à l'aide des mesures, on peut construire la fonction $b(y)$ à 1 % de précision en ce qui concerne la surface.

5.2 Détermination de la précision des mesures

Le système mécanique ne permet pas à l'heure actuelle d'avoir une fente dont la largeur soit plus précise que le 1/10 de mm soit ± 10 % d'imprécision.

Afin de déterminer l'action de ce paramètre, nous avons mesuré la répartition du courant suivant un axe en utilisant trois fentes 1,5 mm \pm 10 % ; 2 mm \pm 10 % ; 2,5 mm \pm 10 % (voir fig. 4).

Nous avons déterminé la courbe $\frac{b(y)}{I_{\max} \text{ BM } 42} 100$ pour chaque valeur de fente, en portant en ordonnée le courant en pourcent du courant maximum obtenu. Enfin, nous avons cherché la largeur du faisceau pour 100 % ; 95 % ; 80 % et 50 % de son intensité.

Les courbes extrêmes (en pointillé pour 1,5 mm, en trait plein pour 2,5 mm) donnent les résultats suivants :

% intensité	Largeur de la fente		
	1,5 mm	2 mm	2,5 mm
100 %	24,4 mm	25 mm	25,2 mm
95 %	17 mm	17,3 mm	17,5 mm
80 %	14,5 mm	14,8 mm	15 mm
50 %	5,4 mm	5,5 mm	5,6 mm

Nous obtenons donc des erreurs de l'ordre de 2 %. On voit que les résultats obtenus avec des fentes différentes sont à peu près les mêmes quant à la répartition de densité (détermination de la forme de $b(y)$).

Une plus grande différence existe dans les valeurs de I_{moy} mesurée avec différentes fentes. Ceci est dû à l'effet de dispersion (scattering) et nous jugions utile d'examiner ce problème un peu plus loin.

Nous pouvons donc faire une mesure valable de répartition du courant avec une fente dont la largeur est connue avec une précision de 10 %.

5.3 Dispersion (scattering)

Nous avons monté dans notre volet (et ce pour la durée de la mesure) une fente de 2 mm fraisée dans une pièce de nickel de 6 mm d'épaisseur et nous avons mesuré la répartition en diamètre.

Il est bien évident qu'à ce moment en faisant la somme du courant obtenu par les déplacements successifs de la fente nous devions en l'absence de dispersion trouver la même valeur de courant que celle mesurée avant le volet.

Nous avons refait cinq fois l'essai. Le courant total du Linac était de 50 mA. Nous avons obtenu les résultats suivants : 53,37 mA ; 52,85 mA ; 53 mA ; 53,35 mA et 52,95 mA soit une valeur moyenne de 53,1 mA. Donc une différence de 6 % avec le courant du Linac.

Au point de vue diamètre, cette erreur intervient assez peu puisqu'on est intéressé par la forme de la courbe et non par la valeur absolue mais les particules ayant subi le "scattering" n'ont plus à la sortie de la fente ni la même énergie ni surtout le même angle et risquent donc d'être focalisées par le triplet d'une façon différente des particules normales. Ceci donne une imprécision dans la répartition en angle du faisceau.

Si l'on fait des mesures d'émittance avec des fentes de diamètres variant de 1,5 mm à 2,5 mm, on trouve des différences de l'ordre de 2 % alors que le "scattering" représente à peu près 8 % pour la fente de 1,5 mm et 5 % pour la fente de 2,5 mm.

6. Résultats des mesures

Lors des mesures nous avons pu constater que l'émittance du Linac variait durant les 10 μ sec de l'impulsion (en fait l'émittance reste à peu près constante mais le rapport des axes varie en fonction du temps). Les figures ci-jointes nous donnent la courbe circonscrite aux différentes émittances partielles.

Nous pouvons diviser en deux parties les résultats obtenus.

- a) Mesures faites avant février 1963 : transport du faisceau source-Linac constitué par deux triplets de 36 mm d'ouverture. Le premier placé après la colonne, le second avant le Tank I, le courant moyen du Linac était alors de l'ordre de 40 mA.
- b) Résultats obtenus après avril 1963 : le transport du faisceau a été ré-arrangé en utilisant un nouveau triplet de 40 mm d'ouverture,

placé dans la dernière électrode de la colonne haute tension et le second triplet directement accolé au Tank I. Nous obtenons maintenant des courants de l'ordre de 55 mA.

Pour les mesures effectuées avant la période d'arrêt (fig. 5 et 6) nous ne possédons que l'émittance totale soit pour 100 % du faisceau. Pour les résultats obtenus après la période d'arrêt à l'aide de la mesure des densités exposées auparavant, nous avons :

- l'émittance pour 1) 100 % du faisceau ; 2) 95 % du faisceau
- le diamètre du faisceau pour 100 %, 95 %, 80 % et 50 % de l'intensité.

Avant de considérer les traits principaux de ces mesures, il est bon de savoir que le rapport angle maximum/diamètre maximum peut être changé à l'aide de la focalisation des cavités II et III.

De toutes ces mesures dont les résultats comparatifs sont donnés ci-après on peut dégager les traits principaux (voir fig. 5, 6, 7 et 8).

- 6.1 Après l'arrêt du mois de février-mars, pour une augmentation de courant de l'ordre de 35 %, nous avons une émittance qui a augmenté de 10 % dans le plan y et 25 % dans le plan z.
- 6.2 Avant l'arrêt de février-mars, les émittances obtenues étaient difficilement assimilables à des ellipses et si nous avions dû tracer une ellipse circonscrite à la courbe nous aurions obtenu des émittances assez équivalentes à celle que nous obtenons maintenant avec un faisceau beaucoup plus intense.
- 6.3 En prenant 95 % du faisceau nous voyons que l'émittance diminue de 35 à 40 % et qu'elle est de l'ordre de 30 μ rad qui représente en principe l'acceptance du PS.

