

PREMIER MINISTRE  
COMMISSARIAT A  
L'ÉNERGIE ATOMIQUE

MESURE DU RENDEMENT DE CONVERSION  
NEGATON - POSITON

par

M. BERNARDINI

*Laboratori di Sincrotrone, Frascati*

J. MILLER, G. TAMAS, C. SCHUHL, C. TZARA

*Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay*

Rapport CEA n° 2212

1962

CENTRE D'ETUDES  
NUCLÉAIRES DE SACLAY

CEA 2212 - BERNARDINI M., MILLER J., TAMAS G., SCHUHL C.,  
TZARA C.

MESURE DU RENDEMENT DE CONVERSION NEGATON-POSITON (1962)

Sommaire.- Le rendement de conversion de négatons en positons a été mesuré pour diverses énergies de négatons incidents (de 9 à 30 MeV) et diverses épaisseurs de convertisseur (de 0,5 à 6 mm de platine). Les spectres de positons obtenus sont comparés aux spectres calculés. L'épaisseur optimale de convertisseur est trouvée égale à environ une longueur de radiation du négaton incident.

CEA 2212 - BERNARDINI M., MILLER J., TAMAS G., SCHUHL C.  
TZARA C.

MEASUREMENT OF THE YIELD OF CONVERSION OF NEGATONS IN  
POSITONS (1962)

Summary.- The yield of conversion of negatons in positons has been measured at different incoming negaton energies (from 9 to 30 MeV) and various converter thicknesses (from 0,5 to 6 mm of platinum). The obtained positron spectra are compared to the calculated ones. The optimum thickness of converter has been found to equal roughly a radiation length of the incoming negaton.

- Rapport C.E.A. n° 2212 -

Service de Physique Nucléaire à Moyenne Energie

MESURE DU RENDEMENT DE CONVERSION NEGATON-POSITON

par

M. BERNARDINI

Laboratori di Sincrotrone, Frascati

J. MILLER, G. TAMAS, C. SCHUHL, C. TZARA

Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay

## MESURE DU RENDEMENT DE CONVERSION NEGATON - POSITON

Diverses expériences et projets en cours exigent des données concernant la production de positons relativistes. En particulier la construction du deuxième anneau de stockage de Frascati, à circulation simultanée de positons et de négatons ainsi que la décision d'installer à Saclay une cible de conversion négaton-positon au premier tiers de l'accélérateur linéaire nous ont conduits à mesurer le rendement de conversion. Ces mesures ont été menées pour diverses énergies de négatons et diverses épaisseurs de cible de conversion en platine <sup>1)</sup>, afin de disposer de renseignements plus sûrs que ceux fournis par les calculs assez approximatifs actuellement publiés [1] [2] [3].

L'étude a été effectuée à l'accélérateur linéaire de Saclay à l'aide du monochromateur de positons en secteur d'orange déjà décrit [6]. Cet ensemble d'aimants a été conçu pour produire des photons monochromatiques par annihilation de positons ; il n'est donc pas spécialement bien adapté à la mesure envisagée ici.

### DESCRIPTION DE L'APPAREILLAGE (fig. 1)

Le faisceau de négatons issus de l'accélérateur linéaire est conduit au moyen de bobines de Helmholtz jusqu'à une cible de platine ; une paire de quadrupoles focalise le faisceau sur la cible. Celle-ci est atteinte après traversée d'une fenêtre de 4/10 mm d'aluminium située 50 mm avant la cible. Le faisceau émergent de la cible de conversion pénètre dans la boîte à vide des aimants à travers une fenêtre d'aluminium de 2/10 mm : un premier analyseur magnétique en secteur d'orange suivi d'une fente de largeur réglable isole un faisceau de positons (ou de négatons) monoénergétiques ; un deuxième analyseur reprend ce faisceau et le fait converger dans une chambre d'ionisation emplie de xénon [7] située à la sortie de la boîte à vide du deuxième analyseur. Des coupes du faisceau étaient obtenues par irradiation d'émulsions à rayons X, situées contre la paroi terminale de la seconde boîte à vide en Mylar de 5/10 mm d'épaisseur.

---

1) Des données expérimentales partielles sur le rendement de conversion peuvent être trouvées dans les références [4] et [5].

Une chambre d'ionisation à paroi épaisse de graphite [8] placée dans l'axe du faisceau incident permet de contrôler ce dernier.

Les cibles de conversion en platine sont constituées d'un empilement de feuilles de 2/10 mm d'épaisseur. Un courant d'air les refroidit. L'épaisseur de ces empilements est de 10 mm environ.

L'ETALONNAGE EN ENERGIE DE L'ANALYSEUR a été effectué par observation de la diffusion élastique, par le niveau de 15,11 MeV du carbone-12, de la raie de photons monochromatiques en fonction de l'énergie des positons [4].

LA RESOLUTION  $R = \Delta E/E$  a été calculée par deux méthodes : d'une part graphiquement [6] et d'autre part analytiquement au moyen des données de JAFFEY et al [8]. Les deux valeurs ainsi obtenues sont voisines. Dans ce qui suit nous avons adopté, pour la résolution, la valeur calculée analytiquement soit, dans nos conditions expérimentales,  $R = 1,5$  pour-cent. Il ne nous a pas été possible de la mesurer expérimentalement par suite des imprécisions sur l'optique des aimants (Cf note in fine).

#### L'OUVERTURE ANGULAIRE DE L'ANALYSEUR

A partir de la photographie du faisceau à la sortie de la deuxième boîte à vide (fig. 3), on détermine les trajectoires enveloppes du faisceau sortant : en supposant exactes les trajectoires calculées et en utilisant les caractéristiques optiques de l'analyseur, on obtient les trajectoires enveloppes du faisceau entrant. L'erreur faite sur la détermination de l'angle solide défini par l'enveloppe provient surtout de la frontière diffuse de la section du faisceau ; elle est estimée à  $\pm 10$  pour-cent. L'angle solide d'acceptance est trouvé égal à :

$$\Omega_e = (5,4 \pm 0,6) 10^{-3} \text{ stéradian.}$$

#### MESURE DE L'INTENSITE DES POSITONS

Une chambre d'ionisation à parois minces de 5/10 mm d'aluminium et emplie de xénon sous une pression de 1 atmosphère intercepte le faisceau sortant. Le parcours  $y$  est de 84 mm. Le coefficient d'amplification est calculé à partir du nombre de paires d'ions créées par les électrons relativistes ; il est connu à quelques pour-cent près. Nous avons vérifié que la tension appliquée entre les électrodes de la chambre est suffisante pour atteindre la saturation.

L'intensité était mesurée avec un microampèremètre de classe 0,5.

Nos résultats bruts sont donc valables à mieux que  $\pm 15$  pour-cent.

## CONDUITE DES MESURES

L'accélérateur linéaire est réglé aux conditions demandées. Une fois la stabilité atteinte, le spectre d'énergie des négatons est déterminé au moyen d'un analyseur magnétique situé à la sortie de l'accélérateur. Cette opération est effectuée avant et après chaque série de mesures pour vérifier la stabilité des conditions.

Le courant de négatons est mesuré à l'aide de cavités à hyperfréquences, de transformateurs à ferrites et en présentant au faisceau la cible de platine épaisse.

