

PERFORMANCES LIMITES DU COMPLEXE PS

J. Gareyte, P. Lefèvre, F. Sacherer

RESUME

Les limitations imposées par chaque système du complexe PS ont été évaluées. Il n'est pas apparu de goulot d'étranglement : nouveau Linac, Booster et PS semblent bien adaptés les uns aux autres. Un effort en études de physique de machine est encore nécessaire pour assurer 10^{13} ppp dans des conditions opérationnelles. La poursuite de cet effort au-delà de 1976 devrait permettre d'accélérer des faisceaux d'intensité supérieure ($1.5 - 1.9 \cdot 10^{13}$ ppp) sans investissement important.

* * *

PERFORMANCES LIMITES DU COMPLEXE PS

J. Gareyte, P. Lefèvre, F. Sacherer

I INTRODUCTION

Depuis le lancement du programme d'amélioration du CPS, des prévisions de performances ont été formulées à plusieurs reprises^{1,2,3,4}.

Maintenant que les performances s'approchent des valeurs spécifiées, grâce notamment à un programme extensif d'études de physique de machine (théorie et expériences), on peut profiter des connaissances acquises pour refaire l'exercice sur des bases nouvelles.

Pour cela, des données ont été relevées avec soin pendant les runs neutrino de 1975, où l'intensité a atteint 10^{13} p/p. Ceci permet d'ajuster les modèles théoriques qui servent à l'extrapolation.

Nous avons essayé d'évaluer les limitations imposées par chaque système important du complexe PS, pour mettre en lumière d'éventuels goulets d'étranglement. Un effort particulier a été fait pour préciser les hypothèses de travail : nos conclusions en dépendent évidemment beaucoup, et devront être révisées, chaque fois que l'expérience permettra de préciser ou de modifier ces hypothèses.

II LINAC

1) Ancien

Les meilleures performances ont été jusqu'ici :

$$I = 86 \text{ mA}$$

$$\epsilon_0 = 8 \pi 10^{-6} \text{ mrad}$$

$$\Delta E = \underline{+} 150 \text{ keV (peut être réduit).}$$

Longueur d'impulsion : 95 μ s, mais une partie seulement (80%) a les bonnes caractéristiques en énergie et dispersion d'énergie, et peut donc être capturée avec un bon rendement (Fig. 1). La figure 2 montre la décroissance de l'intensité au cours de l'accélération du faisceau jusque dans le PS à 10 GeV/c au cours des runs neutrino de juillet et août 1975. L'efficacité multitour était de 42% (skew injection), le taux de capture RF de 80%, l'intensité dans le Booster étant de 1.4×10^{13} au début de l'accélération, et 1.3×10^{13} à 800 MeV.

L'efficacité multitour a été mesurée à faible intensité ⁵⁾ (faisceau Linac ci-dessus mais avec passoire). Dans ces conditions, elle est égale à 80% de l'efficacité calculée ⁵⁾, l'injection skew étant de 15% plus efficace que l'injection normale. Nous prendrons ces valeurs pour déterminer les limites dues au Linac lui-même, et non la valeur de 42% mesurée en opération (celle-ci tenant compte de pertes dues à la charge d'espace transversale, phénomène que nous traiterons séparément plus loin).

Dans ce cas, la figure 3a montre l'intensité limite injectable dans une émittance horizontale donnée, pour un faisceau Linac de 86 mA, avec 85 μ s d'impulsion utile (90% de la longueur totale). Sur la figure 3b, on a porté cette limite en termes d'intensité accélérée à 800 MeV, et d'émittances après recombinaison (au "point d'injection"). Les hypothèses appliquées sont les suivantes :

- l'efficacité globale de capture RF et d'accélération est de 80%;

- les émittances subissent un gonflement de 50% entre 50 MeV et le point d'injection (par exemple 25% pendant l'accélération et 25% pendant la recombinaison).

2) Nouveau Linac

Les spécifications⁶⁾ donnent :

$$\frac{I_0}{\epsilon_0} > 12 \frac{\text{mA}}{\pi 10^{-6} \text{ mrad}}$$

$$\Delta E \approx \pm \left[(50)^2 + (1.5 I_0)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \text{ keV} \quad (I_0 \text{ en mA})$$

Charge maximum par impulsion : 10^{14} p

Deux faisceaux typiques pourraient donc être ceux dont les caractéristiques apparaissent dans le tableau I.

T A B L E A U I

I_0 mA	ΔE (+) keV	ϵ_0	Longueur max. impulsion (μ s)
100	160	8.3	160
70	115	6.0	230

On trouve dans⁵⁾ les courbes donnant l'efficacité théorique de l'injection multitour en fonction de l'émittance horizontale. Avec les mêmes hypothèses que plus haut (efficacité réelle égale à 80% de l'efficacité théorique, + 15% pour l'injection skew), on trace les mêmes courbes que pour l'ancien Linac sur les figures 3a et 3b.

III BOOSTER

1) Longitudinal

a) Charge d'espace

La figure 4 est tirée du rapport ⁷⁾. Elle montre comment l'acceptance longitudinale du Booster diminue en fonction de l'intensité capturée, à cause de la défocalisation due à la charge d'espace longitudinale. Pour une dispersion d'énergie donnée du Linac (après le dernier dégrouppeur), et une tension RF donnée dans le Booster, il y a donc une intensité limite, même si la capture se fait de façon parfaite. Il semble que 2×10^{13} (5×10^{12} par anneau) soit une limite raisonnable. Ceci imposerait vraisemblablement au Linac une intensité maximale de l'ordre de 80 mA (voir chapitre II), pour assurer la bonne dispersion d'énergie.

b) Charge des cavités (beam loading)

Le problème a été résolu pendant la capture RF en abaissant le Q de la cavité à l'aide du deuxième tube de puissance. Ceci devrait être efficace jusqu'à 2×10^{13} . A haute énergie, les boucles d'asservissement sont stables ⁸⁾ jusqu'à des valeurs du rapport courant faisceau/courant cavité de l'ordre de 2, ce qui assure également une intensité de 2×10^{13} .

Une modification des caractéristiques des boucles, en projet, permettra de réduire la tension RF (si c'est nécessaire pour amortir les instabilités paquet-paquet) sans créer d'instabilités de "beam loading".

c) Instabilités paquets-paquets ⁸⁾

Le système d'amortissement actif en construction doit permettre l'élimination des instabilités dipolaires et quadrupolaires, quelle que soit la dispersion d'énergie utilisée. Seule l'expérience permettra de dire jusqu'à quelle intensité il sera efficace (on sait qu'il est efficace à 100% à 1.4×10^{13}) : 2×10^{13} devrait être assuré.

Les instabilités d'ordre supérieur (les sextupolaires sont couramment observées) devront être amorties par réduction de la tension RF et/ou

dilution avec le système Magnani. La limite de ces deux méthodes sera donnée par le temps de montée des kickers de transfert (longueur maximale des paquets). Là encore, on peut parier que 2×10^{13} pourront être stabilisés.

2) Transversal

a) Incohérent

La figure 5 montre le point de fonctionnement utilisé pour les runs neutrino d'août 1975. La charge d'espace crée une dispersion des fréquences bêtatroniques : les particules occupent la zone hachurée. Si celle-ci chevauche les résonances entières, un gonflement des émittances se produit. On suppose que celui-ci s'arrête lorsque toutes les particules se trouvent à plus de $\Delta Q = 0.05$ des lignes entières. Avec cette hypothèse, on peut tracer la figure 6, qui donne l'intensité limite accélérable dans des émittances données. On sait qu'avec une programmation dynamique optimale du point de fonctionnement, il n'y a pas de gonflement des émittances pendant l'accélération. On a tenu compte d'un gonflement de 25% dû aux imperfections de la recombinaison, et on a porté les émittances vues au "point d'injection" Booster-PS.

