

Zeitschrift: Helvetica Physica Acta
Band: 36 (1963)
Heft: II

Artikel: Mesure de la section efficace de création de paires d'électrons par des électrons et des muons d'énergie connue
Autor: Gailloud, M. / Piron, C.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-113364>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 18.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Mesure de la section efficace de création de paires d'électrons par des électrons et des muons d'énergie connue*)

par M. Gailloud et C. Piron

(Laboratoire de Recherches Nucléaires E.P.U.L. Lausanne)

(15. VIII. 62)

Abstract: The cross section for direct pair production by electrons and muons of well determined energy has been measured in nuclear emulsions. The following results were obtained:

electrons of 340 ± 20 Mev	66 ± 8 mb per emulsion nucleus
electrons of 640 ± 20 Mev	108 ± 13 mb per emulsion nucleus
electrons of 670 ± 20 Mev	107 ± 13 mb per emulsion nucleus
electrons of 730 ± 20 Mev	110 ± 20 mb per emulsion nucleus
μ^- of $8,2 \pm 0,07$ Gev	$8,4 \pm 2,2$ mb per emulsion nucleus

The correction for pseudo-tridents needed only in the electron case was applied as calculated elsewhere ¹⁶⁾. This correction was checked experimentally in these emulsions by measuring the distribution of pairs as a function of distance from the primary track.

Our cross sections are compared with the theoretical calculations of BLOCK, KING, and WADA ¹⁸⁾ and found to be somewhat larger.

1. Introduction

L'interaction électromagnétique d'une particule chargée avec le champ d'un noyau peut donner lieu à la création directe d'une paire d'électrons, ce qu'on désigne sous le nom de *vrai trident*. La section efficace a été évaluée d'abord par BHABHA ¹⁾ et RACAH ²⁾. Le calcul a été repris par MIROTA, VEDA et TANAKA ³⁾ et par TERNOVSKII ⁴⁾. Le résultat est en fait approximatif, car ces auteurs ont été obligés de négliger des termes dans l'évaluation des diagrammes et de faire des simplifications grossières lors des intégrations.

La production de vrais tridents est de l'ordre de $(\alpha/2\pi)^2$ et son intérêt théorique réside dans les hautes valeurs possibles du moment de transfert, comparé aux cas de la diffusion ou du Bremsstrahlung. C'est ce qui a conduit certains auteurs ⁵⁾⁶⁾ à proposer diverses expériences pour tester l'électrodynamique à de courtes distances (jusqu'à environ 0,3 Fermi). La mesure de la section efficace totale est un premier pas dans cette direction.

La production directe de paires d'électrons par des muons permet de tester les hypothèses faites sur la structure de ce méson.

Les premiers travaux expérimentaux sur ce sujet sont relatifs à la production de tridents par des électrons et des muons du rayonnement cosmique, dans des émulsions

*) Ce travail a bénéficié de l'aide financière de la Commission pour la Science Atomique du Fonds National Suisse.

nucléaires⁷⁾ à ⁹⁾ *). Les résultats publiés présentent de sérieuses contradictions; pour certains expérimentateurs, la section efficace mesurée est bien supérieure à la valeur théorique, pour d'autres au contraire, elle est en accord avec celle-ci. Ces divergences peuvent provenir d'erreurs commises dans l'estimation de l'énergie des primaires, et dans l'évaluation du nombre des *faux tridents*, c'est à dire des paires parasites résultant de la matérialisation des photons de freinage sur la trace des primaires. De plus, tous ces résultats portent sur un nombre de tridents relativement petit, ce qui n'exclut pas de larges fluctuations statistiques.

Avec la mise en œuvre des accélérateurs de particules, certaines de ces difficultés sont éliminées. L'énergie à l'entrée du détecteur est dès lors connue avec une précision de quelques pourcent; une densité sensiblement uniforme de trajectoires parallèles peut être obtenue dans une zone étendue d'émulsion, ce qui rend la recherche et l'identification des tridents plus rapides et plus précises. S. L. LÉONARD¹⁰⁾ signale en 1956 un travail en cours à Stanford, pour des électrons de 312 ± 30 MeV, et il indique un résultat préliminaire**), non corrigé des faux tridents. En 1957, F. J. LOEFFLER¹¹⁾ (Cornell) fournit une statistique plus importante pour des électrons de 536 ± 94 MeV; cependant, sa méthode de correction des faux tridents nous paraît sujette à des biais expérimentaux. G. LÜTJENS¹²⁾ (Göttingen) donne en 1958 une valeur de section efficace totale de vrais tridents pour des électrons de 800 ± 50 MeV, mais la proportion de faux tridents qu'il indique nous semble fausse. Citons également quelques mesures¹³⁾ ¹⁴⁾ de section efficace différentielle à l'aide de compteurs.

