

MESURES DES DIMENSIONS VERTICALES DU FAISCEAU DU PS

E. Brouzet, C. Johnson, P. Lefèvre

BUT

1. Comparaisons entre les dimensions verticales à haute énergie mesurées par les cibles et celles mesurées par l'IBS.
2. Evolution de l'émittance verticale au cours de l'accélération.

PRINCIPE DES COMPARAISONS

Les mesures par cible imposent des comparaisons sur des paliers au dessus de 8 GeV (de 10 à 24 GeV).

MESURES PAR CIBLES

Deux types de cibles sont employés : cible machoire d'écartement 7 mm en section 68 et cibles en L en section 24.

Cible machoire 68 (Ref. 1)

Pour le faisceau centré dans la cible (avec le dipole vertical 34) un certain pourcentage η du faisceau est enlevé (RF enclenchée).

Avec l'hypothèse d'une densité Gaussienne dans le plan de phase on en déduit la dimension à 95% du faisceau en section focalisante verticale :

$$d_{\text{mm}} = 7 (\text{Log } \eta / \text{Log } 0.05)^{\frac{1}{2}}$$

Cibles L 24

Les deux cibles (TOP et BOTTOM) sont centrées par rapport au faisceau. On peut noter le pourcentage enlevé en fonction de l'écartement entre les deux cibles et mesurer directement (ou interpoler) l'écartement correspondant à 5% de perte, c'est-à-dire la dimension en section focalisante verticale correspondant à 95% du faisceau.

MESURES PAR L'IBS (Ref.2)

L'IBS est placé en section 38.

La fréquence de balayage employée de 3 kmz donne des temps de balayage de 165 μ s à travers l'ouverture verticale du PS et de 15 à 50 μ s à travers le faisceau suivant la dimension de celui-ci. La largeur de bande de transmission des signaux de 10 Hz à 250 kHz donne un profil raisonnable avec peu de structure en temps; à l'injection une modulation de 15% sur le profil est due à la structure en paquets tandis qu'à haute énergie la seule structure visible correspond à la fréquence de révolution (différence entre paquets).

Le profil (densité projetée en fonction de la position dans la chambre à vide) se présente sur l'écran d'un oscilloscope dont le décalage vertical des traces montre l'évolution en fonction du temps. L'intensification du signal pendant .3ms permet de sélectionner deux profils consécutifs par impulsion du PS, et une exposition multiple présente sur la même photographie cinq impulsions PS consécutives.

L'élargissement instrumental du profil doit être soustrait pour obtenir la dimension. Celui-ci, difficile à calculer, a été mesuré expérimentalement en photographiant le même faisceau avec différents ajustements de la résolution spatiale. Sur une grande plage l'élargissement est une fonction linéaire de la tension ajustant la résolution spatiale (Fig. 1), et l'extrapolation pour une tension nulle (résolution maximum) donne la vraie dimension du faisceau. La pente de cette droite donne l'erreur d'élargissement pour tout réglage de tension à soustraire de la dimension mesurée.

Interprétation des photos : la dimension du faisceau est caractérisée par la distance à la base entre le pied des tangentes d'inflexion.

ERREURS DE MESURE ET PRECISION

IBS (pour un profil de 10 mm)

- Erreur systématique :
 - calibration 5%, $\pm .25$ mm
 - résolution spatiale $2.2 \pm .2$ mm
 - systématique totale $\pm .45$ mm

- Erreur aléatoire
 - tracé des tangentes $\pm .3$ mm
 - lecture $\pm .3$ mm
 - aléatoire total $\pm .45$ mm

- Mesures relatives
 - précision $\pm .45$ mm soit $\pm 5\%$

- Mesure absolue
 - précision $\pm .9$ mm soit $\pm 10\%$

Cible 68 (7 mm)

- Erreur systématique
 - écartement et rebondissement ± 0.1 mm soit pour 10 mm $\pm 1\%$.

- Erreur de lecture
 - On apprécie le pourcentage η : $\delta\eta = 1\% \frac{\delta\eta}{\eta} = 1/5$
 - quelle que soit la répartition l'erreur correspondante en dimension est inférieure à 3% (correspondant à 10 mm et une répartition Gaussienne) pour une perte de 5% sur la cible.

- Précision absolue à $\pm 2.5\%$.

Cible 24 à écartement variable

Les erreurs supplémentaires sont dues à l'écartement, à sa mesure et à la méthode de centrage du faisceau.

On peut apprécier au total à $\pm 5\%$ la précision de la mesure.

RESULTATS DES MESURES COMPARATIVES

Résumées dans le tableau Annexe 1.

Energies : 10, 14, 19, 21, et 24 GeV/c

1. Comparaisons Cibles 24 - Cible 68

Dans tous les cas les dimensions mesurées, dans les mêmes conditions, (même en présence de résonance et pour des pourcentages perdus importants sur la cible machoire) concordent à $\pm 5\%$.

Ceci montre en particulier que la méthode employée pour le calcul de la dimension à 95% dans la mesure avec la cible machoire est dans cette comparaison acceptable.

2. Comparaisons Cibles - IBS

Les dimensions (95% pour la cible et pied des tangentes pour l'IBS) concordent à $\pm 5\%$.