Les mesures du courant de positons sont alors effectuées pour chaque épaisseur de convertisseur de platine en fonction du courant magnétisant dans l'analyseur.

## RESULTATS

Les mesures ont été effectuées pour des énergies de négatons primaires  $E_- = 9,3 - 11,5 - 15,0 - 19,5 - 24,5$  et  $30,5$  MeV, des épaisseurs de platine de  $0,5 - 1 - 2 - 3 - 4$  et  $6$  mm et des énergies  $E_+$  de positons variant par bonds de  $1,6$  MeV, sauf pour la mesure à  $E_- = 9,3$  MeV pour laquelle les intervalles d'énergie étaient inférieurs.

Les courants  $i(E_-, E_+)$  directement mesurés sont ensuite divisés par  $\Delta E_+ = R \cdot E_+$ , par l'intensité de négatons primaires et par l'amplification de la chambre d'ionisation à xénon.

On obtient ainsi  $\frac{d\varphi(E_-, E_+)}{dE_+}$ , rendement de conversion  $e^- \rightarrow e^+$  par bande d'énergie de

$1$  MeV et dans l'angle solide  $\Omega_e = 5,4 \cdot 10^{-3}$  stéradian (fig. 4, 5, 6, 7, 8, 9) :

$$\frac{d\varphi(E_-, E_+)}{dE_+} = \frac{i_+}{R \cdot E_+}$$

où  $R$  est la valeur de la résolution calculée ;  $\Omega_e$  est la valeur de l'angle solide déterminée expérimentalement.

## CONCLUSIONS

Le rendement  $\frac{d\varphi(E_-, E_+)}{dE_+}$  est en général optimum pour une épaisseur de convertisseur de l'ordre d'une longueur de radiation. Le réseau de courbes présenté permet de choisir l'épaisseur optimale en fonction d'exigences fixées à l'avance.

Il permet aussi de choisir, connaissant la caractéristique courant-énergie d'une section accélératrice à ondes progressives, la position du convertisseur ( $e^-$ ,  $e^+$ ) la plus efficace à l'intérieur de cette section.

Les rendements que nous obtenons en supposant la résolution correcte sont très inférieurs aux rendements calculés [1] [2] [3] (fig. 10 et 11).

Dans [1] et [3] les approximations faites sont différentes de celles adoptées dans [2], qui s'applique uniquement à une cible fine (épaisseur  $e \leq 0,2$  longueur de radiation).

Dans ce genre de calculs, la difficulté vient de la composition de quatre distributions angulaires : la diffusion multiple des négatons incidents dans le convertisseur, la distribution angulaire intrinsèque du rayonnement de freinage, la distribution angulaire intrinsèque des paires créées, la diffusion multiple des positons émergents, en se limitant au terme le plus bas dans la cascade.

Il est relativement aisé de calculer le spectre de positons intégré dans tout l'espace (en se limitant toujours au premier terme de la cascade), soit  $\frac{dN}{dE_+}(E_-, E_+)$ .

La distribution angulaire normalisée  $f(\theta, E_-, E_+)$  dépend de l'énergie des positons. En l'écrivant sous la forme

$$f(\theta, E_-, E_+) = \frac{1}{n \sigma^2} g(\theta, E_-, E_+)$$

où  $\sigma$  est l'écart quadratique de  $f(\theta, E_-, E_+)$  et où  $g(0, E_-, E_+) = 1$ , on voit bien comment une estimation erronée de  $\sigma$  peut produire une erreur importante sur le rendement de conversion vers l'avant. On sait par exemple que le rayonnement de freinage dans une cible épaisse est souvent incorrectement calculé (Cf par exemple [9]). On est donc réduit à un calcul où les approximations sont douteuses, mais qui a le mérite d'être présenté sous forme analytique et de permettre ainsi de prévoir un choix de conditions adaptées à un but fixé, ou bien à un calcul numérique pour des énergies de négatons primaires et de positons fixées, et un angle donné.

Les mesures relatives présentées ici sont plus sûres et plus rapidement obtenues que les calculs. Il faut toutefois remarquer que certaines conditions expérimentales peuvent avoir une influence sur les valeurs obtenues :

1. Les feuilles d'aluminium situées avant et après le convertisseur diffusent les négatons incidents et les positons sortants. Elles élargissent la distribution angulaire et réduisent donc l'intensité vers l'avant.

2. La source de positons est d'étendue finie, estimée inférieure à  $0,5 \text{ cm}^2$ . Ce facteur réduit aussi l'intensité des positons par unité d'angle solide.

3. La résolution réelle du monochromateur de positons est probablement inférieure à la valeur calculée (Cf note).

Nous concluons donc que les résultats de ce travail représentent une limite inférieure du rendement de conversion ( $e^- \rightarrow e^+$ ). Pour compléter les données relatives à ce processus, il faudrait étudier la distribution angulaire des positons produits et connaître avec certitude la résolution du système magnétique.

Nous tenons à remercier F. AMMAN pour les discussions fructueuses que nous avons eues avec lui.

NOTE : Remarques relatives à la résolution  $R = \Delta E/E$

Une détermination expérimentale de la résolution est importante. Pour vérifier sa valeur calculée, nous avons opéré de la manière suivante : les négatons de la machine pénètrent dans l'analyseur après traversée de 6/10 mm d'aluminium qui les diffuse. Le spectre d'énergie des négatons est analysé avant et après la mesure. Le courant total  $I_t$  des négatons de l'accélérateur linéaire est mesuré préalablement par interposition d'une cible de platine d'épaisseur supérieure au parcours des négatons de 30 MeV. Cette cible est isolée et reliée à un microampèremètre.

Dans ces mesures, un capteur remplace la chambre d'ionisation à xénon. Le courant  $j(E)$  qu'il recueille est noté en fonction du courant magnétisant dans l'analyseur (c'est-à-dire en fonction de l'énergie  $E$  des négatons). On en déduit le spectre énergétique des négatons

$$\frac{di(E)}{dE} = \frac{j(E)}{R.E.} \quad \text{en } \mu A/MeV$$

et l'intensité du courant de négatons transmis par l'analyseur :

$$i_t = \int_0^{E_{\max}} \frac{di}{dE} dE$$

L'analyseur transmet donc une fraction  $f = i_t/I_t$  du faisceau entrant. La valeur de  $f$  devrait être égale à l'unité si l'angle d'ouverture du système magnétique était suffisamment grand. En fait, la valeur expérimentale est  $f = 0,15$ .

Or, une photographie du faisceau, prise à la sortie de l'analyseur, montre que sa section a une forme aplatie (fig. 2), alors qu'elle devrait être circulaire. Cela signifie que l'ouverture angulaire de l'aimant dans le sens vertical est limitée à  $3.10^{-2}$  radian. Cette divergence peut provenir soit d'un défaut de forme des pièces polaires, soit de l'influence du champ de fuite pour les trajectoires inclinées. Par contre rien ne limite le faisceau dans le sens horizontal. Enfin rappelons que la largeur à mi-hauteur de la distribution angulaire du faisceau de négatons de 27 MeV après traversée des 6/10 mm d'aluminium est d'environ  $9.10^{-2}$ .