7. Conclusion

Nous pouvons maintenant obtenir chaque quinzaine une mesure nous montrant l'état du faisceau du Linac et en particulier la mesure de la répartition indique l'état interne de ce dernier. Au cours des prochains mois, nous allons développer un système permettant en quelques minutes de faire cette mesure et ainsi de pouvoir vérifier la qualité du faisceau à tout moment et en particulier en cas de doute. Cette mesure jointe à celle de la dispersion en énergie des particules émise par l'accélérateur linéaire indiquera l'état intrinsèque du faisceau et ses possibilités de capture par l'infecteur et le PS.

J'aimerais remercier Messieurs C.S. Taylor et M. Weiss pour leurs précieux conseils.

8. Références

E. Regenstreif "Le Synchrotron à Protons" - 2e partie : "L'injection des particules".

N. Marshall-King "Theoretical Techniques of High Energy Beam Design".

Pierre TETU

Distribution : (ouverte)

Personnel scientifique et technique du MPS

Messieurs M.G.N. Hine
K. Johnsen
P. Lapostolle
B.W. Montague
L. Resegotti
W. Schnell

Fig. 1

Axes de référence

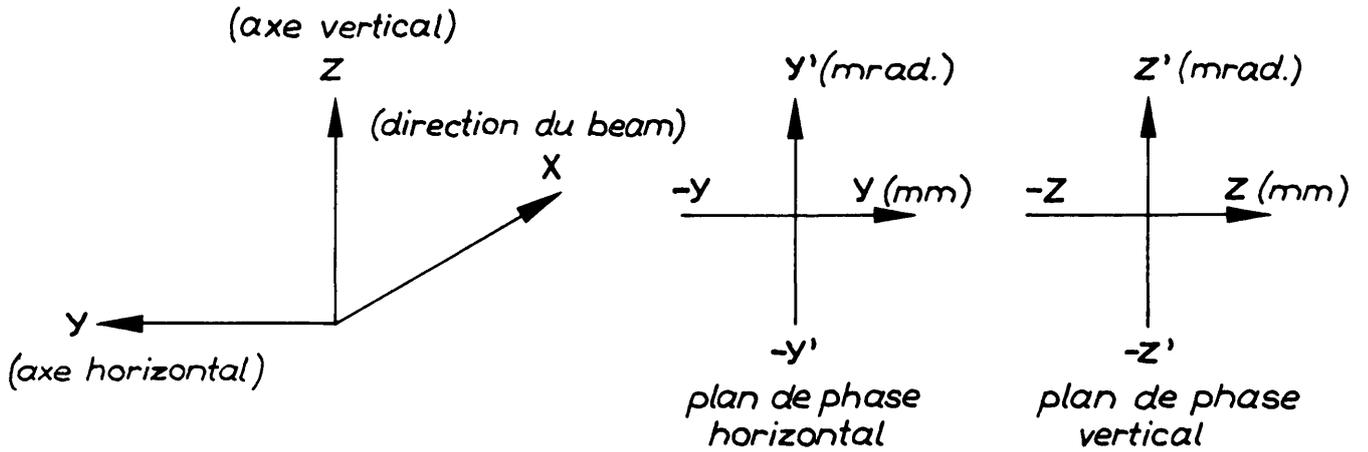


Fig. 1a

définition de l'émittance

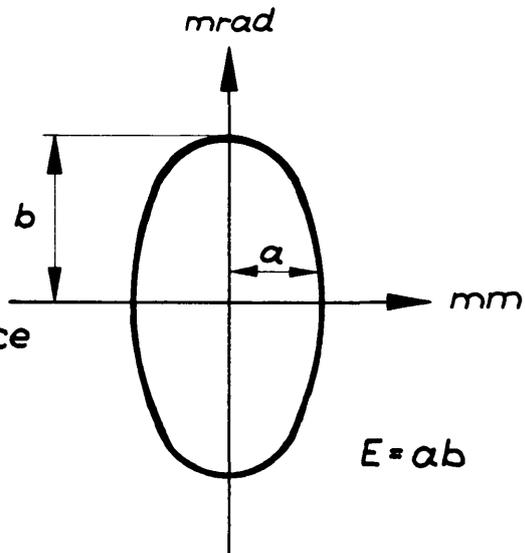
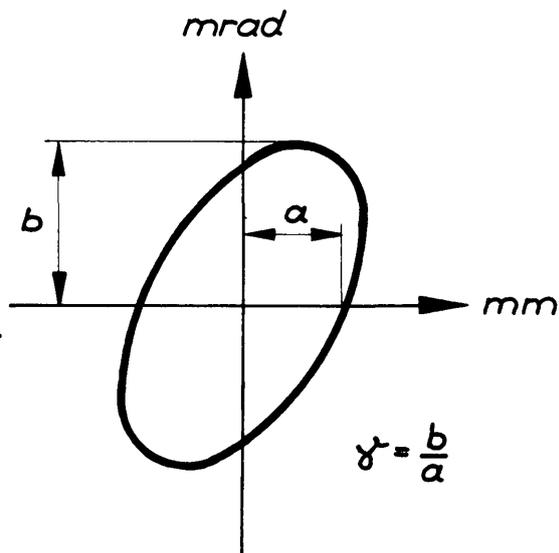