Cependant si le faisceau se trouve sur une résonance la mesure avec l'IBS donne une dimension 30% à 40% plus petite que celle déterminée avec les cibles.

3. Comparaison cibles 24 - IBS d'un faisceau limité à 7 mm par la cible 68

Cette limitation intervient dès le début du palier. Le faisceau est ensuite mesuré par les deux méthodes à différents moments sur le palier.

La dimension à 95% donnée par les cibles 24 est dans tous les cas $7.0 \text{ mm} \pm 0.1$.

Celle obtenue par interprétation des photos de l'IBS (pied des tangentes) est :

- 7.5 à 8 mm pour un faisceau d'intensité $130 \cdot 10^{10}$
- 7.0 mm pour un faisceau dont l'intensité est limitée à $70 \cdot 10^{10}$ par des volets à l'injection.

Dans ce cas l'IBS montre donc un fort gonflement apparent pour les fortes intensités .

4. Un essai fait avec la cible 24 limitant le faisceau à environ 6 mm montre aussi un gonflement apparent.

Par contre la cible 68 laissée pendant l'accélération (et non sur le palier) depuis 8 GeV, l'IBS mesurant pendant l'accélération, donne des résultats normaux.

EVOLUTION DES DIMENSIONS EN COURS D'ACCELERATION (Figs. 2 et 3)

Mesurée avec l'IBS à différentes énergies et position radiales, pour des intensités de $1.6 \cdot 10^{12}$ et $.8 \cdot 10^{12}$, ces dimensions verticales sont données en mm vrais en section paire (focalisante verticalement) c'est-à-dire en mm normalisés.

EVOLUTION DES EMITTANCES NORMALISEES (Figs. 4, 5 et 6)

Ces mêmes valeurs ont été traduites en termes d'émittance :

$$\bar{E}_v = (\beta\gamma) \pi \frac{d_{tg}^2}{\beta_{38}}$$

Dans tous les cas un grossissement régulier, entre 2.5 et 3, depuis l'injection (après les pertes) jusqu'à haute énergie apparait.

La précision des mesures ne permet pas de différencier les grossissements dûs aux passages des résonances, d'un grossissement continu.

De plus de nombreux effets parasites apparaissent sur l'IBS:

- Effet de B et surtout de \dot{B} au moment des paliers,
- Effet de l'intensité,

qui limitent l'interprétation des résultats, surtout en ce qui concerne le problème de l'évolution des distributions (voir remarques en Annexe II).

CONCLUSIONS

1. Il est évident que dans le PS un grossissement vertical important reste présent, d'un facteur 2.5 à 3 entre l'injection (après les dernières pertes) et haute énergie (au dessus de 20 GeV/c), quelles que soient les erreurs commises dans l'interprétation des mesures et l'imprécision actuelle de l'IBS.

2. Il est clair qu'il n'est pas actuellement possible :
- de préciser l'évolution de ces émittances (grossissement continu grossissement sur les résonances),
 - d'améliorer les comparaisons,
 - de préciser les fonctions de distributions, car ces deux méthodes sont plus complémentaires que comparatives.
 - d'attaquer des mesures radiales, où la précision doit être plus grande pour obtenir un résultat significatif sur les émittances bétatroniques à partir d'une mesure globale comprenant la distribution dans le plan longitudinal.
3. Pour ceci il est nécessaire :
- que l'IBS atteigne un stade d'opération, c'est-à-dire
 - atteigne un stade fixe de développement électronique, ce qui n'est pas le cas actuel,
 - ait un fonctionnement simple et clair et plus familier aux utilisateurs,
 - que soient tirés au clair les effets parasites résiduels,
 - que les méthodes de calibration soient plus précises.

Ces remarques concernent l'IBS utilisable actuellement dans le PS (section 38). En octobre 1970 un nouveau modèle amélioré du point de vue blindage magnétique et effet de charge d'espace du faisceau sera installé à la place du prototype actuel.

Ce nouveau modèle pourra remettre en cause les conclusions actuelles.

On ne doit pas attendre des prochaines mesures avant 1971.

4. Après cela il sera aisé d'étudier l'évolution systématique, dans toutes les conditions, des émittances et des distributions.

Ces mesures deviennent indispensables aussi bien pour prédire le comportement futur du PS que pour améliorer son comportement actuel (en particulier comportement à \dot{B} réduit et préparation de la compensation à l'injection 800 MeV).

REFERENCES

- Ref. 1 E. Brouzet. Mesures des dimensions transversales du faisceau interne PS à moyenne et haute énergie. MPS/Int. CO 68-21.
- Ref. 2. C.D. Johnson and L. Thonrdahl. The CPS Ionization Beam Scanner (IBS). MPS/Int. CO 68-13.