Si la distribution angulaire des négatons était uniforme, la fraction des électrons transmis serait donnée par le rapport de la surface  $s$  de la section du faisceau à la surface  $S$  du cercle ayant pour diamètre sa plus grande dimension ( $s/S \simeq 0,14$ ). En fait, il faut tenir compte de la distribution angulaire des électrons et la fraction  $f'$  des électrons transmis est égale à

$$f' = \frac{\int_s \varphi(\theta_1) \varphi(\theta_2) d\theta_1 d\theta_2}{\int_S \varphi(\theta_1) \varphi(\theta_2) d\theta_1 d\theta_2}$$

où  $\varphi(\theta_1, \theta_2)$  est la fonction de pondération de la distribution angulaire. Si nous choisissons  $\varphi(\theta_1) \propto e^{-\theta^2/2\theta_0^2}$  avec  $\theta_0^2$  calculé par la méthode de Molière [10], nous obtenons pour  $f'$ , en admettant que la distribution angulaire est axée sur la trajectoire moyenne, et que  $s$  correspond à l'angle solide  $\Omega_e$  mesuré soit  $\theta_V = 0,03$  radian et  $\theta_H = 0,18$  radian (où  $\theta_V$  et  $\theta_H$  sont respectivement les angles verticaux et horizontaux définissant l'angle solide  $\Omega_e$ ), la valeur  $f' = 0,4$ . Si l'on suppose que la trajectoire moyenne n'est pas au centre de l'angle solide  $\Omega_e$ , la valeur de  $f'$  calculée diminue légèrement.

En tout état de cause, il est probable que la résolution réelle est inférieure à la valeur adoptée ici d'un facteur qui pourrait atteindre  $f'/f = 2,7$ . Par conséquent les valeurs de rendement de conversion  $e^- \rightarrow e^+$  que nous donnons sont trop petites du même facteur. Dans ce cas les valeurs expérimentales seraient de l'ordre de grandeur des valeurs calculées. Notons enfin que les formes des spectres de positons et la variation relative du rendement en fonction des divers paramètres sont sûres.

*Manuscrit reçu le 5 octobre 1962.*

BIBLIOGRAPHIE

- [ 1 ] TZARA C., rapport C.E.A. n° 814, 1958.
- [ 2 ] KATZ L. et LOKAN K.H., Nuclear Instruments, 1961, 11, 7.
- [ 3 ] TZARA C., rapport interne, 1961.
- [ 4 ] MILLER J., SCHUHL C., TAMAS G., TZARA C., J. Phys. Radium, 1960, 21, 755.
- [ 5 ] KATZ L., LEISS I. et TAYLOR R., rapport L.H.E. n° 9, 1960.
- [ 6 ] SCHUHL C. et TZARA C., Nuclear Instruments, 1961, 10, 213.
- [ 7 ] SCHUHL C., rapport C.E.A. n° 1800, 1960.
- [ 8 ] JAFFEY A.H., MALLMANN C.A., SUAREZ-ETCHEPARE J. et SUTER T., A.N.L. 6222, 1960.
- [ 9 ] MILLER J., rapport C.E.A. n° 655, 1957.
- [10 ] BETHE H.A., Phys. Rev., 1953, 89, 1256.

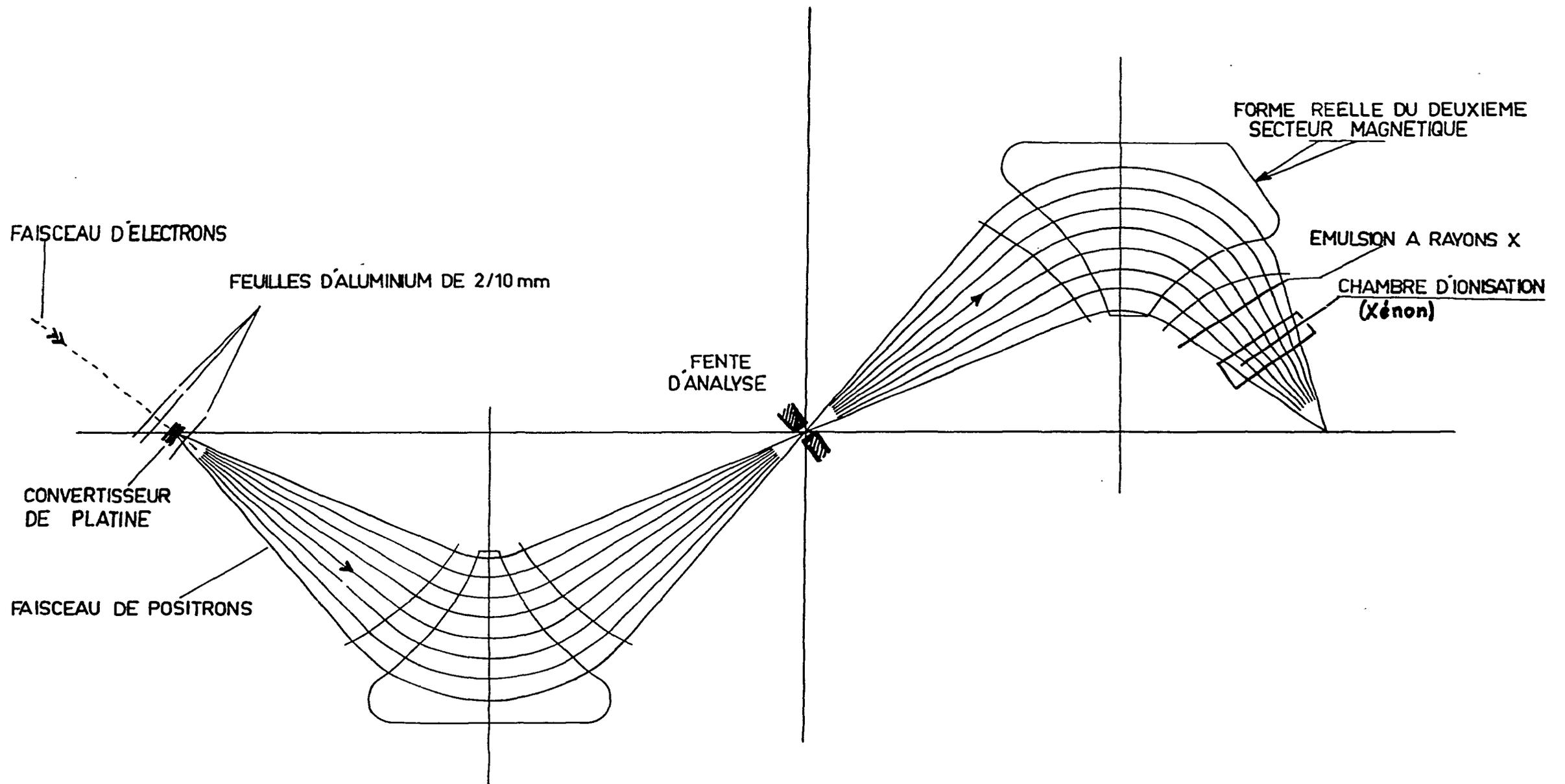


Fig. 1 - SCHEMA DE L'INSTALLATION EXPERIMENTALE.  
 QUELQUES TRAJECTOIRES THEORIQUES SONT  
 FIGUREES.