La présente publication fait suite à une note parue en 1959 dans cette même revue¹⁵⁾ et relative à la mesure de la section efficace de création de vrais tridents pour des électrons d'environ 640 MeV. Dans ce premier travail, un calcul approché de la correction des faux tridents était indiqué, pour les conditions particulières de l'expérience. Ce calcul a été repris sur une base plus générale, les intégrations numériques étant faites au moyen d'un calculateur électronique (pour plus de détails voir ref.¹⁶⁾). D'autre part, les mesures ont été étendues à des électrons de différentes énergies comprises entre 340 et 730 MeV, ainsi qu'à des muons de 8,2 GeV.

2. Tridents produits par des électrons

Conditions expérimentales

Quatre lots de pellicules Ilford G5 de $7,5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \times 600 \mu\text{m}$ ont été exposés tangentiellement dans des faisceaux d'électrons produits par le synchrotron de Cornell. A l'entrée des émulsions, les énergies définies par le spectromètre à paires variaient linéairement d'un bord à l'autre des zones explorées, entre les limites suivantes:

lot I : $350 < E < 400 \pm 20$ MeV

lot II : $680 < E < 830 \pm 20$ MeV

lot III: $685 < E < 925 \pm 20$ MeV

lot IV : $770 < E < 1030 \pm 20$ MeV

*) Une bibliographie étendue des publications parues jusqu'en 1958 est donnée par R. WEILL dans la ref. 7).

**) Apparemment, cette étude n'a pas encore fait l'objet d'une publication détaillée.

La densité des électrons était pratiquement uniforme sur l'ensemble des pellicules d'un même lot, mais variait d'un lot à l'autre entre 10^4 et 10^5 électrons par cm^2 .

Les émulsions développées ont été étudiées au microscope à un grossissement d'environ 1000 \times , pour lequel l'observateur n'avait en général qu'une trace au point à la fois dans le champ. Il suivait cette trace depuis le bord d'entrée sur 1 cm, revenait à son point de départ puis repartait sur une autre trace. De cette manière, il ne risquait pas de suivre par mégarde deux fois une même trace en la comptant pour deux traces différentes. Le parcours de 1 cm a été choisi pour des raisons de commodité étant mesurable aisément à 1% près au moyen du vernier de la platine. Vu la perte d'énergie (30% sur 1 cm), il n'y a pas avantage à suivre les traces sur une plus grande distance. Les traces parasites étaient peu nombreuses ($< 2\%$) et la direction moyenne du faisceau incident facile à déterminer. Seules les traces s'écartant de moins de 1° de cette direction étaient prises en considération. On s'est arrangé pour que la densité des traces étudiées soit sensiblement constante sur l'ensemble des émulsions d'un même lot.

L'observateur repérait systématiquement les didents (électrons knock-on), les tridents, et les paires manifestement séparées des trajectoires primaires, mais dont l'identification pouvait présenter une certaine ambiguïté. Chacun de ces événements faisait ensuite l'objet d'un examen détaillé. Les didents étaient observés attentivement près de l'origine, pour détecter la présence éventuelle d'une troisième trace ayant pu échapper à une première observation. Les tridents et les paires séparées étaient mesurés à l'aide d'oculaires goniométrique et micrométrique pour déterminer aussi précisément que possible la distance séparant l'origine de la paire de la trajectoire primaire. L'événement était retenu comme *trident* lorsque cette distance était trop faible pour être mesurée. Le nombre de *faux tridents* (ou paires non résolubles) produits sur le parcours étudié a été calculé à l'aide de la relation (9) de la réf¹⁶).

Dans chaque lot, une partie des émulsions a été explorée une seconde fois par un observateur différent, ce qui a permis de faire des recoupements et de tester la cohérence des résultats. De plus on a vérifié que l'efficacité du dépouillement ne variait pas d'un endroit à l'autre, en particulier près du bord de l'émulsion.