Distribution (ouverte)

Machine Study Team	G. Plass
PSS and E.i.C.'s	B. de Raad
MD File	K.H. Reich
G. Azzoni	G. Rosset
C. Bovet	F. Sacherer
G. Brianti	C. Saulnier
G. Daems	W. Schnell
D. Dekkers	T.R. Sherwood
H.G. Hereward	P.H. Standley
E. Keil	C. Steinbach
H. Koziol	C.S. Taylor
P. Lapostolle	L. Thorndahl
J.H.B. Madsen	D.J. Warner
	E.J.N. Wilson

ANNEXE I : COMPARAISONS CIBLES 24 - 66 - 18S

(Dimensions verticales en section focalisante (en équivalents))

Date	I p 12 10	CF GeV/c	R cm	Cibles 24 95%	Cibles 63 % 95%	18S (2) tiges	Après cibles 63 18S tiges	(6) 7 m Cible 24 95%	Remarques
20.6.70	1.30	21	statique	7.9	7.5	9.8 - 10 (4)	8 - 8 (5)	6.9 - 7.1 (5)	distorsion 18S résonance 26.3.70 Après cible 7 m en accélération 0 kg 135 kg (9) 19 6.7 9 6.8 3 6.7 7 6.9 5 6.9 5 7.3
"	1.30	19.2	"	8.8	8.4	9 - 9.2	7 - 7 (5)	7.1 - 7.1 (5)	
"	.70	19.2	"	7.8	7	7.6	7.8	7.6	
26.6.70	1.00	21	- 2.7	12.0	8	8.6	6.9		
"	1.60	21	- 8	12.0	38	8.0	7.6		
"	1.60	21	+ 8	9.0	8	8.4	7.6		
"	1.50	19	+ 2	10.0	12	10.0	7.6		
"	1.60	14	0	10.0	17	9.1	7.7		
"	1.60	10	0	10.2	31	11.2	7.7		
12.3.70	.9	24	-15.5		4.8	7			
"	.8	24	-1.7		12	8.4			
"	.8	24	+10		2.4	5.2			
"	.6	19	-15.5		5.3	7.2	7.0		
"	.8	19	-4.4		7.9	7.6	7.4		
"	.8	19	+15		5.3	7.2	7.1		
"	.6	14	-13.5		15.5	8.7	7.1		
"	.6	14	-5		21	7.3	7.1		
"	.6	14	+7.5		13	8.6	7.2		
"	.8	10	-15		23	8.3	7.4		
"	.8	10	-4.5		20	8.3	7.7		
"	.8	10	+8		20	8.5	7.8		
20.6.70	1.3	19.2			20	9.1	7.5 - 7 (5)	6.1 (7)	

(1) Valeur directe par interception de mesures faites pour divers A.

(2) Valeurs moyennes relevées sur 5 impulsions successives le 20.6 et 26.3

(3) Valeurs mesurées à 95% dans l'hypothèse Gaussienne.

Les mesures cibles sont faites en début de palier. Celles 18S en début ou avant le début du palier

(4) Evolution entre avant et après début de palier et sur le palier

(5) Evolution sur le palier pendant environ 300 ms, la hauteur du signal diminue sur le palier

(6) La cible 63 reste en place et litite systématiquement le faisceau à 7 m

(7) Méme opération mais la cible 24 litite systématiquement le faisceau à 6.1 m

(8) Cibles 63 et 18S depuis 8 GeV (0.300) pendant l'accélération

ANNEXE II : REMARQUES SUR LES RESULTATS

Le fait que dans la plupart des cas les dimensions verticales comparées entre les mesures IBS et cibles concordent montre qu'une répartition Gaussienne des densités dans le plan de phase ne représente pas correctement le faisceau.

En effet :

- Distribution dans le plan de phase :

$$\rho(\bar{z}, \bar{z}') = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-r^2/2\sigma^2}$$

avec $r^2 = \bar{z}^2 + \bar{z}'^2$ (dimensions normalisées, trajectoires circulaires)

- Distribution projetée :

$$\rho_{\bar{z}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} e^{-\bar{z}^2/2\sigma^2}$$

- Pied des tangentes d'inflexion du profil IBS : $\bar{z} = \frac{1}{2} 2\sigma$

- Distribution des amplitudes d'oscillations bêtatroniques :

$$\rho(a) = \frac{a}{\sigma^2} e^{-a^2/2\sigma^2}$$

- Particules à l'intérieur d'une émittance $E = \frac{\pi \bar{z}'^2}{\beta}$

$$\eta(z) = e^{-\bar{z}^2/2\sigma^2} = \eta(E) = e^{-E/E_0}$$

$$\text{avec } E_0 = \frac{2\pi\sigma^2}{\beta}$$

définissant la "densité centrale".

- La dimension 4σ (pied des tangentes du profil IBS) correspond à une émittance de $2 E_0$, soit 86.5% des particules laissées par une cible et non 95% des particules comme le montrent les résultats habituels; La dimension 95.4% cible correspondrait à $3 E_0$ soit sur le profil IBS à $\sigma\sqrt{6} = 2,4 \sigma$ soit 20% plus grand que le pied des tangentes.