La figure 6 nous montre qu'on peut accélérer 1.3×10^{13} (intensité du run neutrino) dans des émittances horizontales, verticales de $(37.5 \pi, 15 \pi)$ après recombinaison, soit $(30 \pi, 12 \pi)$ avant recombinaison. C'est bien ce qui a été mesuré. Les limites du système de transfert portées sur la figure 6 montrent également que ce faisceau ne pouvait être injecté dans le PS (limitation de TIK) : on a effectivement pu injecter au maximum 1.1×10^{13} . La limite due au Linac (ancien) est également portée sur la figure 6 (dans l'hypothèse d'un taux de capture RF de 80% et d'un gonflement d'émittances de 25% à la recombinaison). La zone accessible est celle qui se trouve en bas et à droite de la ligne : on voit que ce n'est pas le Linac qui limite l'intensité avec ce point de fonctionnement.

L'introduction de corrections harmoniques sextupolaires ⁹⁾ permettra d'avoir accès à une plus grande zone de diagramme des Q. Nous

baserons notre discussion sur deux hypothèses, repérées sur la figure 5 par les chiffres I et II*.

L'hypothèse I suppose que la résonance forte $3Q_V=16$ sera bien compensée ainsi que la résonance $Q_H+2Q_V=15$ pendant 160 ms. Les deux autres ($Q_V+2Q_H=14$, $3Q_H=13$) pourront ne pas être compensées.

L'hypothèse II suppose que toutes les résonances sextupolaires seront bien compensées pendant au moins 100 ms. L'hypothèse II constitue vraisemblablement une limite physique du Booster : pour permettre des ΔQ plus grands, il faudrait traverser les résonances quadrupolaires et, jusqu'ici toutes les études ont montré qu'on ne peut éviter un grossissement important des émittances sur ces résonances.

Les nouveaux multipôles permettent théoriquement de compenser toutes les résonances sextupolaires⁹⁾. Cependant, la résonance systématique $3Q_V=16$ est très forte, et il est possible qu'on ne puisse pas la compenser complètement avec des corrections localisées. De plus, les fortes corrections nécessaires auront des effets secondaires sur les autres résonances, ce qui rendra les réglages très difficiles. De ce point de vue, le fonctionnement avec le point I semble plus facile à réaliser qu'avec le point II.

Les figures 7 et 8 sont des répliques de la figure 6 pour ces deux futurs points de fonctionnement. On a ajouté un gonflement supplémentaire de 25% des émittances pendant l'accélération, pour tenir compte de l'effet résiduel des résonances sextupolaires, et d'autres effets possibles aux hautes intensités.

Les calculs sont faits pour des distributions paraboliques dans l'espace réel à deux dimensions, et pour un facteur de groupement de 0,5.

Les lignes iso-intensité ont des pentes différentes dans les deux cas, parce que la limite est dans le plan horizontal dans le cas I, et dans le plan vertical dans le cas II.

* Une remarque de K.H. Schindl : les points I et II devront être choisis légèrement plus à gauche (Fig. 5) si on veut assurer une injection multi-tour d'efficacité maximale (point I : pour s'éloigner de $3Q_H=13$; point II : pour s'éloigner de $Q_H-Q_V=-1$). On a vérifié que ceci ne change pas nos conclusions de façon sensible.

En ce qui concerne les limitations dues au Linac, si on se rapporte à la figure 3b, on s'aperçoit que :

- dans le cas I, on ne peut porter la limite sur la figure 7 ni pour l'ancien Linac (il limite l'intensité pour toute la gamme considérée), ni pour le nouveau Linac (il n'introduit aucune limitation);
- dans le cas II, on peut porter la limite due au nouveau Linac sur la figure 8; elle n'est pas très restrictive.

b) Cohérent

Les instabilités transversales sont amorties à présent par les octupôles. Ceci crée une dispersion supplémentaire des fréquences bêta-troniques, qui augmente la zone occupée par les particules dans le plan (Q_H, Q_V). A intensité supérieure à 10^{13} , il faudrait augmenter le courant dans les octupôles. Même si le matériel le permet, il est fort probable que la dispersion supplémentaire des Q et l'élargissement supplémentaire des résonances dus aux octupôles limiteront l'intensité possible. On suppose donc qu'un système d'amortissement actif transversal (à l'étude) amortira les modes d'oscillation les plus dangereux, et que ceci permettra d'abaisser le seuil de courant octupolaire nécessaire, de façon qu'on puisse accélérer 2×10^{13} p/p.

IV TRANSFERT BOOSTER-PS

Les limitations sont fixées soit par la géométrie, soit par les performances des déflecteurs rapides (kickers).

1) Ejection-Recombinaison¹⁰⁾

Les acceptances du système sont :

- $A_H = 50 \pi$ (fixé par la géométrie des chambres)
- $A_V = 17 \pi$ (fixé par la force des déflecteurs de recombinaison TK)

- Acceptance longitudinale ~ 12 mrad pour une tension d'accélération de 12 kV (longueur maximale des paquets : 68 ns, fixée par le temps de montée des déflecteurs).

2) Inflexion (entrée dans le PS)

L'acceptance nominale du PS (fixée par la géométrie) est en principe de $(33 \pi, 30 \pi)$. Cependant, en acceptant de réduire les marges de sécurité, et avec une optimisation très poussée (orbite fermée bien corrigée, etc...), il est possible d'entrer $(40 \pi, 25 \pi)$. On peut envisager d'injecter jusqu'à 50π horizontal, moyennant certaines acrobaties. Le prix à payer serait : restrictions d'ouvertures, grossissements supplémentaires du faisceau dans le PS après injection (injection d'un faisceau non adapté) et limitation d'émittances verticales à 20π au point d'injection.

Le déflecteur d'injection, TIK, limitait, en juillet-août 1975, l'acceptance horizontale de l'inflexion à 33π . Cette limite a été repoussée à 40π en décembre 1975. Dans sa version 1976, il devrait permettre d'injecter jusqu'à 50π . Le temps de descente de TIK permet d'injecter des paquets de 70 ns de longueur.

Ces limitations ont été portées sur les figures 6, 7, 8. On voit que, dans le cas I, elles limitent l'intensité transférable à 1.5×10^{13} , et dans le cas II, à 1.9×10^{13} . Les limitations avec l'injection "acrobatique" ont été portées en pointillé.

V P.S.

1) Longitudinal

a) Système RF

Il a été spécifié pour permettre l'accélération de 2×10^{13} p/p. Avec le nombre de cavités installées actuellement, la tension d'accélération maximale est de 200 kV.

Comme on peut choisir la forme de cycle magnétique, l'acceptance longitudinale n'est pas un problème. La stabilité des boucles d'asservissement en régime de charge des cavités par le faisceau devra être améliorée : actuellement, des oscillations se produisent à 10^{13} ppp.

b) Transition

Il y a une relation entre l'émittance longitudinale et l'intensité accélérée ¹¹⁾. Pour 2×10^{13} , le super γ_c jump donne une limite inférieure de l'émittance de 20 mrad. Comptons que 25 mrad seront nécessaires en pratique, et que le PSB pourra délivrer des paquets de 12 mrad (ceci est compatible avec le temps de montée des kickers). Il sera donc impératif de produire dans le PS, avant la transition, un gonflement d'un facteur 2. Ceci semble à priori possible (déjà réalisé dans le Booster), et devra être étudié.

c) Instabilités

Le problème est du même ordre qu'au Booster, et il pourra donc être résolu par les mêmes moyens (gonflement d'émittances ou feedback).

2) Transversal

a) Incohérent

La figure 9 montre la zone occupée dans le diagramme des Q par un faisceau de 2×10^{13} et d'émittances $(40 \pi, 17 \pi)$. Il chevauche les résonances sextupolaires, qu'il faudra compenser très soigneusement (problème résolu avec le faisceau de 1975). La ligne de couplage $Q_H - Q_V = 0$ sera compensée, mais $2Q_H - 2Q_V = 0$ (résonance Montague) occasionnera inévitablement un transfert d'émittances du plan horizontal vers le plan vertical. On ne voit aucune impossibilité d'accélérer ce faisceau, mais il y aura un gonflement vertical, qu'on ne peut estimer précisément.