Résultats

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant, où :

E est l'énergie moyenne du primaire

L la longueur totale des traces suivies

N le nombre de tridents observés

N_f le nombre de faux tridents calculé d'après la relation (9) de la réf¹⁶) pour un critère de résolution $\varrho = 0,3 \mu\text{m}$.

σ_{exp} la section efficace expérimentale en admettant, selon les données d'Ilford, $7,88 \cdot 10^{22}$ noyaux par cm^3 d'émulsion.

$\sigma_{théor.}$ la section efficace théorique, d'après BLOCK et COLL¹⁸).

Pour calculer la valeur moyenne de l'énergie des primaires, on a tenu compte non seulement de la variation d'énergie le long du bord d'entrée de l'émulsion, mais aussi de la perte sur 1 cm.

Tableau des résultats pour les électrons

lot	E en MeV	L en m	N	N_f	$\sigma_{exp.}$ en barn par noyau	$\sigma_{théor.}$ en barn par noyau
I	340 ± 20	198,5	151	48	$0,066 \pm 0,008$	0,0575
II	640 ± 20	119,8	166	64	$0,108 \pm 0,013$	0,086
III	670 ± 20	144,1	205	83	$0,107 \pm 0,013$	0,089
IV	730 ± 20	53,3	81	34	$0,11 \pm 0,02$	0,093

La mesure de la distance entre le sommet d'une paire et la trajectoire de l'électron incident est limitée par l'imprécision sur la définition de cette trajectoire. On peut prendre comme valeur du critère de résolution la valeur $\varrho = 0,3 \mu\text{m}$, qui correspond sensiblement au rayon des grains des traces. Cette valeur s'accorde avec celle admise par d'autres auteurs.

On peut tester la méthode de calcul des faux tridents et par là la valeur ϱ en comparant la distribution réelle des paires autour de la trajectoire à la distribution calculée. En pratique cependant, on ne peut mesurer cette distribution que dans un petit domaine autour de la trajectoire, car dès que la distance du sommet de la paire est de l'ordre du micron, l'efficacité du dépouillement devient mal connue. C'est ce que nous avons fait pour deux des lots (I et III) et le résultat apparaît sur la fig. 1. La courbe 1

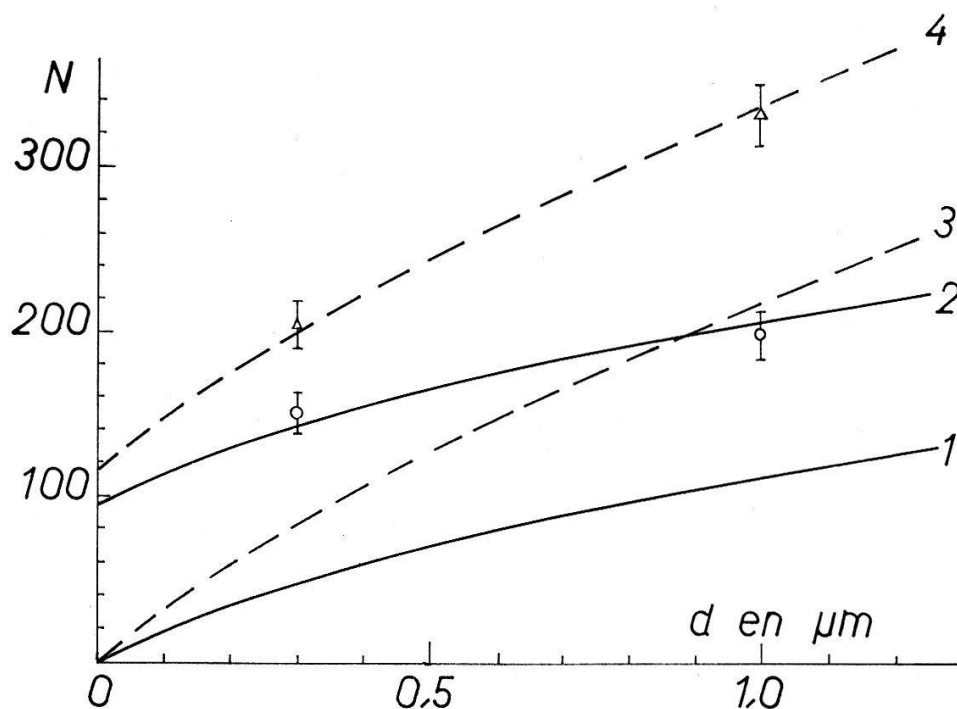


Fig. 1

Test du nombre de faux tridents

(trait plein) donne le nombre calculé de paires (faux tridents ou paires séparées) dont le sommet est à une distance inférieure à d de la trajectoire de l'électron incident. Les points expérimentaux (\odot) correspondent au nombre total de tridents (vrais ou faux)