D'autre part toute distribution "bornée" correspondrait mieux aux résultats expérimentaux même la plus simple telle que la distribution linéaire :

$$\rho(\bar{z}, \bar{z}') = \frac{3}{\pi R_0^3} | -r + R_0 |$$

- profil

$$\rho_z = \frac{3}{\pi R_0^3} z' \left[\frac{R_0}{z} \sqrt{\frac{R_0^2}{z^2} - 1} - \text{Log} \left(\frac{R_0}{z} + \sqrt{\frac{R_0^2}{z^2} - 1} \right) \right]$$

- pied des tangentes d'inflexion du profil : $\pm 0.904 R_0$

- distribution des amplitudes électroniques :

$$\rho(a) = \frac{\sigma}{R_0^3} a(R_0 - a)$$

- particules à l'intérieur d'une émittance $E = \frac{\pi z^2}{\beta}$

$$\eta(E) = \frac{E}{E_t} \left(3 - 2\sqrt{\frac{E}{E_t}} \right)$$

$$\text{avec } E_t = \frac{\pi R_0^2}{\beta}$$

$$\text{ou } \eta(z) = \frac{z^2}{R_0^2} \left(3 - 2\frac{z}{R_0} \right)$$

où la "densité centrale" E_0 est telle que $E_t = 3 E_0$, E_t correspond alors à tout le faisceau,

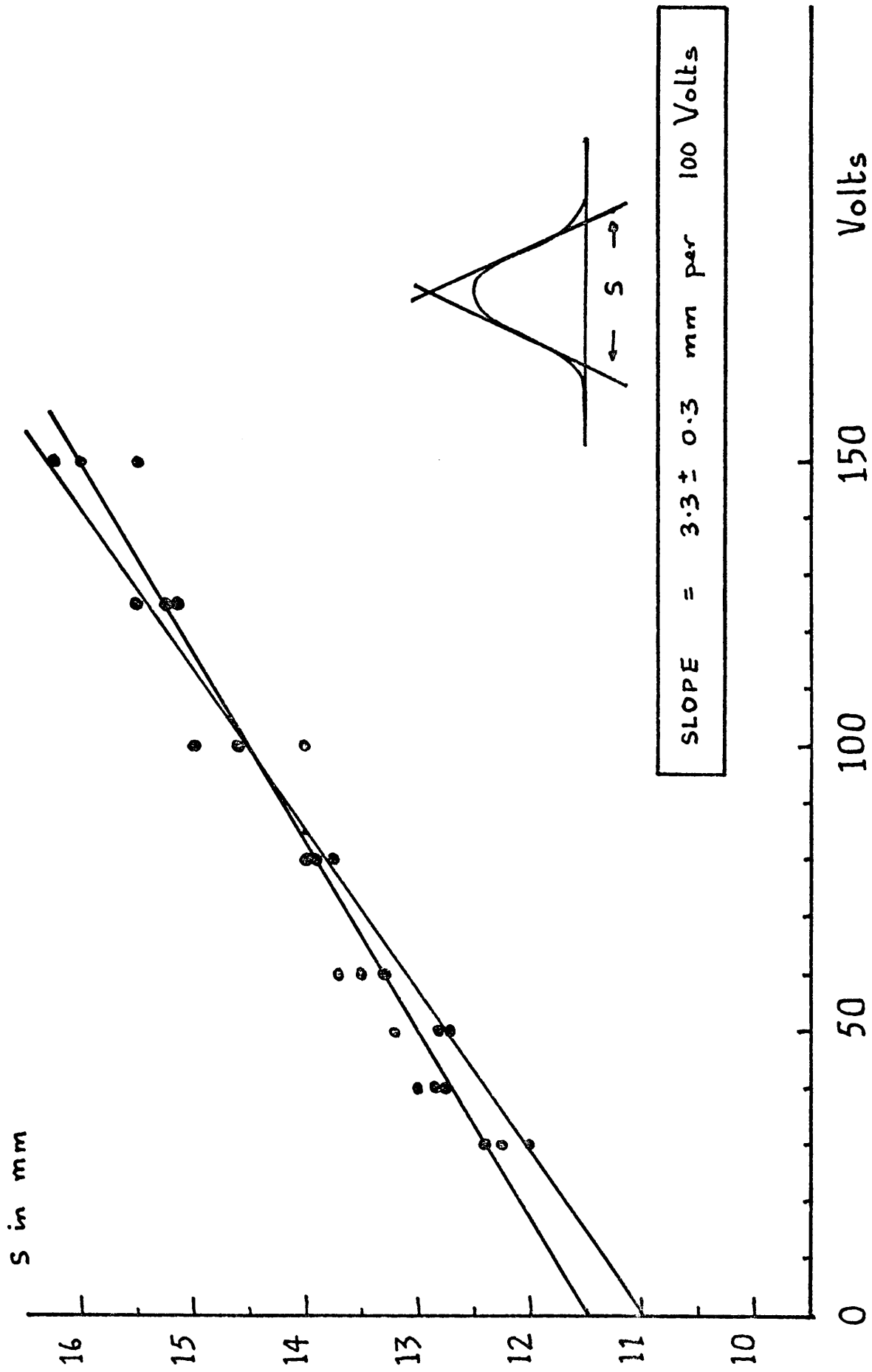
dimension cible correspondant au pied des tangentes serait une dimension à 97.4% des particules.

Une distribution parabolique n'améliore pas ce résultat.

Le problème consiste à trouver une distribution intermédiaire entre les deux extrêmes précédents rendant compte des résultats expérimentaux.