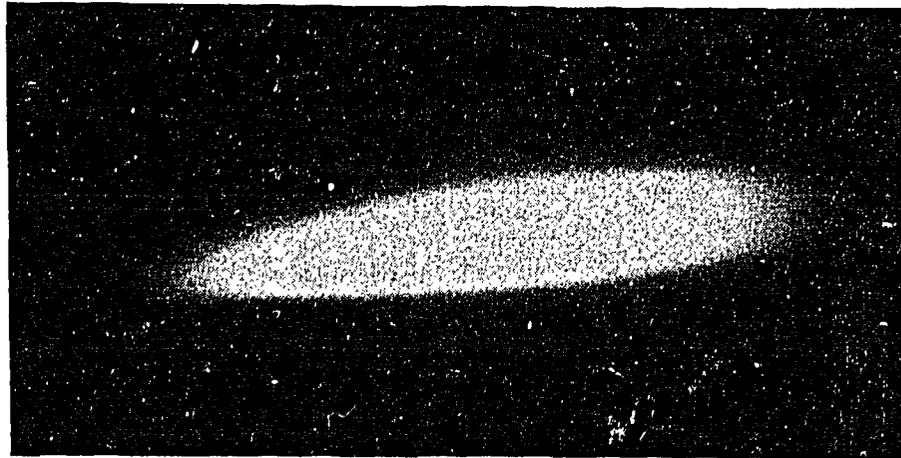


Fig. 2 - PHOTOGRAPHIE DU FAISCEAU D'ELECTRONS  
( $E_- = 27$  MeV) A LA SORTIE DE L'ANALYSEUR.

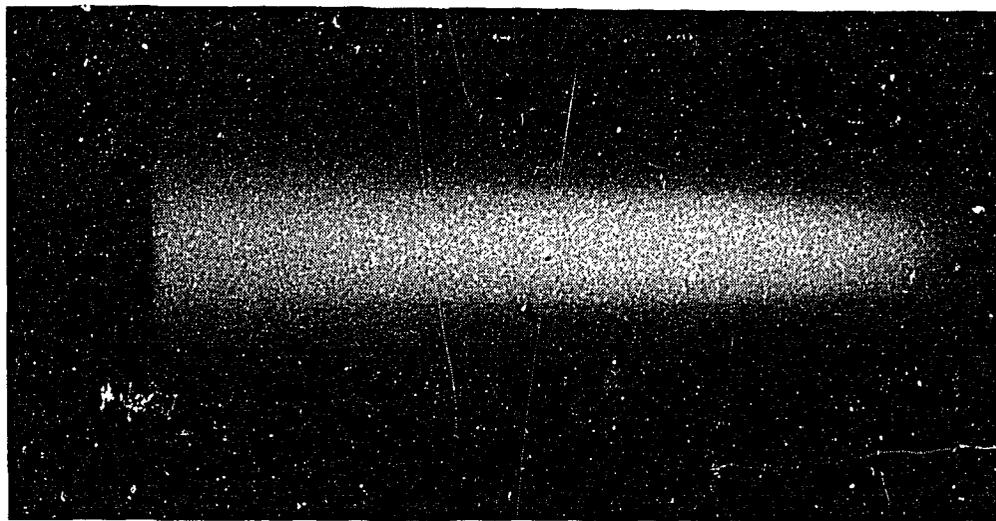


Fig. 3 - PHOTOGRAPHIE DU FAISCEAU DE POSITONS  
( $E_- = 30,5$  MeV,  $E_+ = 11$  MeV) A LA SORTIE DE  
L'ANALYSEUR.

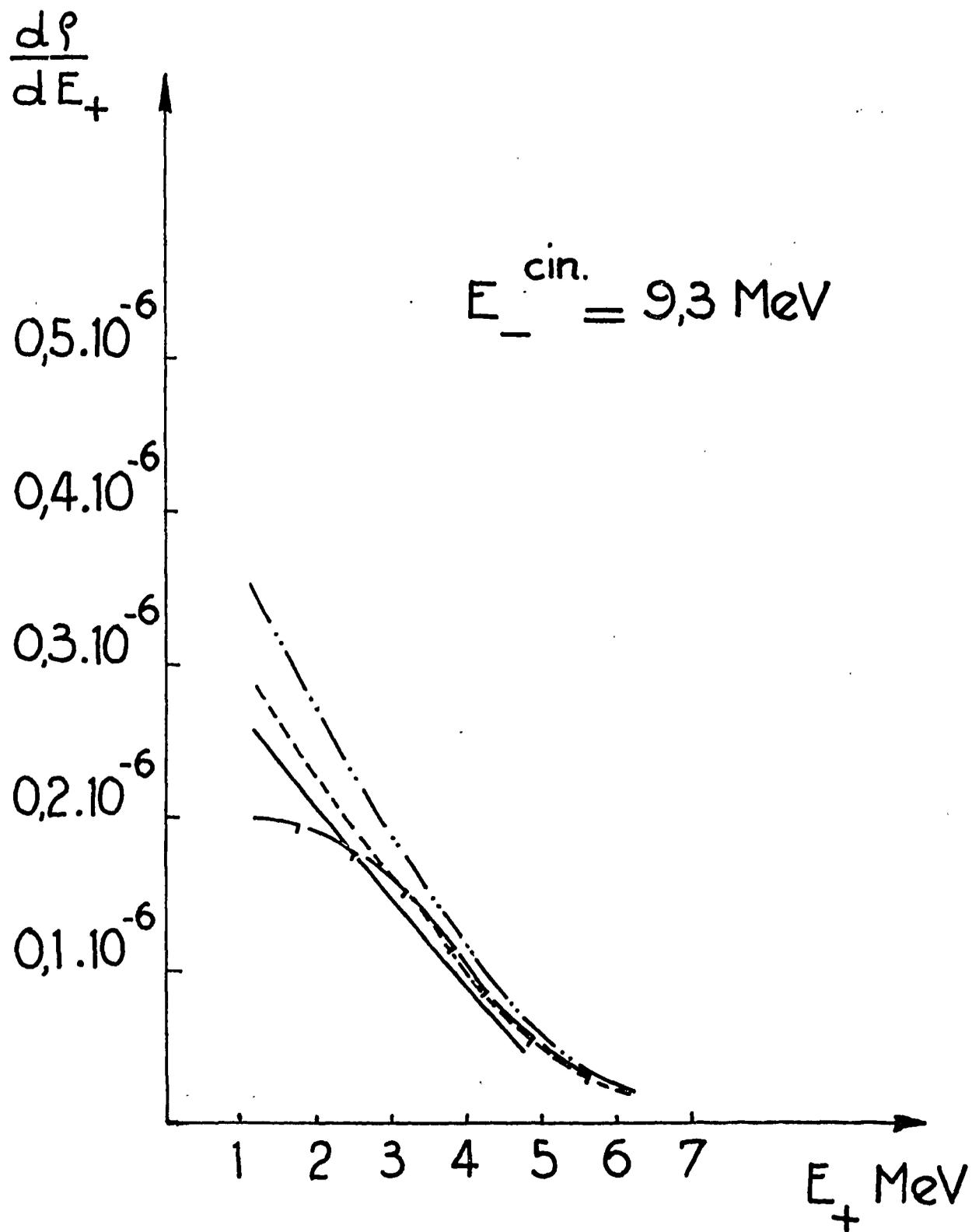


Fig. 4 - RENDEMENT ( $e^{-} \rightarrow e^{+}$ ) PAR BANDE DE 1 MeV  
DANS  $5,4 \times 10^{-3}$  STERADIAN