Fig. 1b

définition du rapport des axes



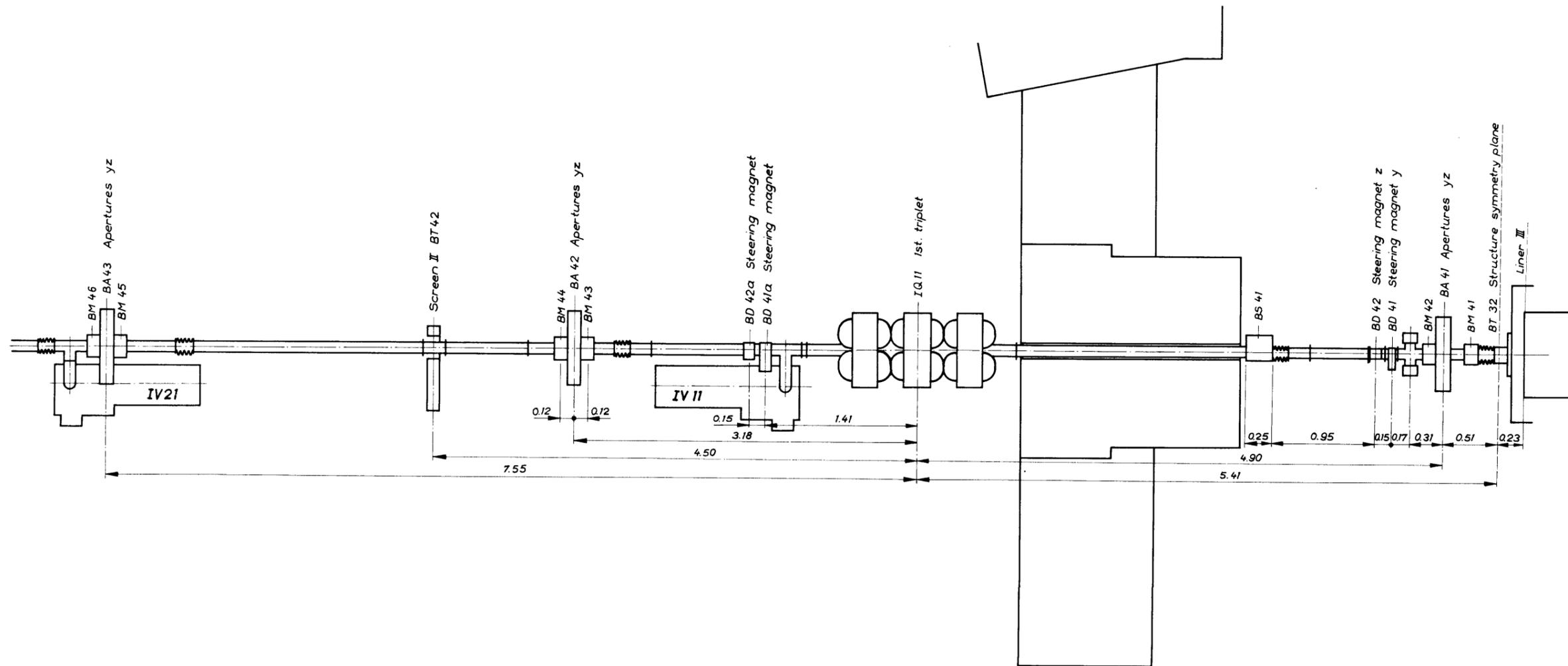
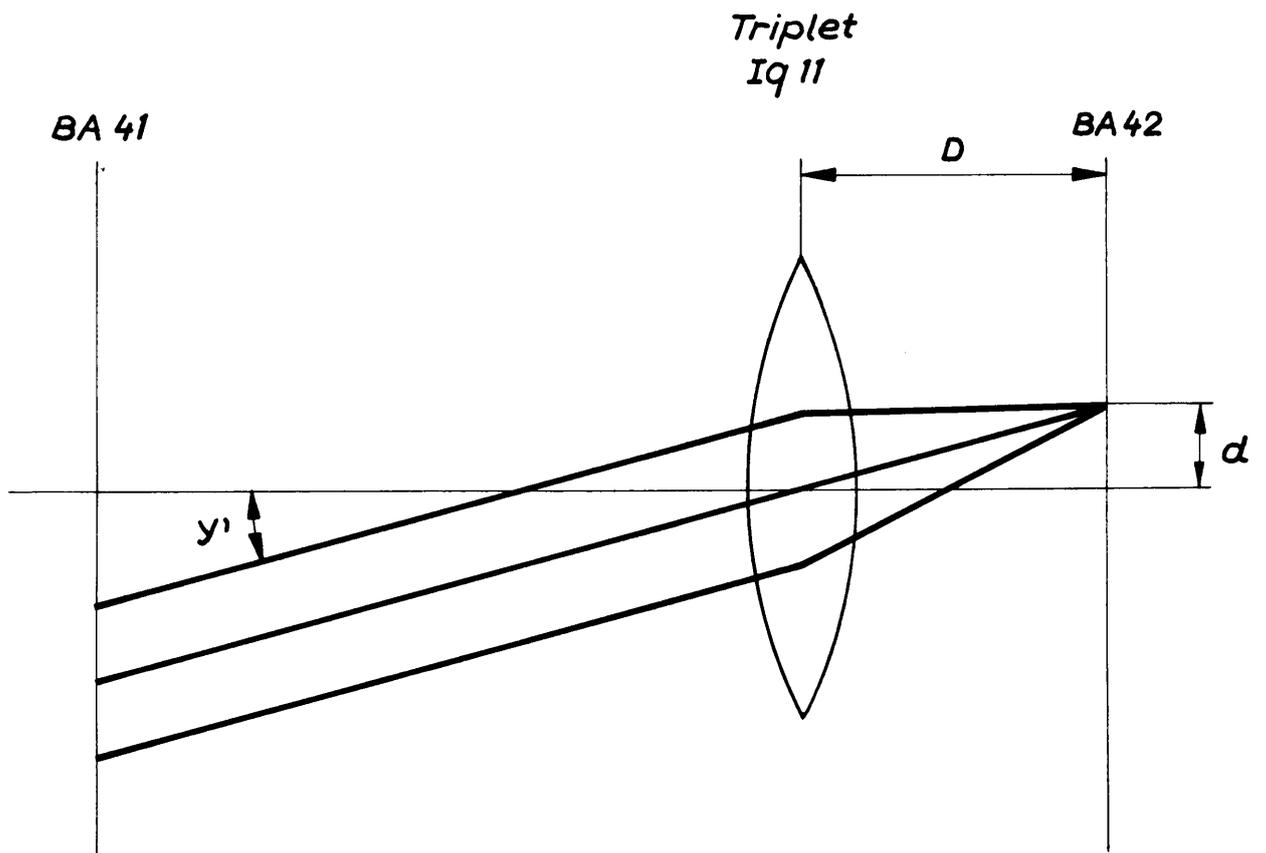