Mais pour ceci d'une part il faudrait être sûr du profil IBS obtenu et d'autre part pouvoir tirer toute l'information de ce profil par un échantillonnage du profil et un traitement par ordinateur. Alors il serait possible de suivre l'évolution des distributions pendant les résonances, ou après des pertes d'intensité et de comprendre les mesures.

Cependant il nous semble que trop d'imprécisions dans les mesures IBS et d'effets non compris (β , intensité, etc.) ne rendent pas ces méthodes applicables actuellement.



IBS Spatial resolution

Fig. 1

Dimensions verticales
en section 38 avec l'IBS

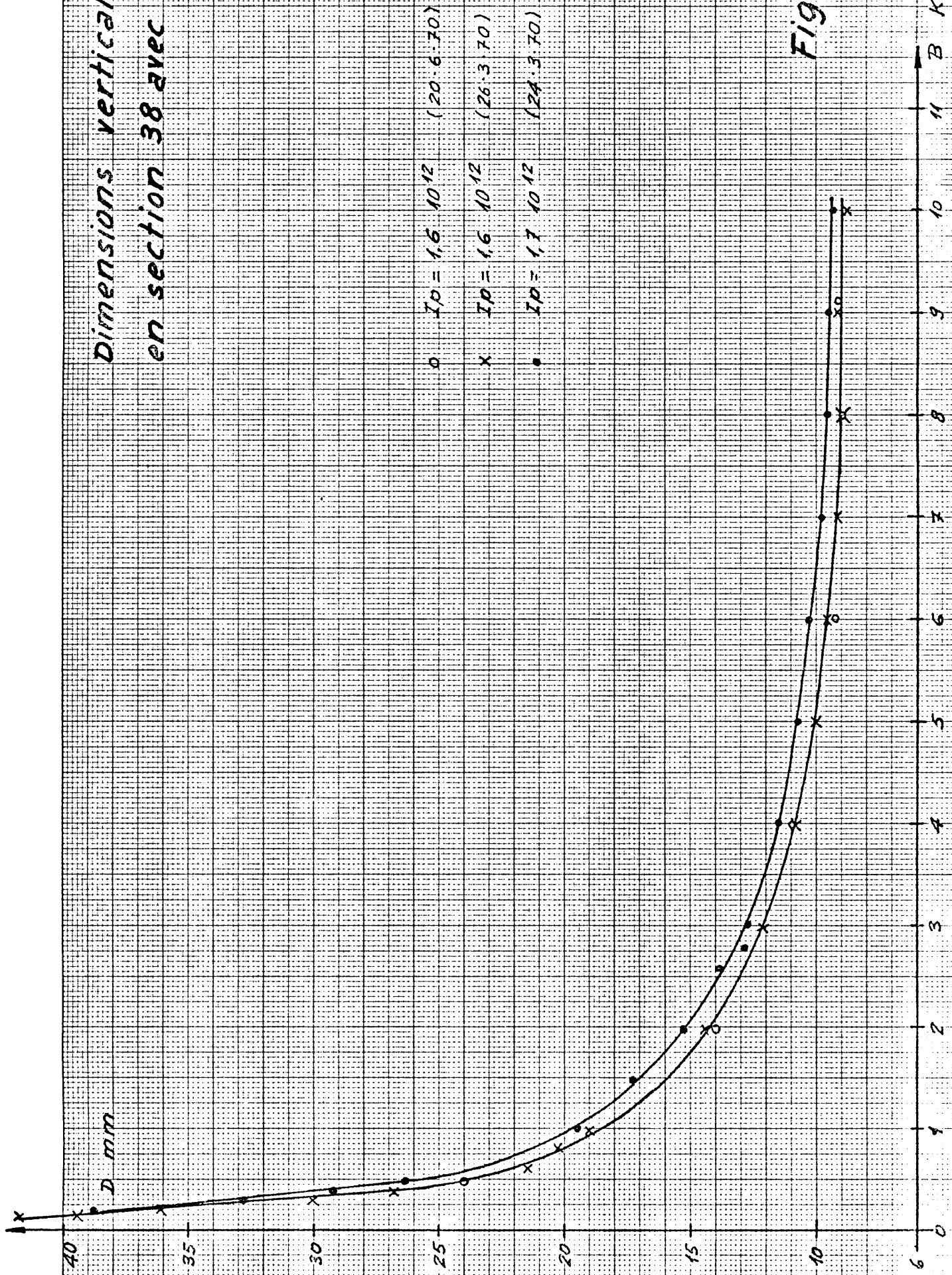


Fig. 2

Dimensions verticales
en section 38 avec L.I.B.S

$I_p 9,8 \cdot 10^{12}$ (12-3-70)

Position radiale:

- statique
- o extérieur sur palier
- x intérieur " "

(-5 mm
+ 8 mm
-15 mm)