Le problème de l'accélération des faisceaux très plats, intéressants pour les ISR, $(40 \pi, 10 \pi)$ est un cas extrême) reste à étudier. On ne pourra certainement pas conserver ce type de rapport d'émittances au-dessus de 10^{13} .

b) Cohérent

Jusqu'à 10^{13} p/p, aucune instabilité transversale ne s'est manifestée au-dessous de la transition. Il n'est pas exclu que l'instabilité cohérente multitour (type Booster) apparaisse à plus haute intensité. Il faudra alors l'amortir à l'aide d'octupôles, ou d'un système de feedback.

Au-dessus de la transition, la situation actuelle est dominée par l'instabilité Head-tail. Les forts octupôles, nécessaires pour l'amortir, occasionnent, par couplage avec le système γ_t jump, des pertes de l'ordre de 3 à 4% à la transition, à 10^{13} , par élargissement des résonances octupolaires. A plus haute intensité, ces pertes augmenteraient inévitablement. Le nouveau système de PFW (intérimaire) prévu pour 1976 permettra de supprimer l'instabilité Head-tail (chromaticités nulles) et donc de réduire l'effet octupolaire nécessaire, et par suite les pertes (l'instabilité multitour, indépendante de la chromaticité, devrait être amortie par un effet octupolaire plus faible).

Le gonflement de l'émittance longitudinale, nécessaire déjà pour le passage de la transition, favorisera aussi la réduction de l'effet octupolaire nécessaire (paquets plus longs, donc moins de charge d'espace, et amortissement de Landau nécessaire plus faible).

La limite d'intensité due à ces phénomènes ne peut être clairement établie dès à présent, mais 1.5×10^{13} semble accessible.

3) Transfert Continu

Le système de transfert vers le SPS (seul utilisateur potentiel de la très haute intensité) limitera, comme le transfert PSB-PS, les émittances utiles. Il a été spécifié pour des émittances à 10 GeV/c de (9π , 4.4π), soit rapportées à 800 MeV : (61π , 30π). Une estimation du gonflement des émittances entre 800 MeV et 10 GeV/c est nécessaire : nous prendrons 50% en vertical et 10% en horizontal (le transfert horizontal \rightarrow vertical explique la différence). Alors, les limites ramenées au "point d'injection" Booster (c'est-à-dire en tenant compte aussi d'une erreur d'adaptation de 10%) sont (50π , 18π).

Remarque : Ceci concerne des faisceaux à grande émittance horizontale. Pour des faisceaux plus ronds, le gonflement vertical dans le PS serait plus petit, et on pourrait utiliser alors une plus grande émittance verticale (par exemple : 30π , 23π , en prenant 20% de gonflement dans chaque plan, plus 10% d'adaptation).

VI SPS

C'est, pour l'instant, la grande inconnue. Deux types de limites sont prévisibles :

- une limite en intensité due au transfert longitudinal. Pour l'instant, on admet que $5 \cdot 10^{12}$ p/p pourront être dégroupés et recapturés dans le SPS ¹²⁾. Il faut espérer que la limite absolue se révélera plus haute.
- une limite en émittances, due à l'action des résonances non linéaires, qui se traduira, en se rapportant à nos figures 7 et 8, par une limite en intensité. Elle dépendra de la précision des compensations harmoniques et de la chromaticité. Les chiffres avancés par le PS pour les émittances à 10 GeV/c ²⁾ étaient de 6π , 3π . Ceci a été atteint pour $5 \cdot 10^{12}$, mais pas encore pour 10^{13} .

Dans le processus de transfert continu, l'émittance horizontale est réduite d'un facteur de l'ordre de 2 à 3 ¹³⁾. Avec un facteur 3, et échange des émittances dans la ligne de transfert, on aboutit dans le SPS à des émittances de (3π , 2π).

Avec ces valeurs, et en supposant dans le PS un gonflement de (10%, 30%) (raisonnable pour des intensités non extrêmes), on obtient avec les figures 7 et 8 des limites d'intensité au point d'injection de $1.3 \cdot 10^{13}$ (cas I) et $1.6 \cdot 10^{13}$ (cas II).

Remarque Générale concernant les pertes de faisceaux : les émittances sont définies comme contenant 95% des particules. Il est donc implicite que l'on perd 5% de particules au transfert Booster-PS et PS-SPS si l'émittance du faisceau est égale à l'acceptance du système aval.

VII CONCLUSION - RECAPITULATION

- La figure 10 résume les différentes hypothèses qui ont été discutées plus haut.
- Le nouveau Linac, le Booster et le PS semblent bien adaptés les uns aux autres : aucun goulot d'étranglement n'apparaît clairement à l'heure actuelle.
- Les effets pris en compte dans cette étude n'interdisent pas l'accélération d'intensités de l'ordre de 1.5 à $1.9 \cdot 10^{13}$ p/p. Cependant, on sait par expérience que de nouvelles difficultés surgiront, et qu'en tout cas, pour atteindre ces valeurs, un effort supplémentaire est nécessaire en études de physique machine.
- On ne connaîtra pas avant un an environ l'acceptance exacte du SPS. On évalue pour l'instant l'intensité limite utile par impulsion PS à 1.3 - $1.6 \cdot 10^{13}$.

Il semble donc raisonnable de se fixer comme but, dans les années à venir, $1.5 \cdot 10^{13}$ p/p à 10 GeV/c au PS. La possibilité de transférer plusieurs impulsions PS par cycle SPS (multipulsing) sera dans tous les cas intéressante, et doit être étudiée sérieusement.

Distribution (ouverte)

- du résumé : personnel Division PS
- du rapport :

SPS : J.B. Adams	ISR : F. Bonaudi
Y. Baconnier	H.C. Hereward
D. Boussard	A. Hofmann
M. Cornacchia	K. Hübner
M. Crowley-Milling	E. Keil
G. von Holtey	W. Schnell
B. de Raad	
E.J.N. Wilson	

REFERENCES

- 1) CERN/MPS/SI/Int.DL/70-7, C. Bovet et al., "Evolution of proton density between ion source and ISR".
- 2) MPS/DL/Note 72-42, O. Barbalat, "Beam emittance estimate".
- 3) MPS/BR/Note 74-21, K.H. Reich, " 10^{13} protons in the PSB and beyond"
- 4) G. Plass, note non publiée.
- 5) P. van der Stok, document à paraître.
- 6) CERN/MPS/LINP/73-1, "Project study for a new 50 MeV Linac".
- 7) MPS/BR/Note 74-36, D. Edwards, "PSB longitudinal acceptance".
- 8) MPS/Int. BR/75-6, F. Pedersen, et communication personnelle.
- 9) K.H. Schindl, rapport à paraître.
- 10) MPS/BR/Note 75-27, J.P. Delahaye.
- 11) CERN/MPS/DL 74-3, W. Hardt, "Gamma-transition-jump scheme of the CPS".
- 12) D. Boussard, communication personnelle.
- 13) A. Krusche, communication personnelle.