Fig. 2

Inflecteur -
Disposition de l'appareillage
utilisé pour la mesure

Fig. 2a



Ajustage du triplet
 $f = D$, alors $y' = \frac{d}{D}$

Mesure effectuée avec BA42 comme volet mesure d'angle

Mesure effectuée avec BA43 comme volet mesure d'angle

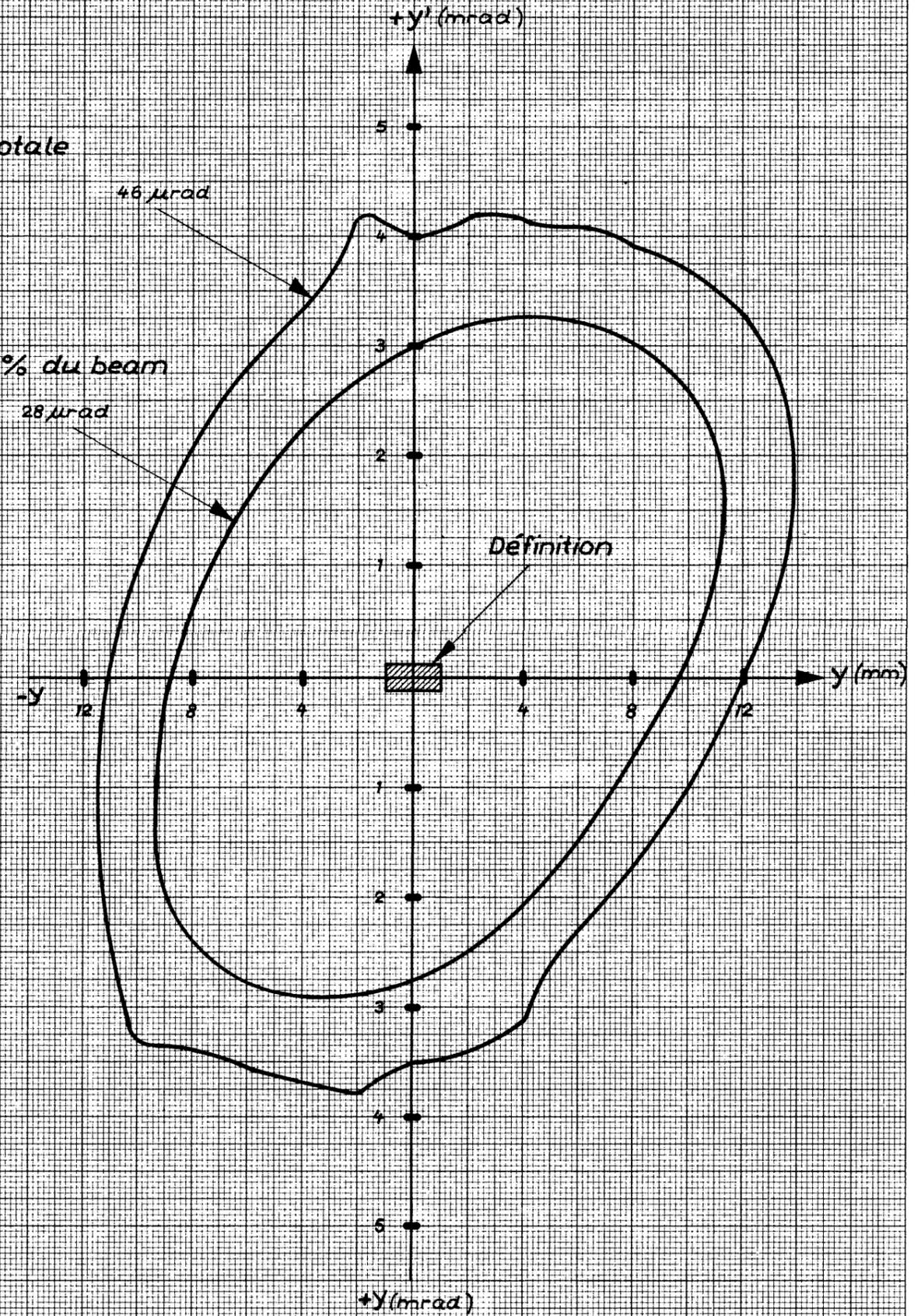
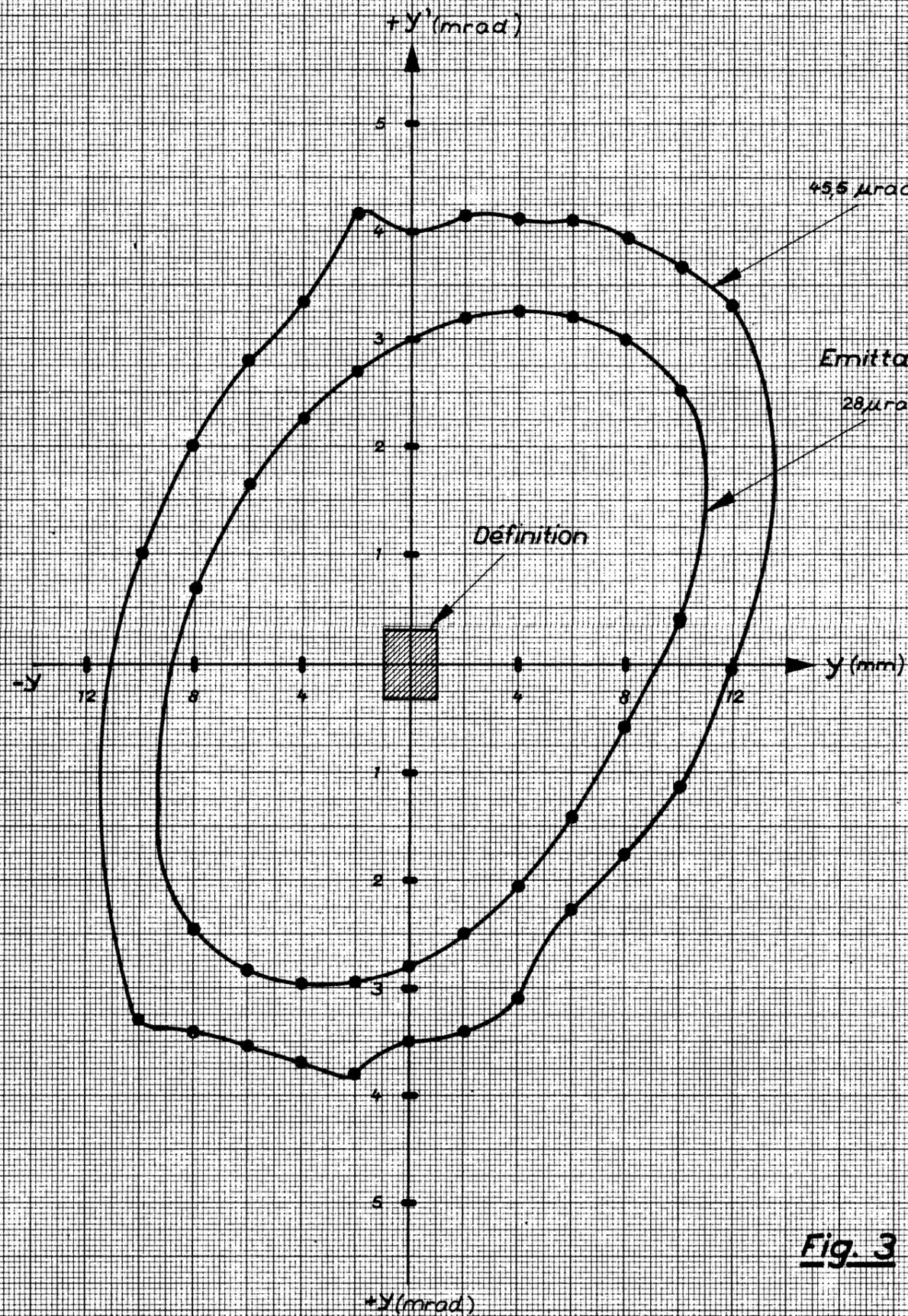