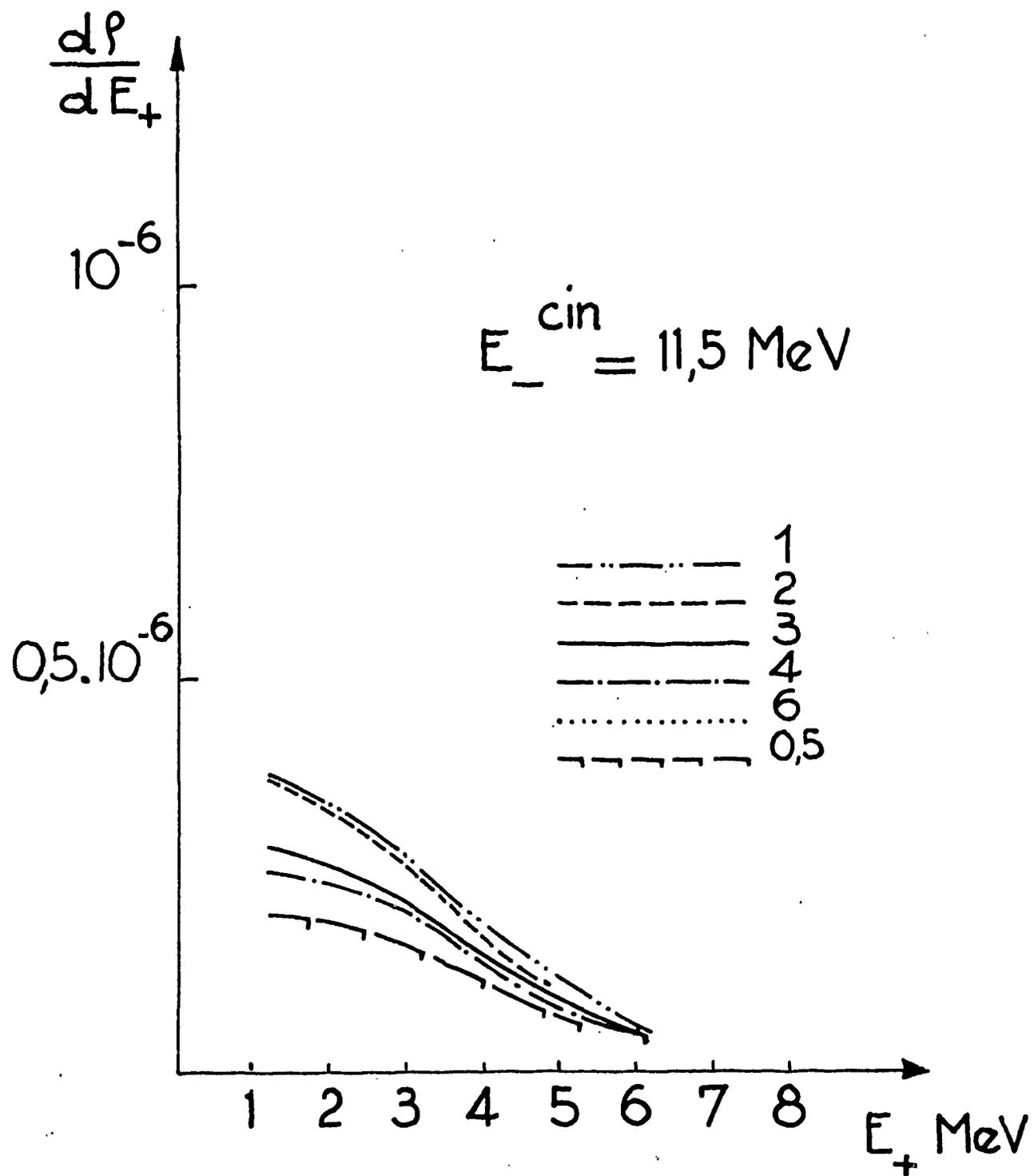


Fig. 5 - RENDEMENT ( $e^- \rightarrow e^+$ ) PAR BANDE DE 1 MeV  
 DANS  $5,4 \times 10^{-3}$  STERADIAN