Wed Aug 6

9 PM

Line current

I_0
V: 89 mA $\frac{100}{E_0}$ 7.4 e.

$$I_0/E_0 = 11.9$$

H: 88 mA $\frac{100}{E_0}$ 8.2

$$I_0/E_0 = 10.7$$

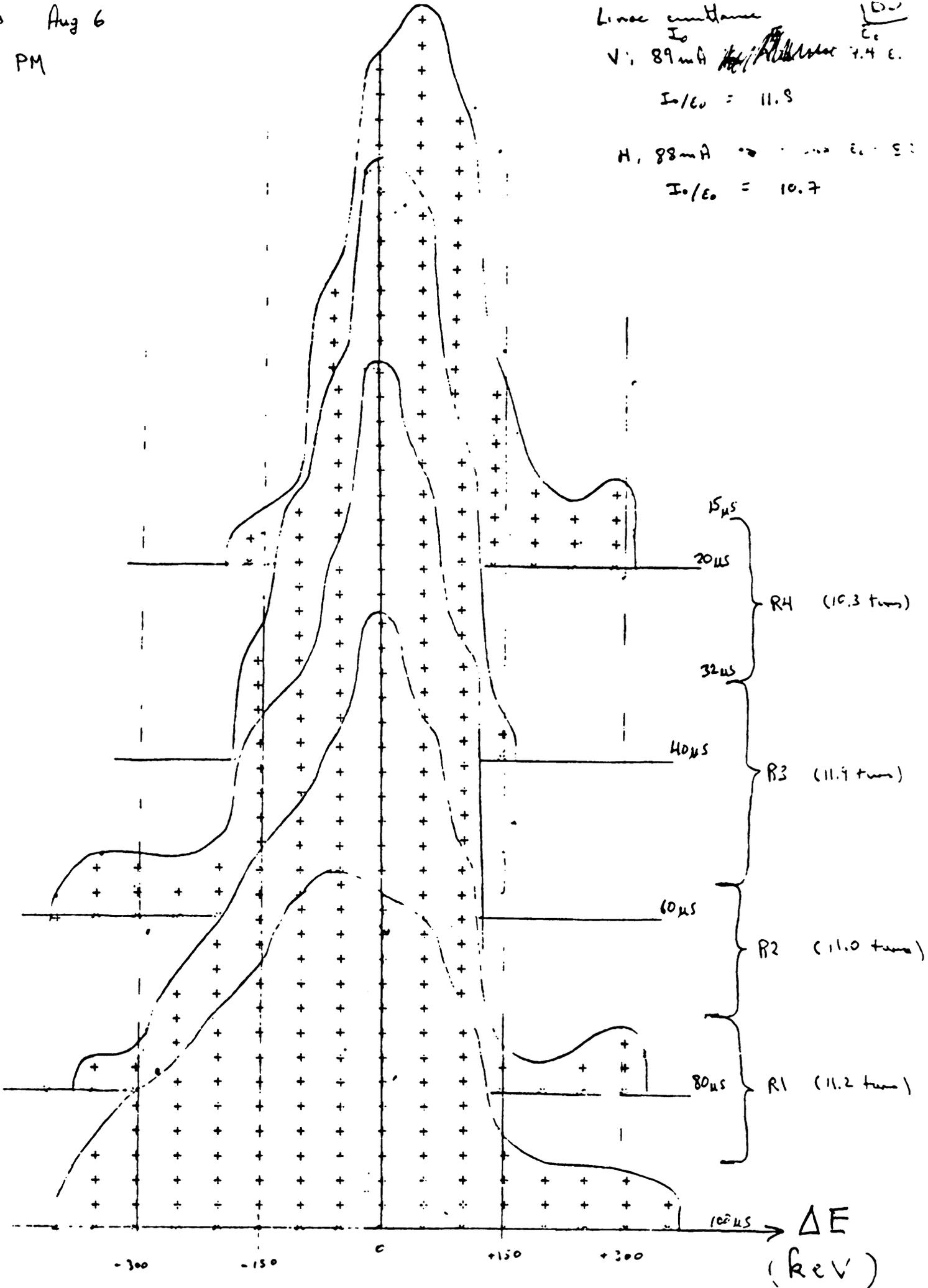


Fig. - 1

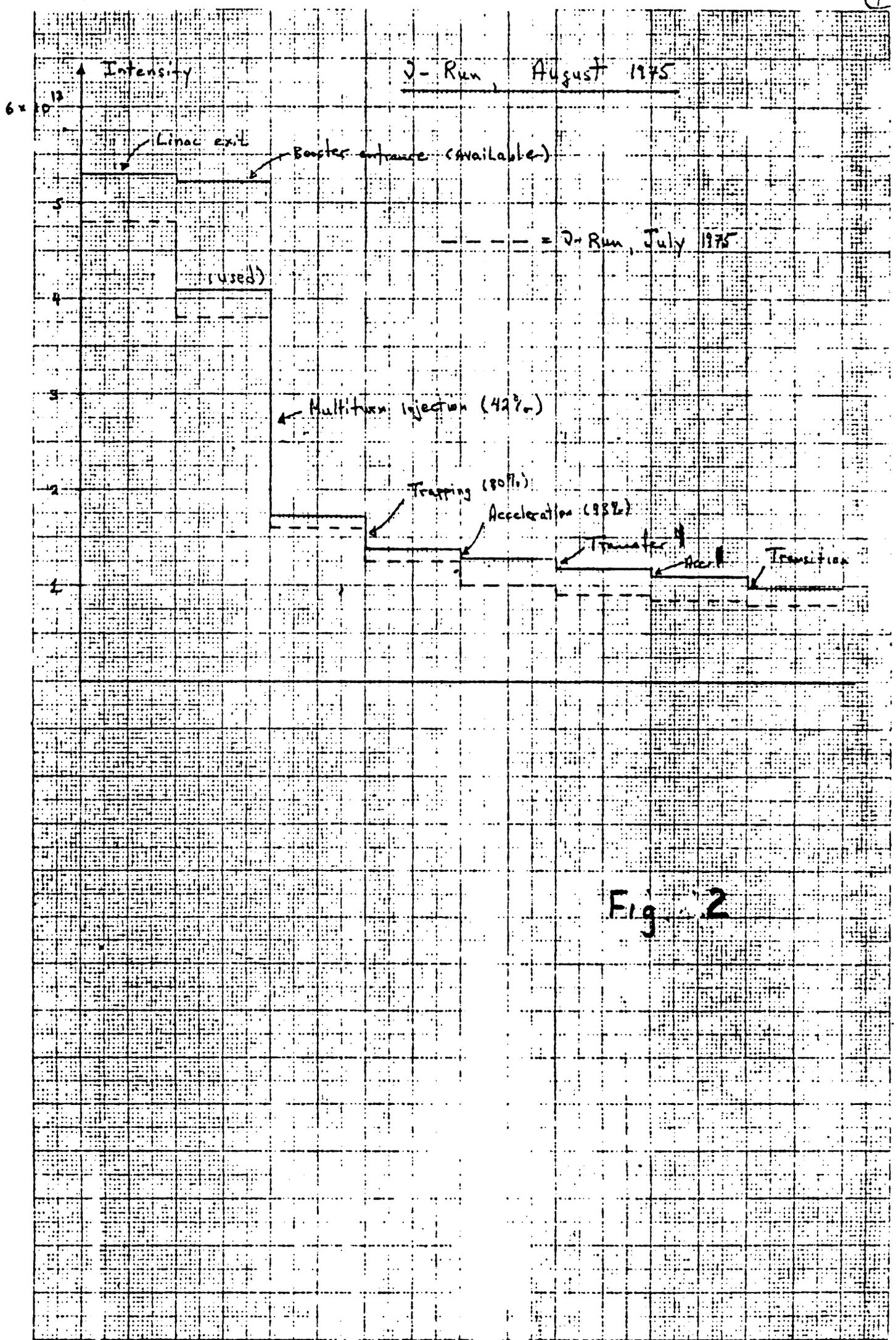


Fig. 2

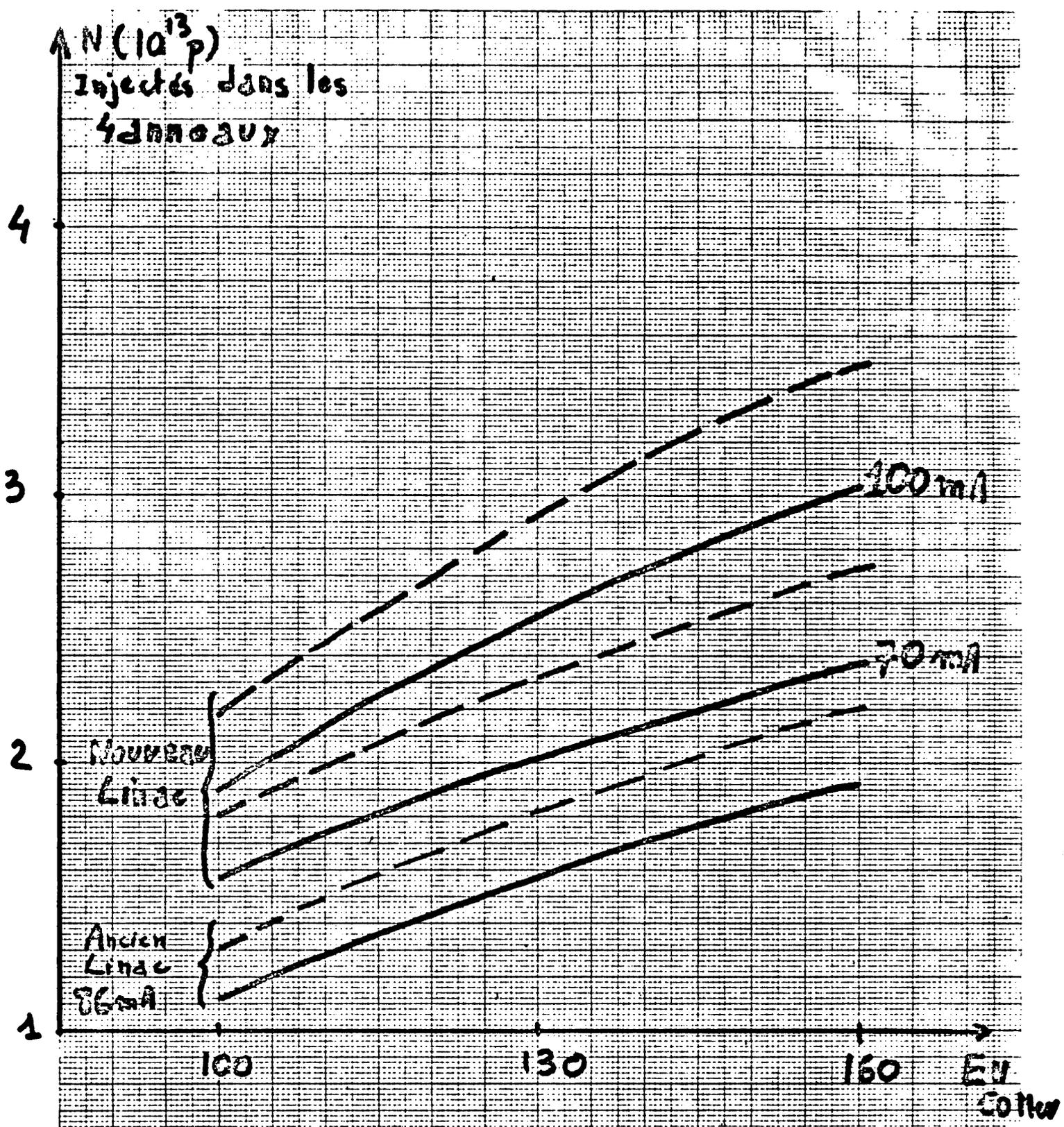


Fig 3a: Limite d'intensité en fonction des
émittances horizontales due à l'injection