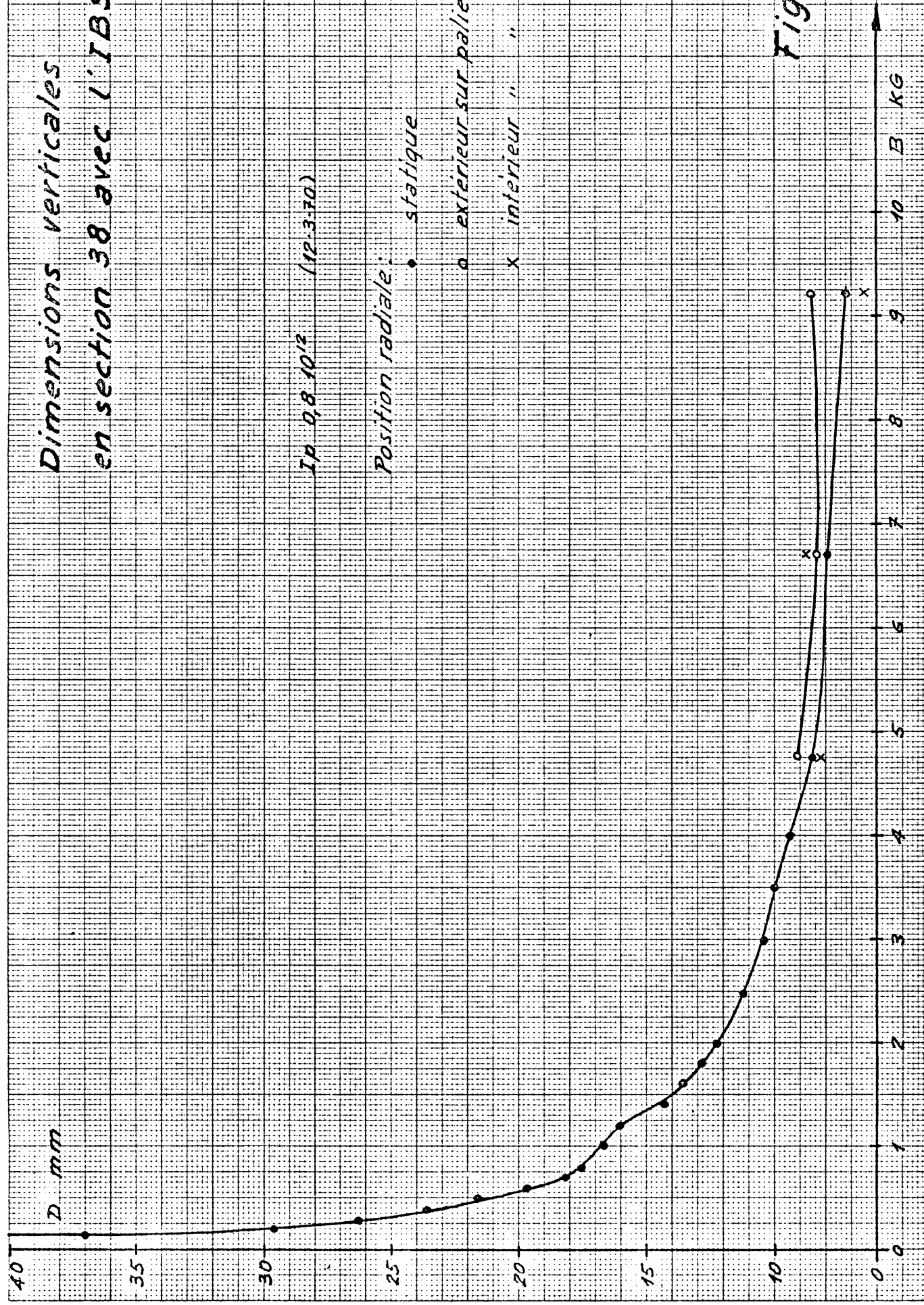


Fig. 3

Emittances verticales normalisées

$\bar{E}_V \cdot 10^{-6} \text{ m}$

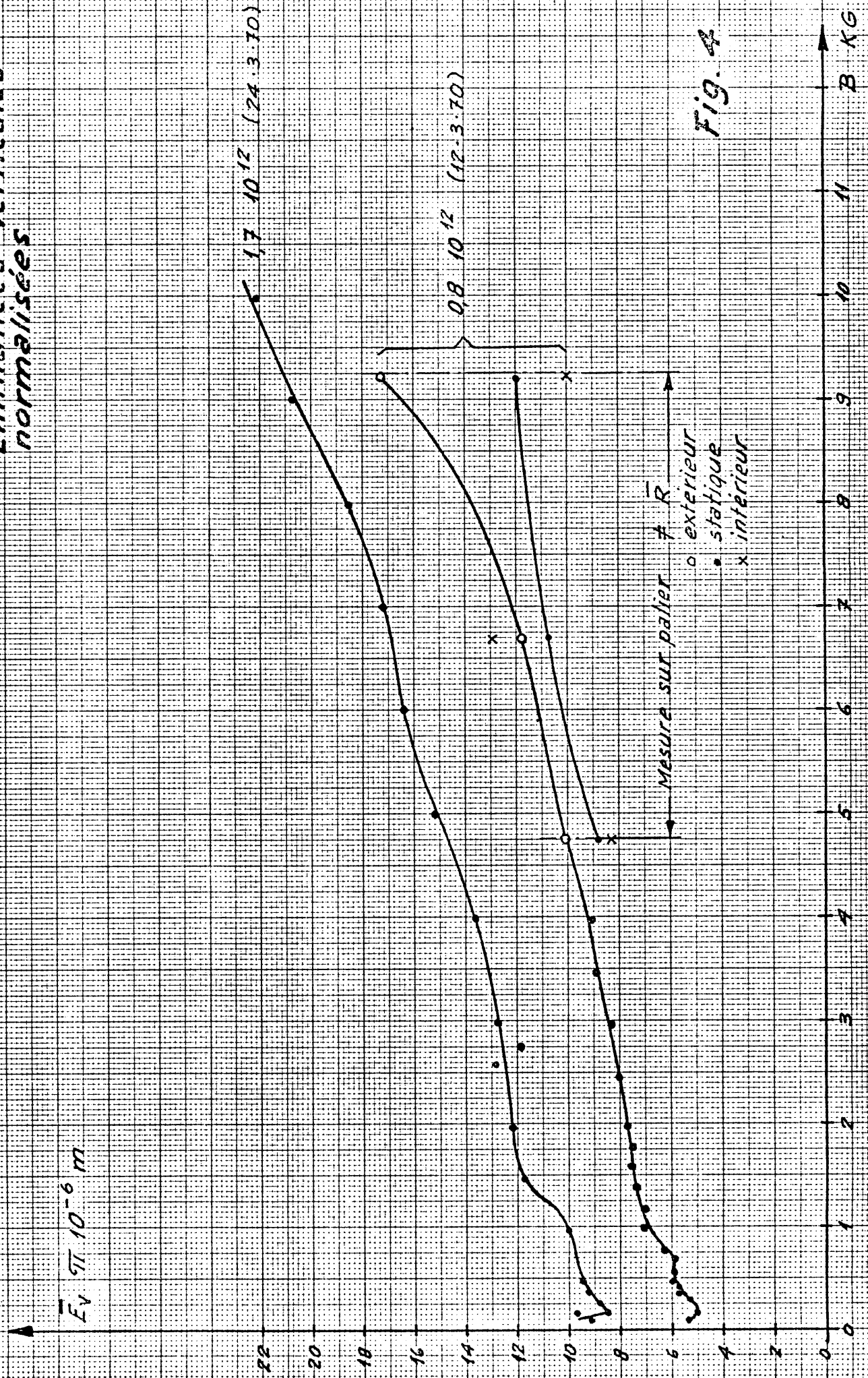