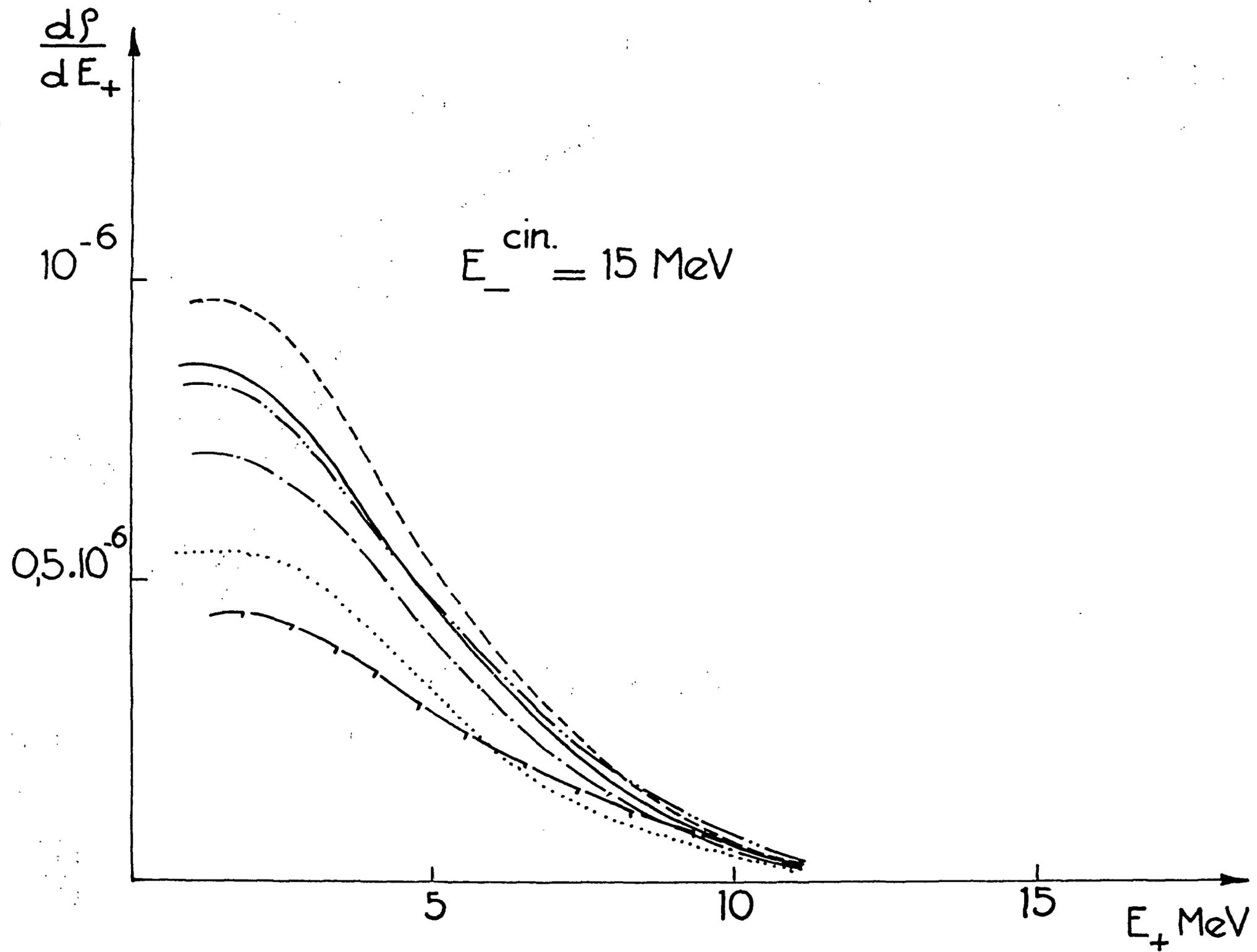


Fig. 6 - RENDEMENT ( $e^{-} \rightarrow e^{+}$ ) PAR BANDE DE 1 MeV  
DANS  $5,4 \times 10^{-3}$  STERADIAN

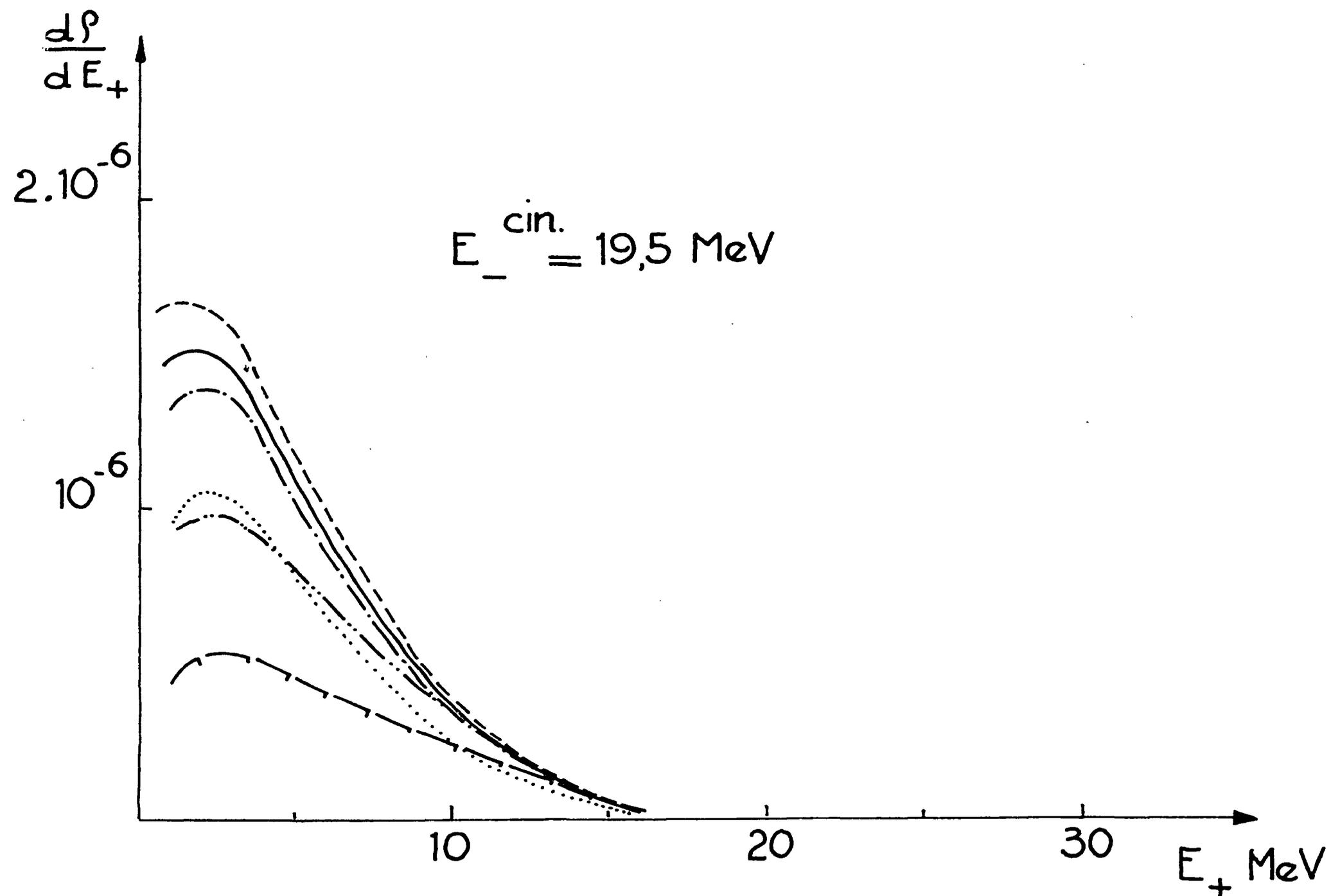


Fig. 7 - RENDEMENT ( $e^{-} \rightarrow e^{+}$ ) PAR BANDE DE 1 MeV  
 DANS  $5,4 \times 10^{-3}$  STERADIAN