et de paires séparées jusqu'à respectivement $0,3 \mu\text{m}$ et $1 \mu\text{m}$. La courbe 2 (trait plein) est la courbe 1 translatée selon l'ordonnée et ajustée aux points expérimentaux. Son ordonnée à l'origine est donc le nombre expérimental de vrais tridents. Les courbes 3 et 4 (trait pointillé) et les points expérimentaux (Δ) correspondent au lot III. On voit que pour chaque lot les résultats sont cohérents aux erreurs près, surtout si l'on tient compte du fait que les valeurs expérimentales pour $d = 1 \mu\text{m}$ peuvent être légèrement sous-estimées.

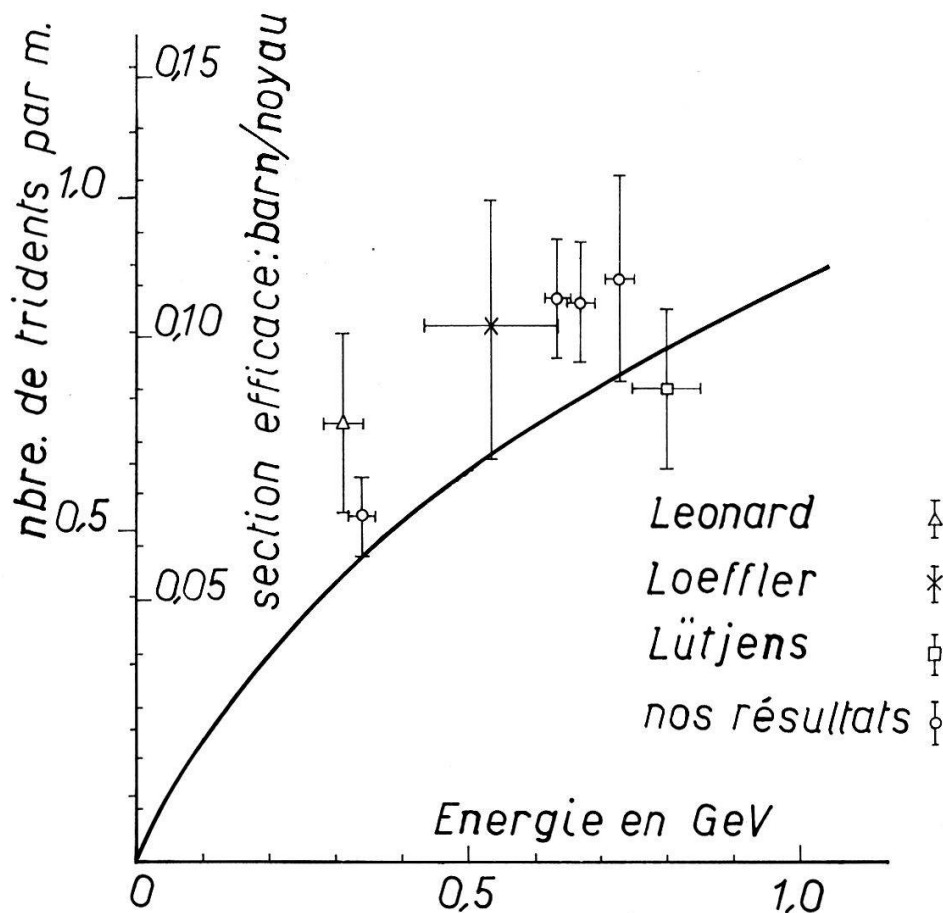


Fig. 2

Création de paires d'électrons par des électrons rapides. Ensemble des résultats, en trait plein la courbe théorique

Ainsi, l'erreur statistique est dominante, c'est donc elle que nous avons indiquée dans les résultats du tableau.

La fig. 2 groupe nos résultats et ceux dont nous avons en connaissance. On constate que dans l'ensemble les sections efficaces expérimentales sont légèrement supérieures aux valeurs théoriques.