multifours (nouveau linac selon spécifications)
multifout normal
Skew injection

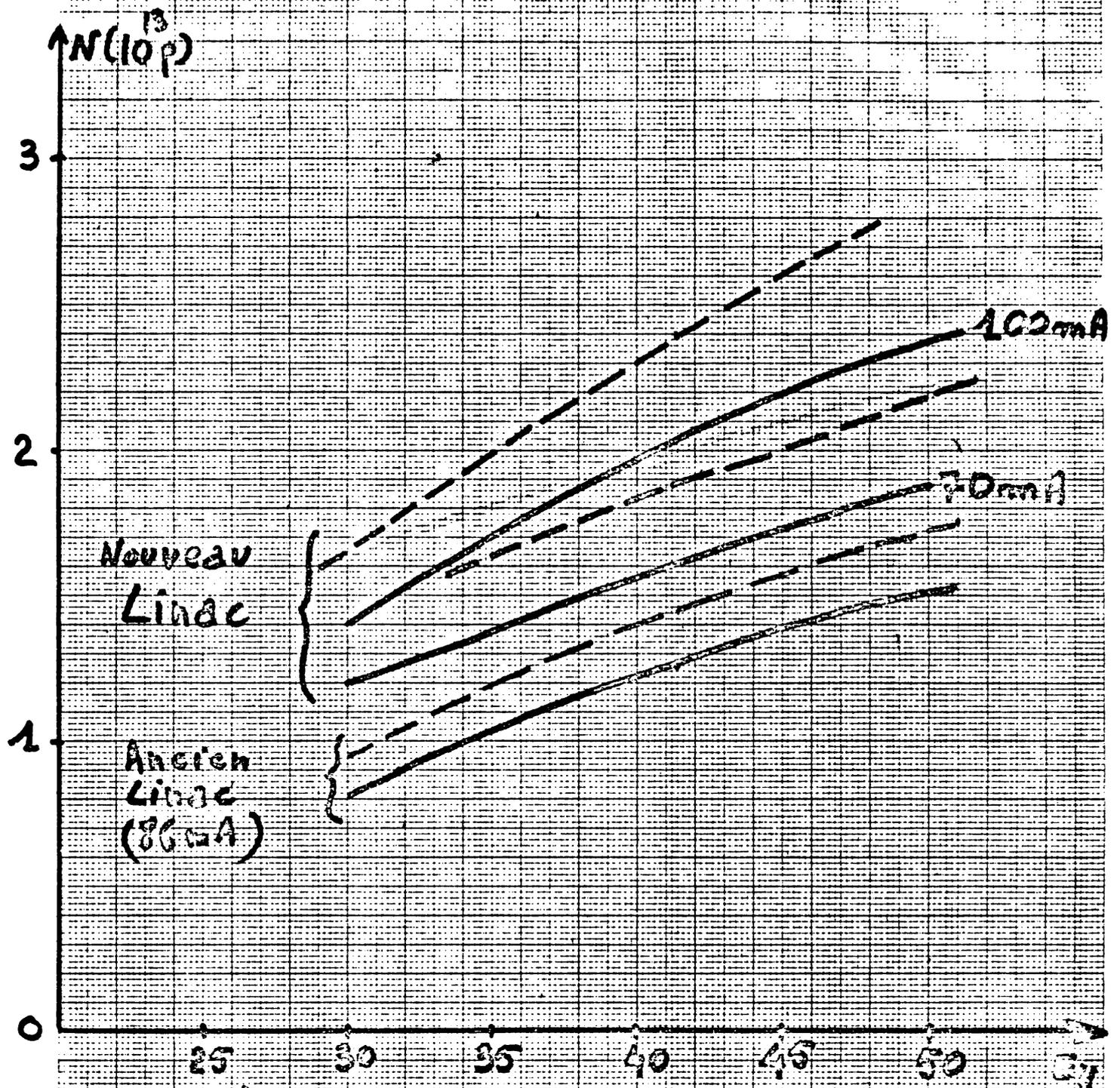


Fig. 35 Limite due à l'injection multitour (avec nouveau linac selon spécifications)
 Intensité accélérée à 300 MeV (efficacité capture RF + accélération : 70%) dans emittances après recombinaison (sans gonflement total)