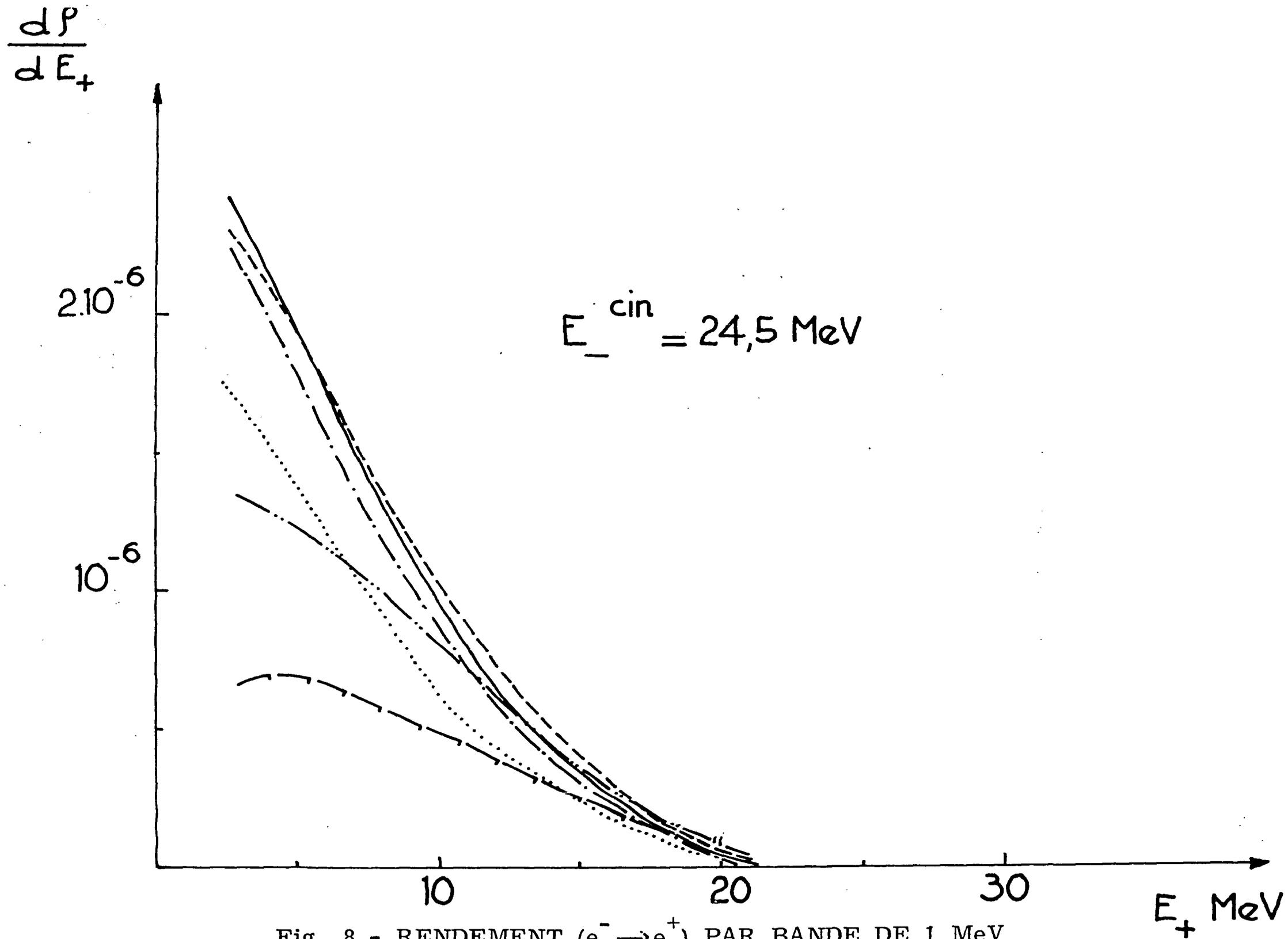


Fig. 8 - RENDEMENT ( $e^- \rightarrow e^+$ ) PAR BANDE DE 1 MeV  
 DANS  $5,4 \times 10^{-3}$  STERADIAN

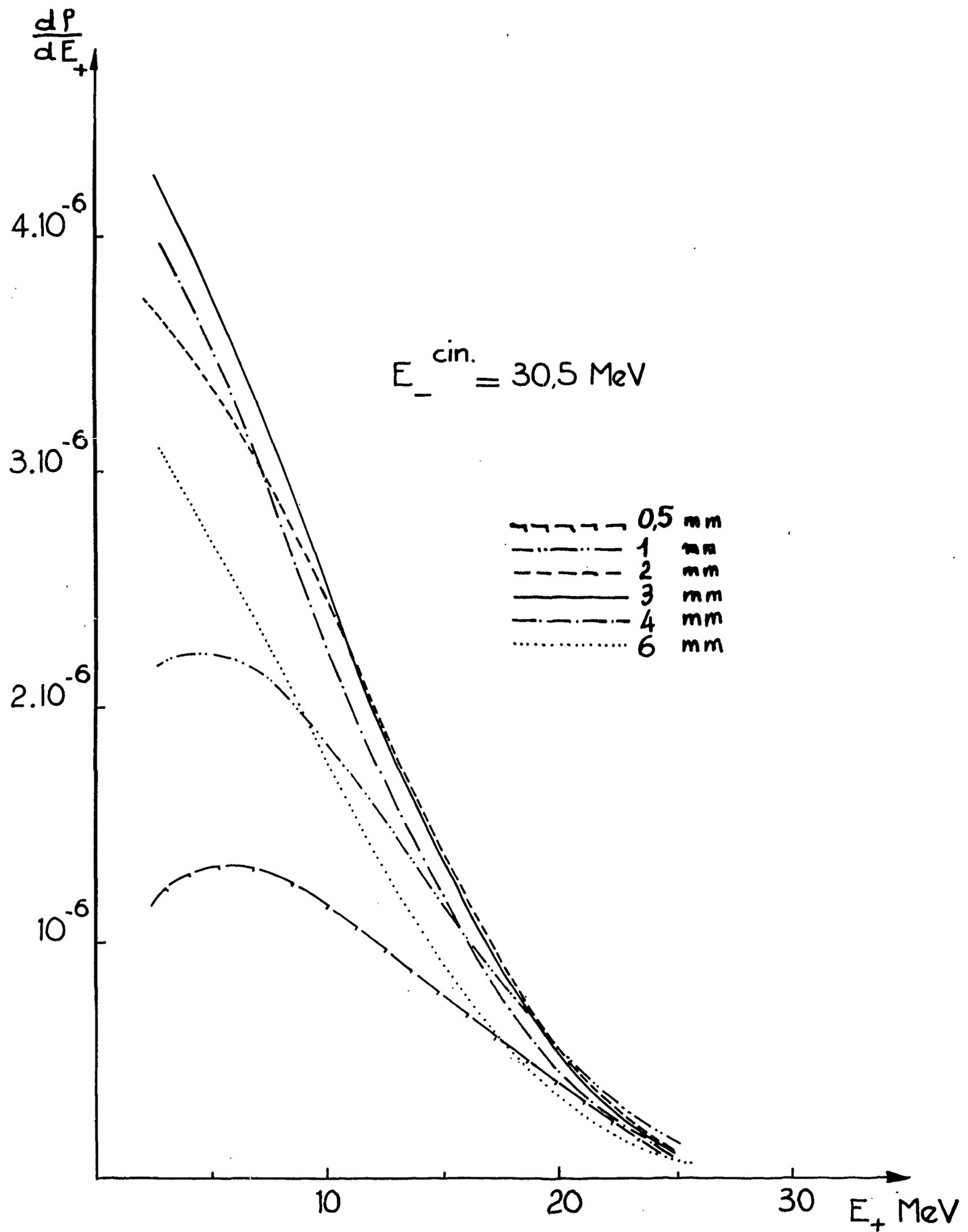


Fig. 9 - RENDEMENT ( $e^- \rightarrow e^+$ ) PAR BANDE DE 1 MeV  
DANS  $5,4 \times 10^{-3}$  STERADIAN