Fig. 4

Emittances verticales normalisées

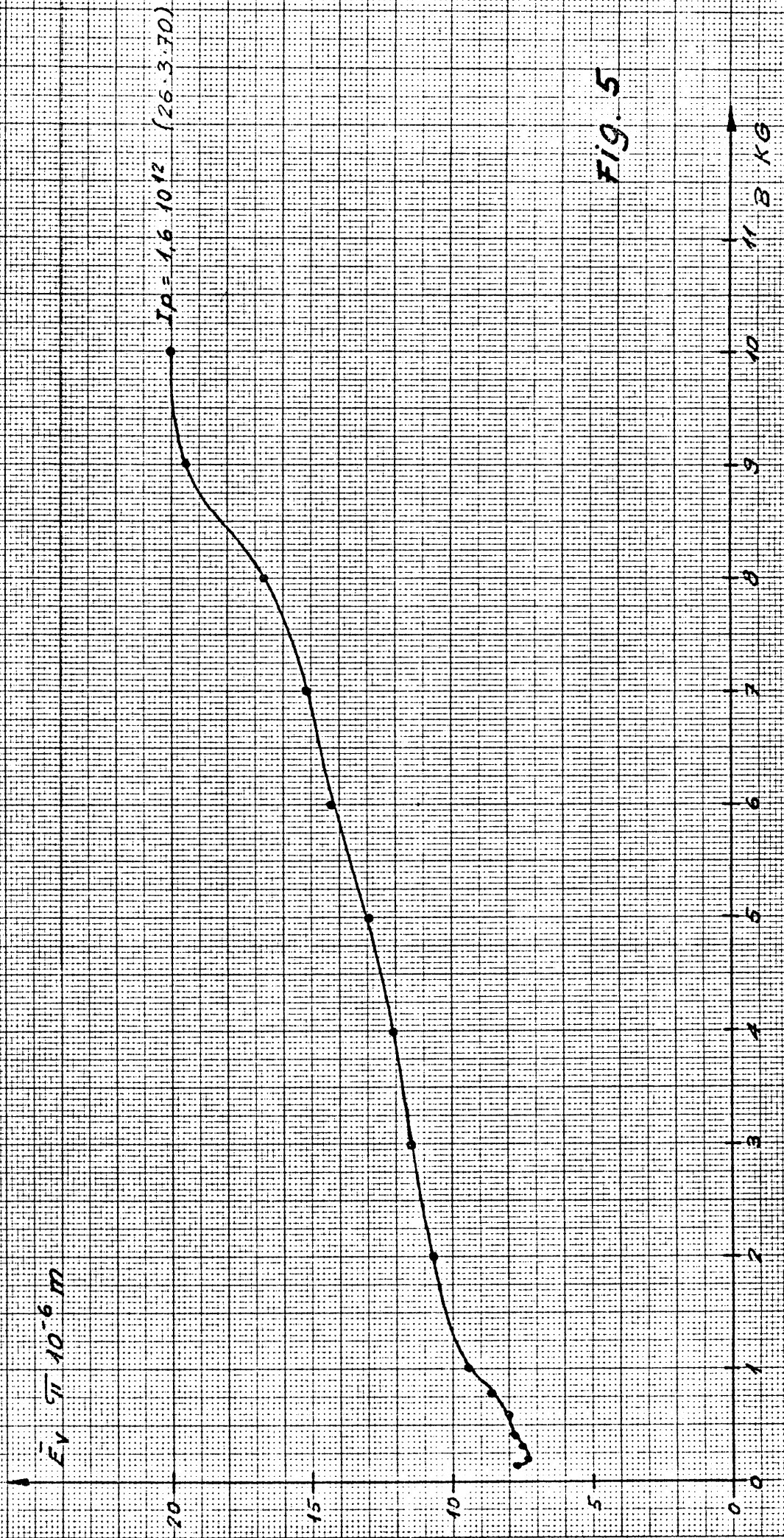


Fig. 5

Emittances verticales normalisées