3. Tridents produits par des mésons μ

Un lot de 50 pellicules Ilford K5 de $10\text{cm} \times 15\text{cm} \times 600\mu\text{m}$ a été exposé au faisceau de mésons μ négatifs de $8,2\text{ GeV}$ du synchrotron à protons du CERN¹⁷). L'énergie définie par l'analyseur magnétique variait d'environ $0,1\text{ GeV/cm}$ le long

du bord d'entrée de l'émulsion. La densité des traces de muons était d'environ $2 \cdot 10^4$ par cm^2 . Un filtre de graphite de 7,6 m de longueur réduisait la contamination en mésons π à moins de $0,01\%$. La contamination en électrons était inférieure à 1% .

Les traces ont été suivies au microscope à partir du bord d'entrée sur 6 cm et selon une technique analogue à celle utilisée pour les électrons. Pour éliminer les tridents produits par les électrons de la contamination, on a fait sur le secondaire le plus énergétique des mesures de diffusion sur une distance de l'ordre de 10 cm (c'est à dire environ 3 longueurs de rayonnement).

Sur une longueur de 211 m de traces, nous avons trouvé 16 tridents, dont 2 étaient produit par des électrons. Le nombre de faux tridents créés par des mésons μ est tout à fait négligeable (10^{-8} par cm), et les valeurs ci-dessus donnent directement la section efficace de vrais tridents. On trouve $\sigma_{\text{exp.}} = 8,4 \pm 2,2 \cdot 10^{-27} \text{ cm}^2$ par noyau d'émulsion, ce qui est en accord avec la valeur théorique $\sigma_{\text{théor.}} = 8,2 \cdot 10^{-27} \text{ cm}^2$.

En conclusion, si on considère l'ensemble des résultats pour les électrons, il semble bien se confirmer que la section efficace expérimentale soit supérieure ($\sim 15\%$) à la valeur théorique donnée par M. M. BLOCK¹⁸). Cet écart doit sans doute provenir des simplifications faites lors de l'intégration de la section efficace différentielle théorique.

Dans le cas des muons l'accord est meilleur que ce qu'on aurait normalement espéré vu le petit nombre d'événements.

Nous exprimons nos remerciements au Prof. Haenny pour l'appui qu'il nous a accordé dans ce travail.

Notre reconnaissance va aussi au Dr. Hyams et à son groupe pour nous avoir permis d'utiliser leur faisceau de mésons μ .

Et nous ne saurions oublier les exploratrices pour leur travail consciencieux et assidu.

Bibliographie

- 1) H. J. BHABHA, Proc. Roy. Soc. (London), *A152*, 559 (1935).
- 2) G. RACAH, Nuovo Cimento *13*, 93 (1937).
- 3) T. MUROTA, A. VEDA, H. TAMAKA, Prog. Theor. Phys. *16*, 482 (1956).
- 4) F. F. TERNOVSKII, Soviet Physics JEPT (10), 565 (1960).
- 5) J. D. BJORKEN et S. D. DRELL, Phys. Rev. *114*, 1368 (1959).
- 6) I. A. DIATLOV, Soviet Physics JEPT *8*, 108 (1959).
- 7) R. WEILL, Helv. Phys. Acta *31*, 641 (1958).
- 8) E. LOHRMANN, Phys. Rev. *122*, 1908 (1961).
- 9) M. AVAN, Ann. Phys. *3*, 123 (1958).
- 10) S. L. LEONARD, Bull. Am. Phys. Soc. *111*, 167 (1956).
- 11) F. J. LOEFFLER, Phys. Rev. *108*, 1058 (1957).
- 12) G. LÜTJENS, Zeit. für Naturforsch. *13A*, 510 (1958).
- 13) M. CAMAC, Phys. Rev. *88*, 745 (1952).
- 14) L. CRIEGE, Zeit. für Physik *158*, 433 (1958).
- 15) C. PIRON, M. GAILLOUD, M. BIASUTTI, Helv. Phys. Acta *22*, 274 (1959).
- 16) C. PIRON, M. GAILLOUD, Ph. ROSSELET, M. BIASUTTI, Helv. Phys. Acta *33*, 945 (1960).
- 17) G. BACKENSTOSS, B. D. HYAMS, G. KNOP, P. C. MARIN, U. STIERLIN, Phys. Rev. Letters *6*, 415 (1961).
- 18) M. M. BLOCK, D. T. KING et W. W. WADA, Phys. Rev. *96*, 1627 (1954).