— multitour normal
 - - - Skew injection

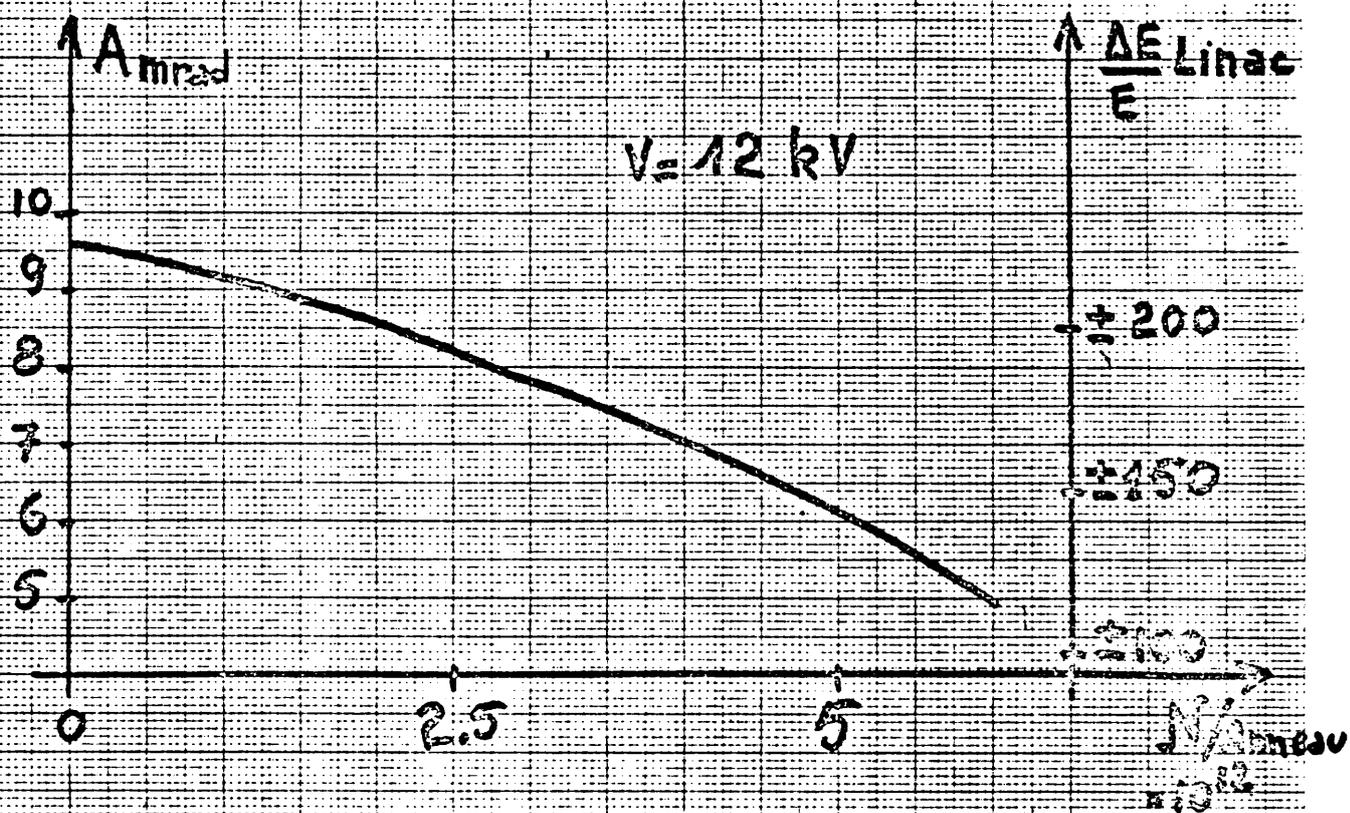


Fig. 4

Réduction de l'acceptance longitudinale en fonction de l'intensité

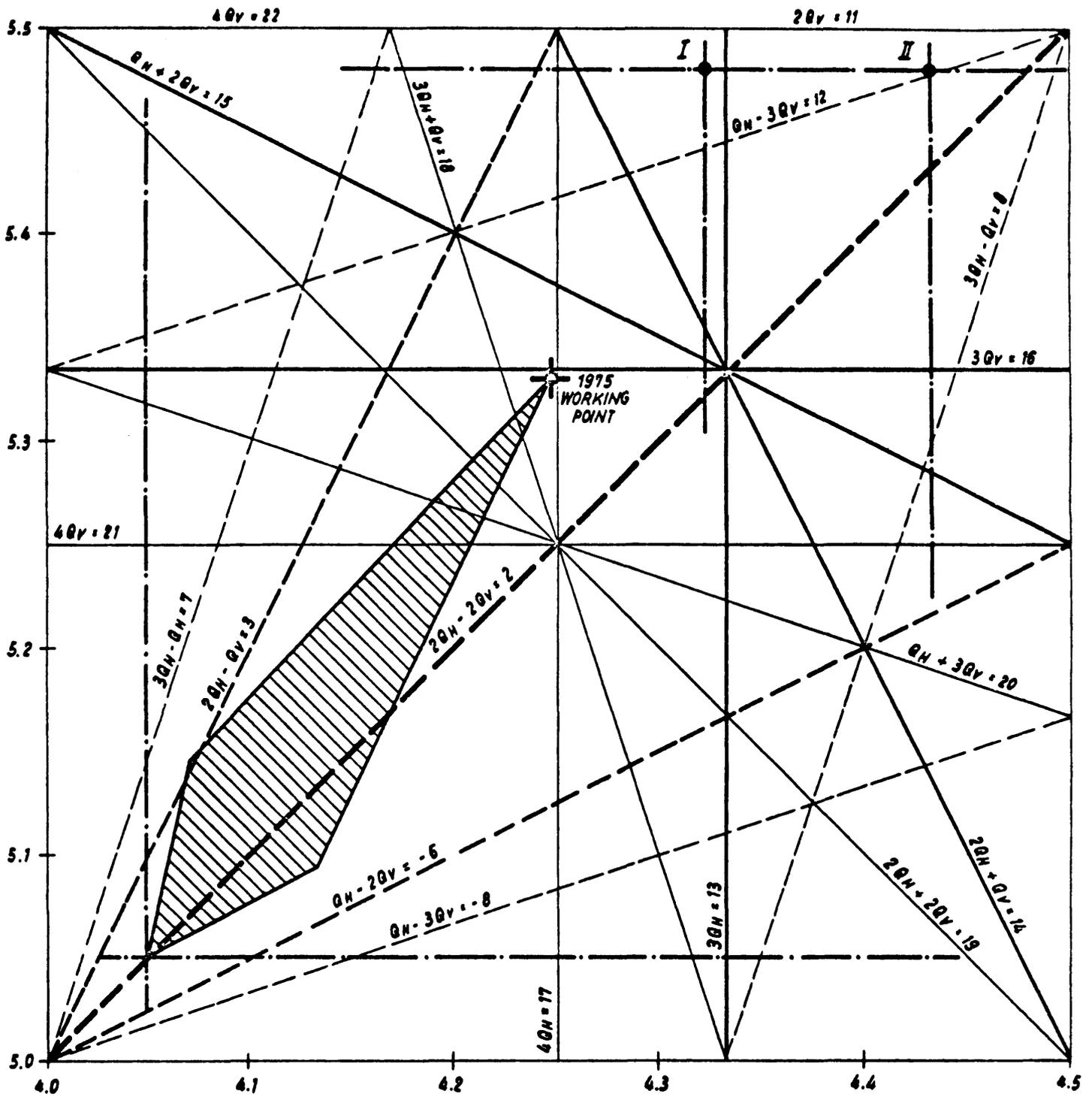


Fig. 5

POINTS DE TRAVAIL BOOSTER

L'AIRE HACHUREE CORRESPOND A:
 $E_H = 30 \pi$
 $E_V = 12 \pi$ } RECOMBINES A 800 MeV
 $N = 1.05 \times 10^{13} p$