Fig. 3

Fig. 4

Répartition du faisceau en fonction de la largeur de la fente.

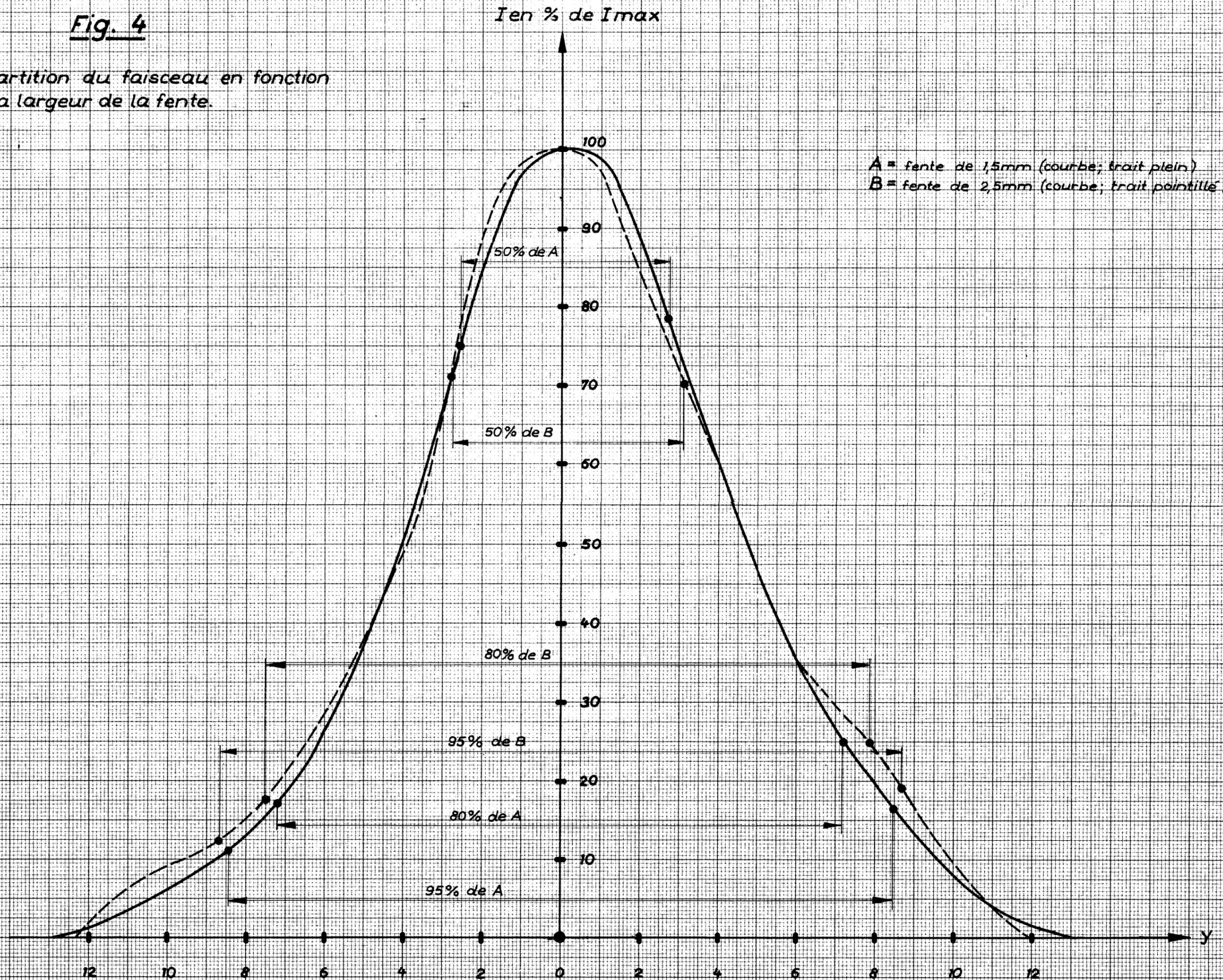


Fig. 5

Emittance du linac
le 17-12-63