$\bar{E}_y \cdot \pi \cdot 10^{-6} \text{ m}$

$I_p = 1,6 \cdot 10^{12} \text{ (20.6.70)}$

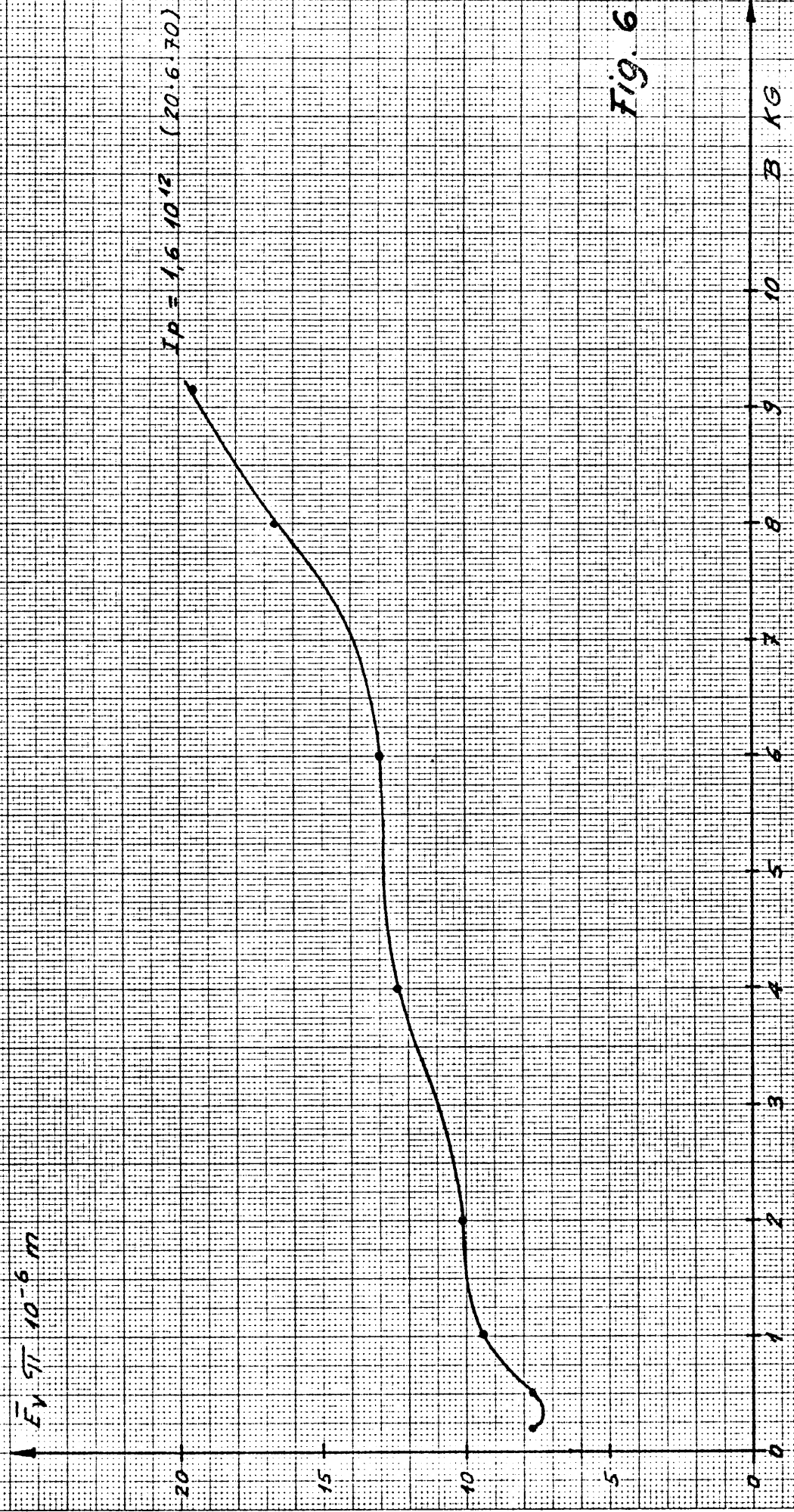


Fig. 6