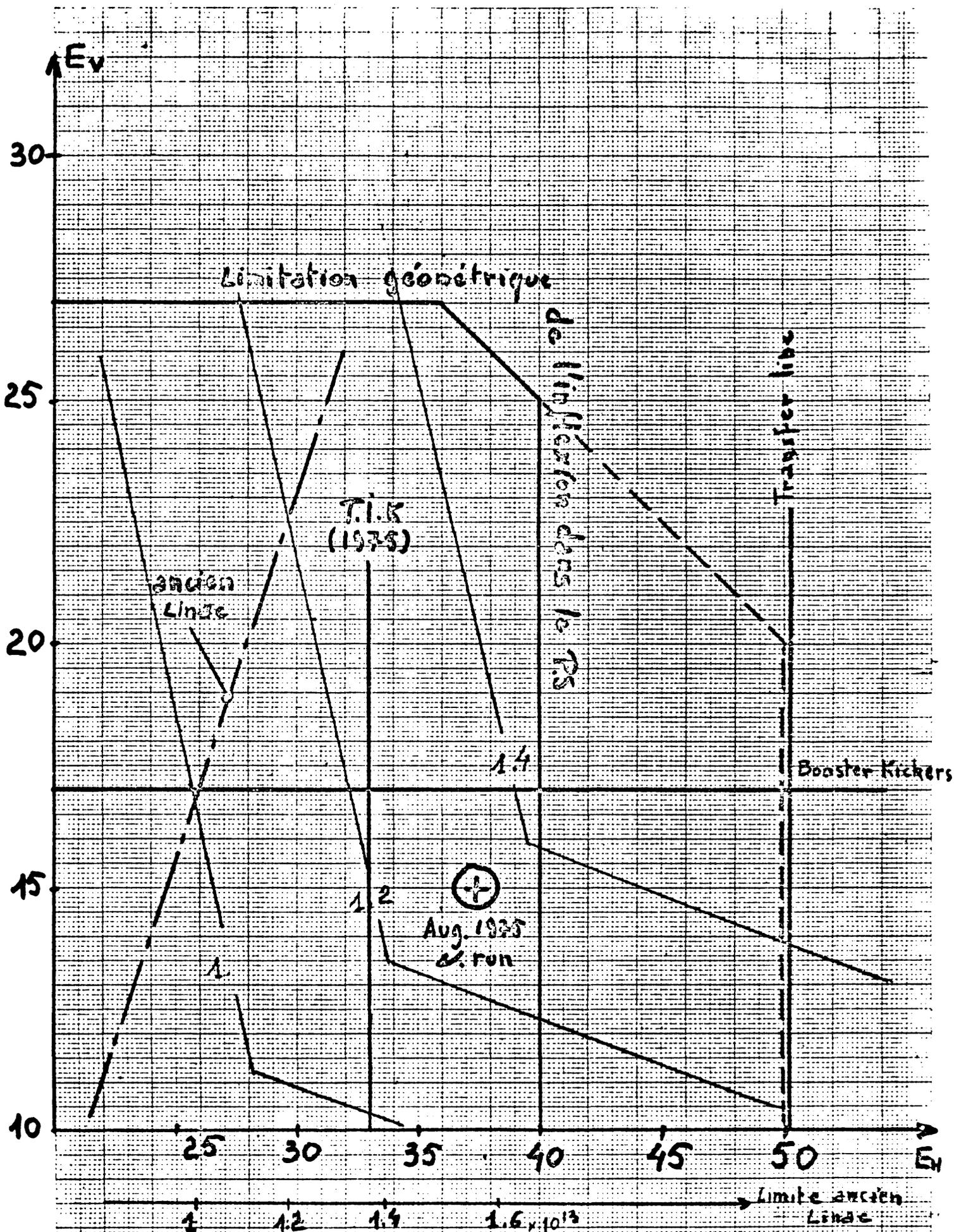


Fig. 6 : Intensité en fonction des Emittances a 800 MeV au point d'injection

Point de travail 1975

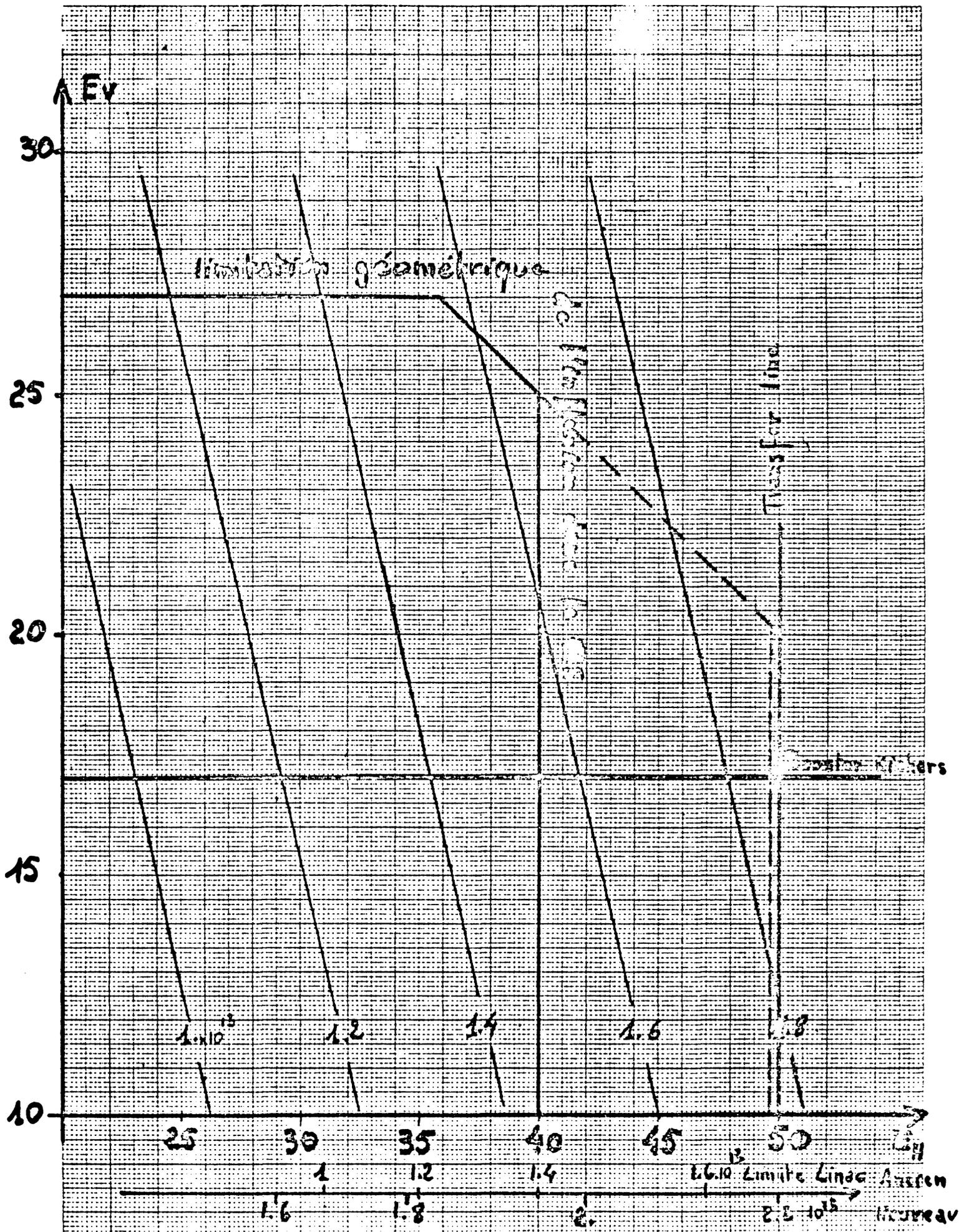


Fig. 7: Intensité en fonction des
Emillances à 800 MeV
au point d'injection

Hypothèse I

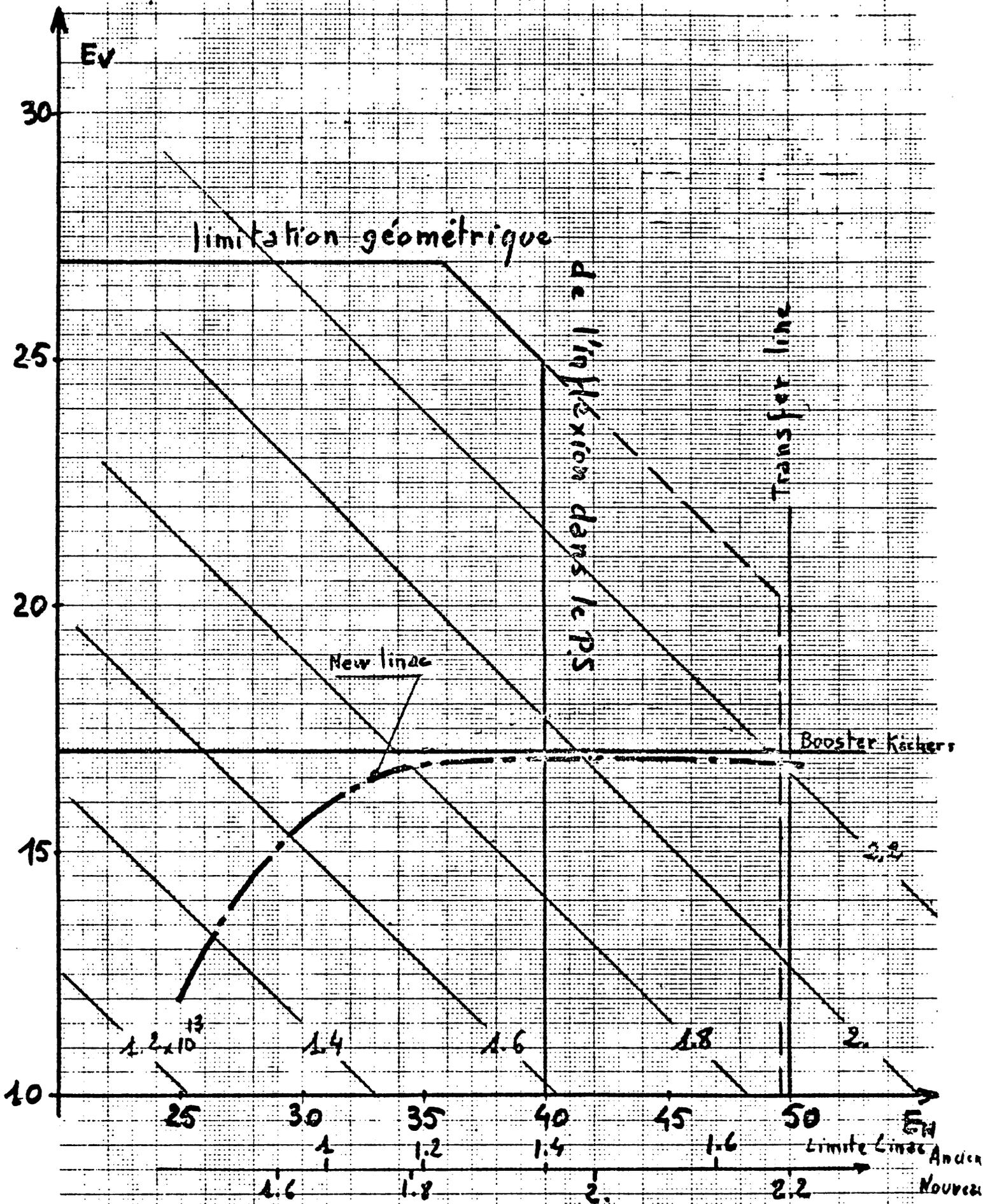
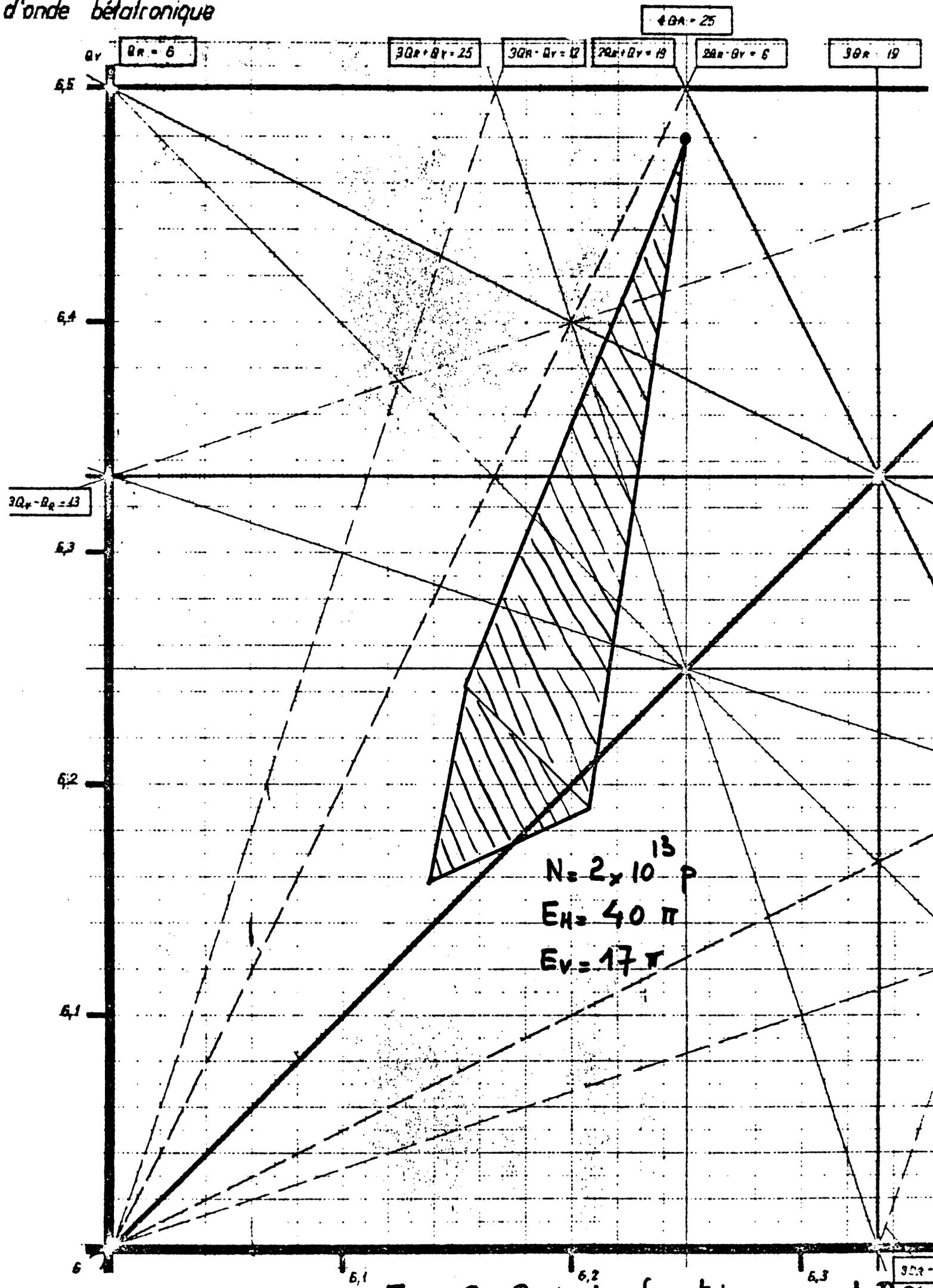


Fig. 8: Intensité en fonction
des Emittances
au point d'injection

Hypothese II

d'onde bétatronique



Linac

Multifour

RF

Capture

transversal

Accélérat. Booster

Transfert

PS

Inflexion

Accélérat. PS

Ancien linac
 $i = 86 \text{ mA}$
 $E_0 = 8$
 $\Delta E = 100 \text{ keV}$
 Impulsion
 utile: $25 \mu\text{s}$

Nouveau
 Linac
 selon
 specifications

M.T
 efficacité
 thermique
 20% est

efficacité
 capture
 80%

Point de
 fonctionn
 75
 Fig. 6

Point de
 fonctionn
 75
 pas de
 blow up

Hypothese
 I
 Fig. 7

Hypothese
 I
 blow up
 25%
 E_H, E_V

Hypothese
 II
 Fig. 8

Hypothese
 II
 blow up
 25%
 E_H, E_V

blow up
 25%
 E_H, E_V

blow up
 10%
 E_H, E_V

blow up
 E_H 10%
 E_V 50%

Limite E_H/I
 Fig. 3 a

Limite sur ΔE
 (charge d'espace)
 Fig. 4
 Beam-loading
 $\rightarrow 2 \cdot 10^{13}$

Charge d'espace
 transversale
 Limite E_V/I
 E_H
 Fig. 5, 6, 7, 8

Blow up
 résiduel
 sur resonances
 Fig 5, 6, 7, 8

Acceptances
 limitées.
 (E_H, E_V)
 Fig. 6, 7, 8

Adaptation.
 Acceptances
 limitées.
 Fig. 6, 7, 8

Pour faisceau
 très haute
 intensité
 ($\approx 2 \cdot 10^{13}$)

Fig. 10