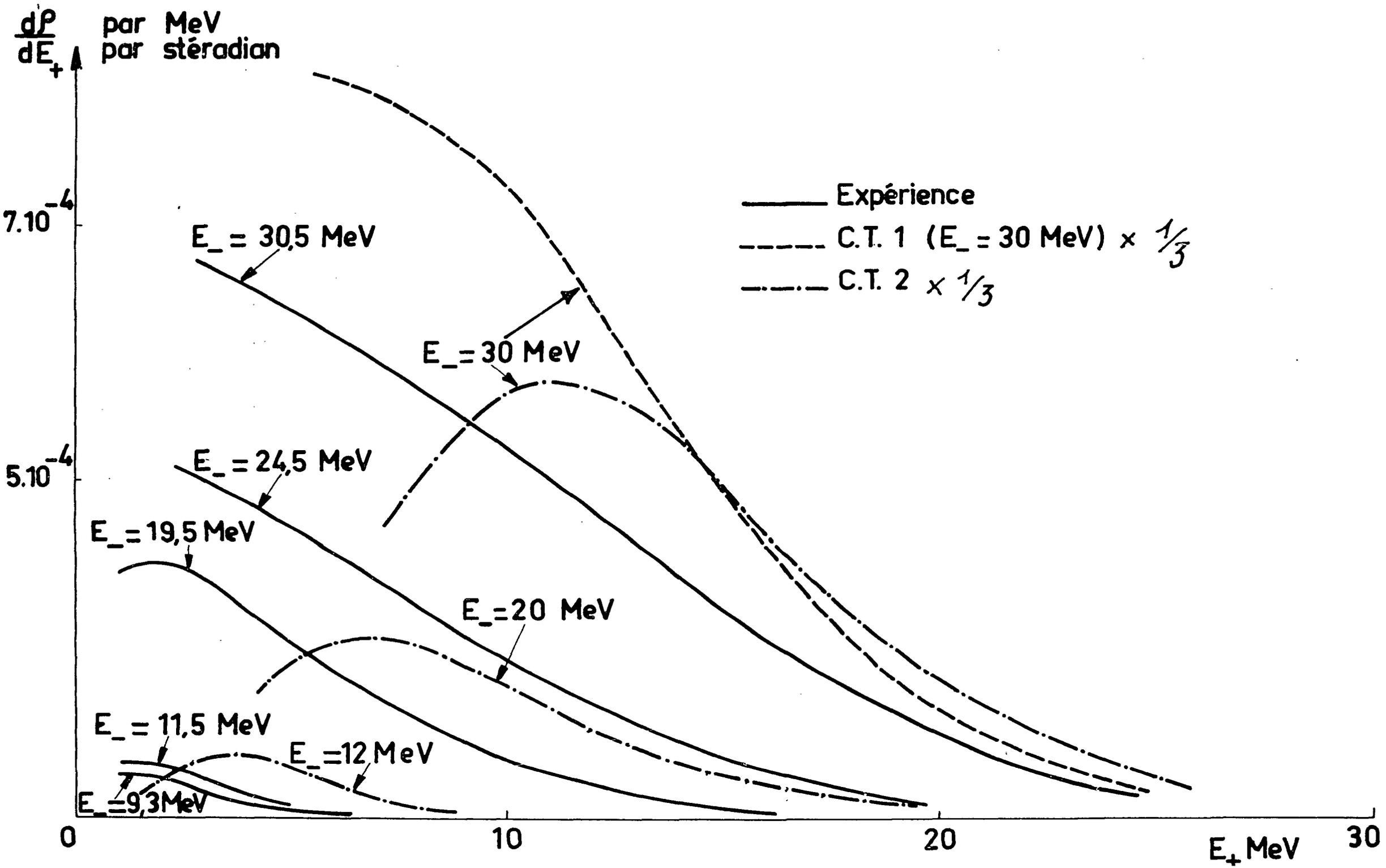


Fig. 10 - COMPARAISON DES RENDEMENTS OBSERVES ET CALCULES.  
 LES COURBES CALCULEES ONT ETE REDUITES D'UN  
 FACTEUR 3.

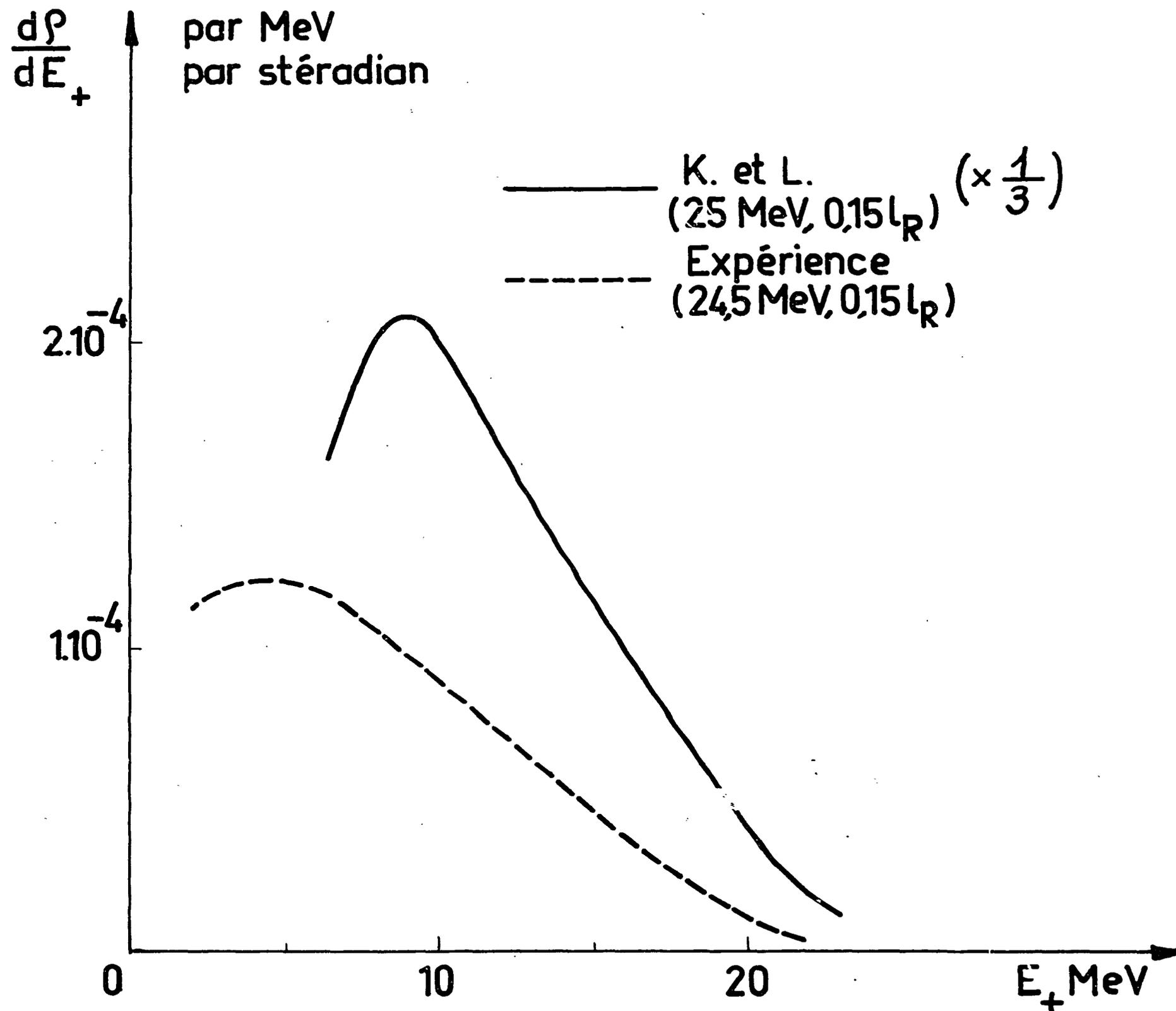


Fig. 11 - COMPARAISON DES RENDEMENTS OBSERVES ET CALCULES.  
 LES COURBES CALCULEES ONT ETE REDUITES D'UN  
 FACTEUR 3.