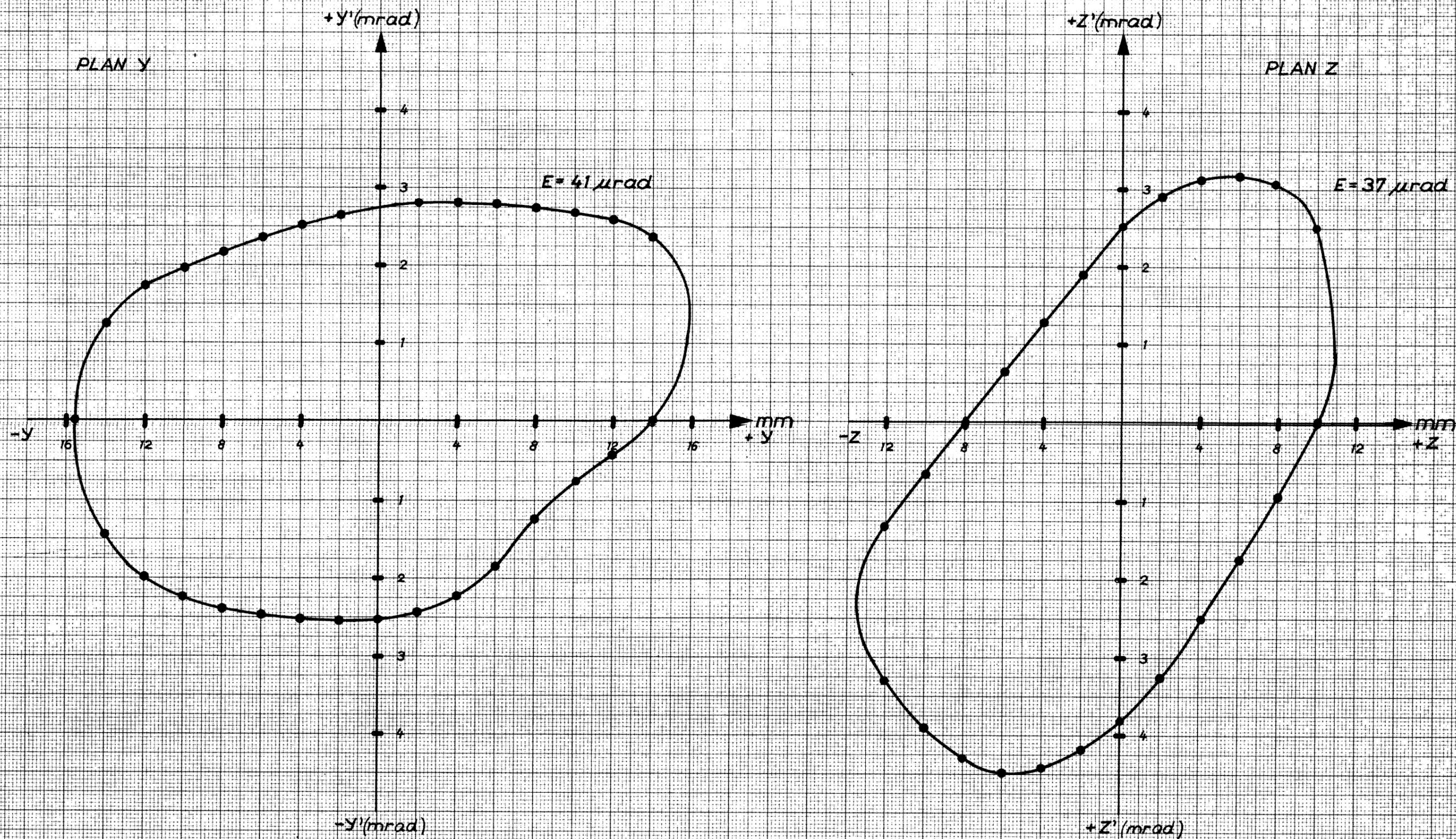


Fig. 6

$I_{BM42} = 39 \text{ mA}$
MESURE D'EMITTANCE

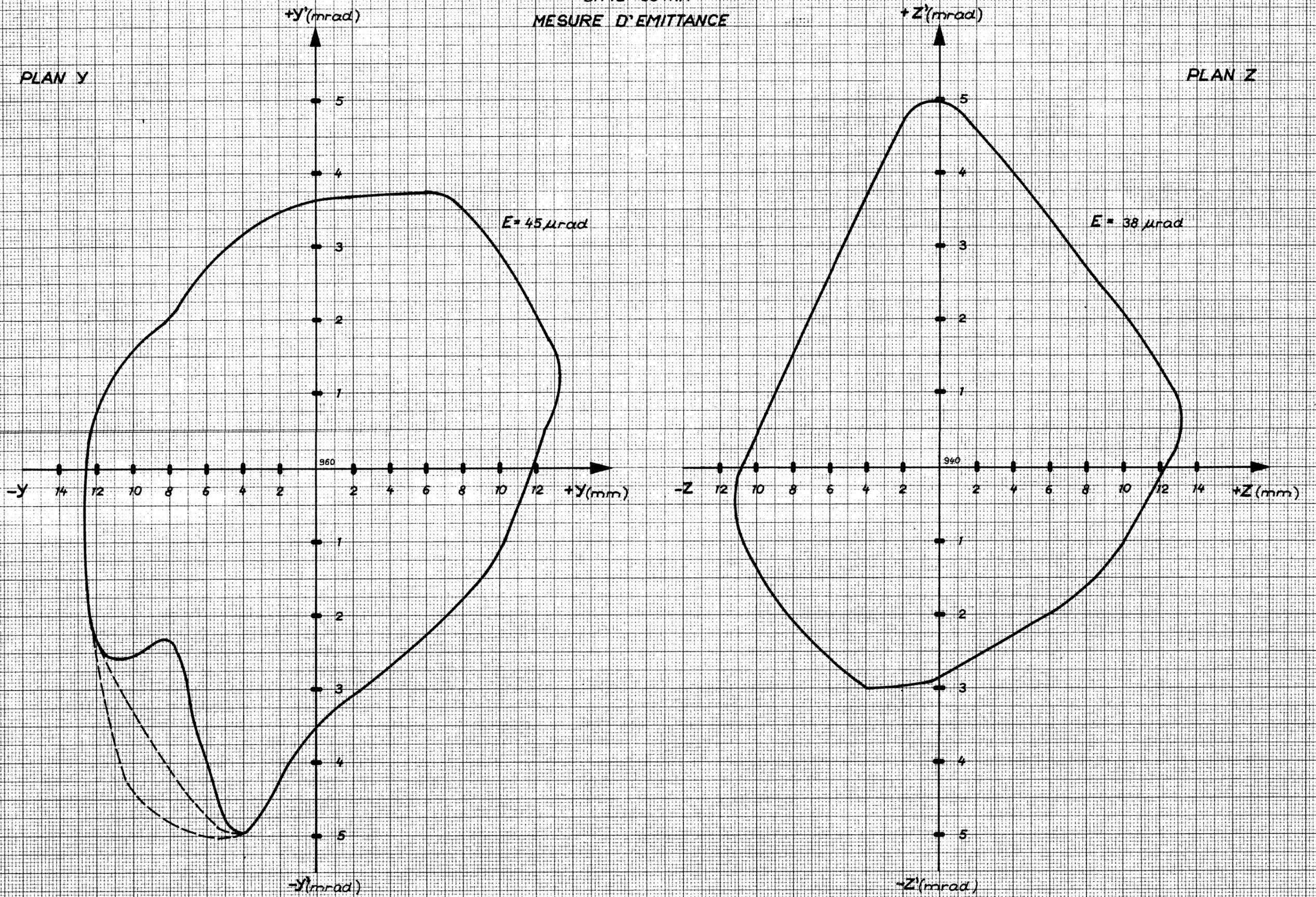
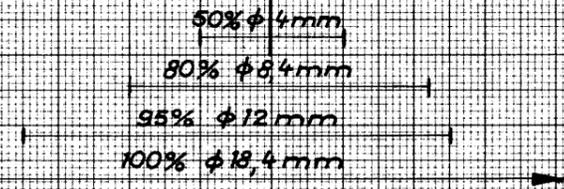
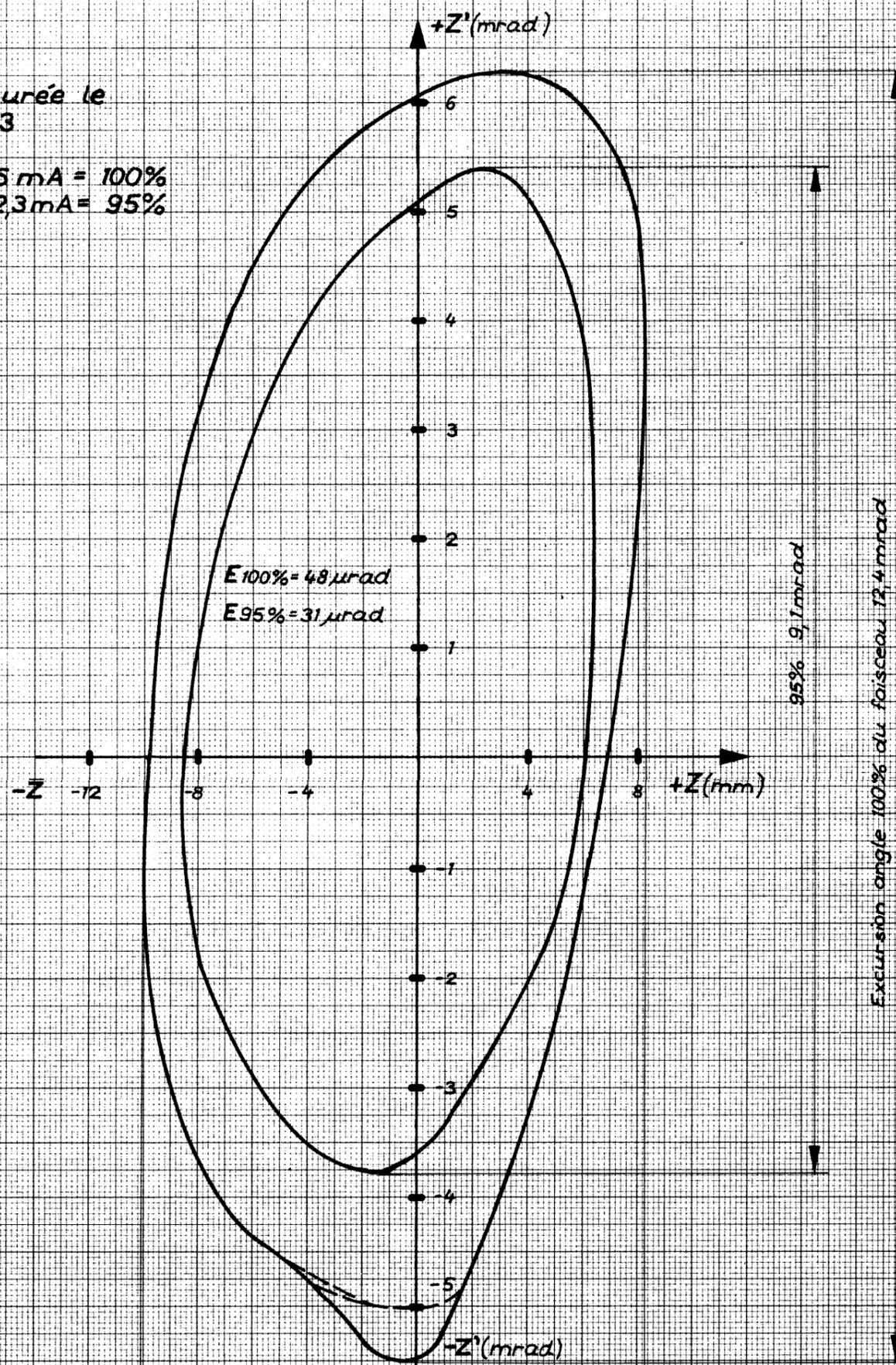
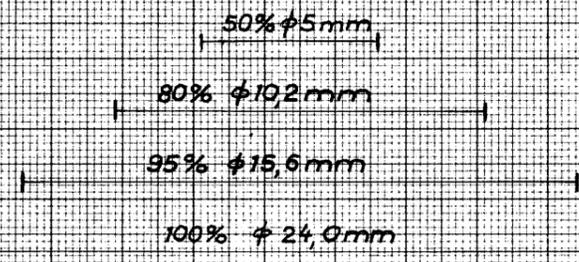
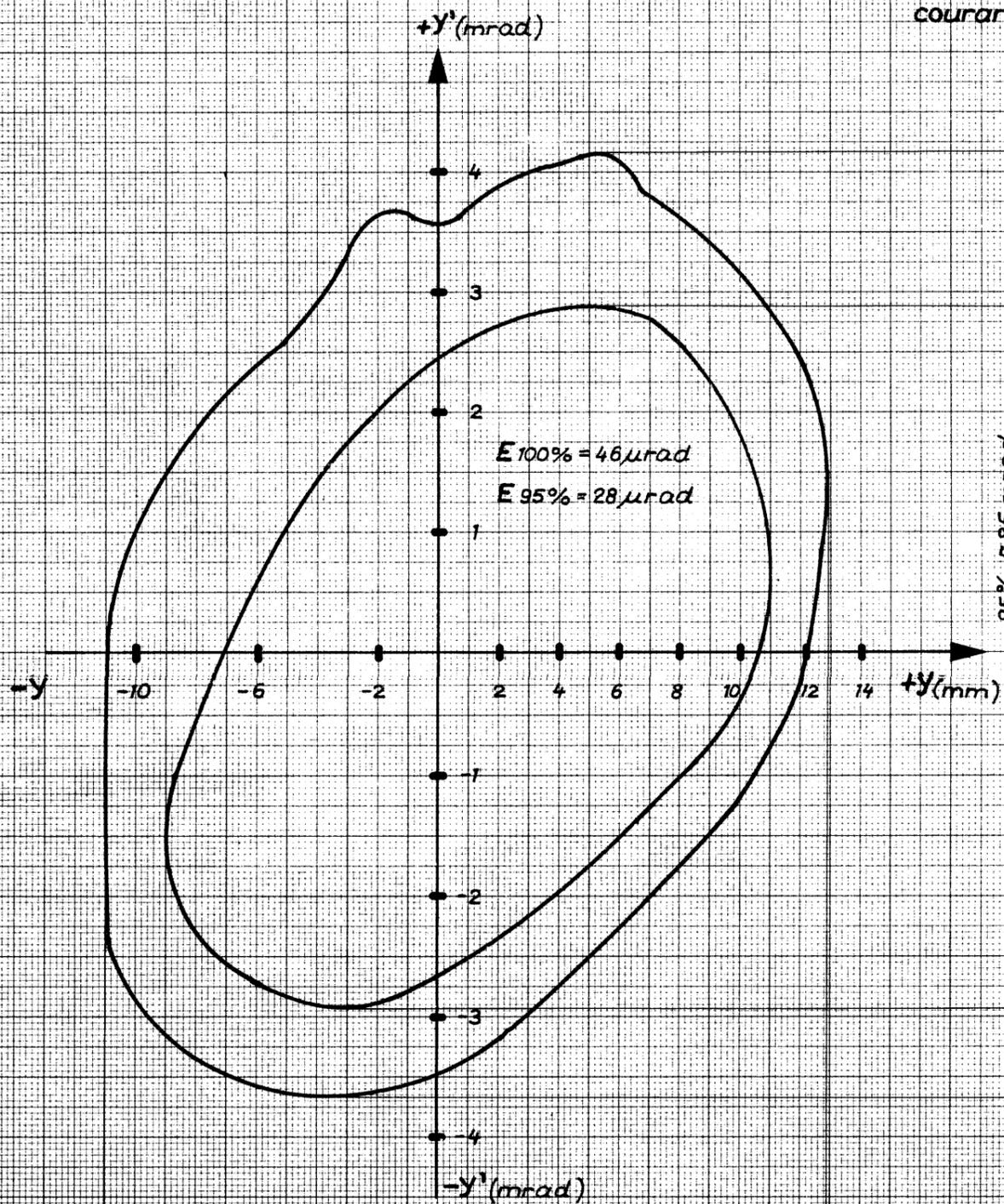


Fig. 7

Emittance mesurée le
22-4-63

courant linac 55 mA = 100%
52,3 mA = 95%



Excursion angle 100% du faisceau 7,8 mrad

Excursion angle 100% du faisceau 12,4 mrad

Fig. 8

Emittance mesurée
le 11-5-63

courant linac 50mA = 100%
47,5mA = 95%

