

**Zeitschrift:** Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles  
**Herausgeber:** Société Vaudoise des Sciences Naturelles  
**Band:** 64 (1948-1950)  
**Heft:** 275

**Artikel:** Méthode de mesure des parcours et de l'abondance de groupes secondaires à l'aide des émulsions photographiques  
**Autor:** Najar, Murad  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-273980>

### **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:** 16.04.2026

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

## **Méthode de mesure des parcours et de l'abondance de groupes secondaires, à l'aide des émulsions photographiques**

PAR

*Murad NAJAR*

(Séance du 23 novembre 1949)

Ce sujet est essentiellement lié à l'emploi des émulsions photographiques spéciales dans l'investigation des phénomènes nucléaires et plus particulièrement à la détermination du parcours moyen de groupes de particules ionisantes dans ces types d'émulsions.

Les caractéristiques des émulsions nucléaires sont nettement différentes de celles des émulsions photographiques usuelles. La densité des grains d'halogénure d'argent dans l'émulsion des plaques nucléaires est très grande, ce qui confère à celle-ci la propriété d'être particulièrement sensible aux particules nucléaires ionisantes. En effet, si l'on imprègne, par exemple, une émulsion nucléaire par une solution d'un sel radioactif, les noyaux radioactifs absorbés émettront, au sein même de l'émulsion, des particules qui, par leur pouvoir ionisant, produiront des images latentes. Le développement photographique permettra de rendre visibles à l'observation microscopique, les traces résultant de l'émission radioactive. Le développement photographique comporte, comme dans le cas des émulsions photographiques ordinaires, deux opérations essentielles :

1. L'immersion de l'émulsion nucléaire dans un révélateur qui a pour but de réduire, à l'état d'argent métallique, les grains d'halogénure d'argent constituant l'image latente.

2. L'immersion de la plaque révélée dans un bain de fixation, cette deuxième opération entraîne une dissolution des grains d'halogénure d'argent non impressionnés. Cette dissolution, vu la grande concentration des grains d'halogénure dans ces émulsions, amène une diminution notable du volume original de l'émulsion utilisée.

Cette diminution se traduit, d'ailleurs, par ce que l'on nomme le facteur de contraction. Ce facteur de contraction est exprimé par le rapport des deux épaisseurs de l'émulsion  $\frac{h}{h^+}$   $h$  représentant l'épaisseur initiale de l'émulsion utilisée et  $h^+$  l'épaisseur finale après l'opération du fixage.

Il a été établi, d'une part, que ce facteur est environ égal à 2, et d'autre part, que la contraction a exclusivement lieu dans le sens de l'épaisseur.

La connaissance de ce facteur est importante. En effet, supposons qu'au cours d'une observation microscopique qui a pour but de déterminer le parcours moyen d'un groupe de particules ionisantes, nous rencontrons une trace nettement

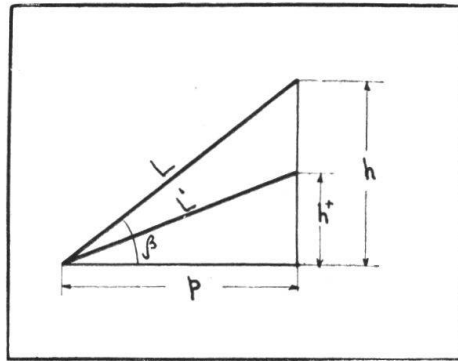


FIG. 1.

incliné par rapport à l'horizontale et représentée par le schéma ci-contre (fig. 1).

Soit  $L'$  la longueur de la trace, en fait la longueur mesurée à l'aide du micromètre oculaire monté sur le microscope, n'est autre que  $p$ . La latitude de mise au point ou profondeur de champ du microscope  $\epsilon$  étant inférieure à la dénivellation  $h^+$  des extrémités de la trace, on doit mettre au point, successivement, les deux extrémités de celle-ci et, ce faisant, lire la valeur de  $p$  sur le micromètre oculaire. La valeur de  $h^+$  est également donnée à l'aide d'un comparateur à cadran dont est muni le microscope, permettant la mesure de  $h^+$  avec une erreur inférieure à 1 micron. Mais  $p$  ne représente pas la vraie longueur de la trace. Toutefois, connaissant  $p$ ,  $h^+$  et le facteur de contraction on peut tout simplement, à l'aide de la relation de Pythagore, déterminer  $L$ , vraie longueur de la trace :

$$L = \sqrt{p^2 + h^2} \quad \text{avec } h \cong 2h^+$$

Mais la connaissance du facteur de contraction n'est pas précise car celui-ci n'est pas rigoureusement égal à 2. Ceci est

une grande cause d'erreur sur l'estimation de  $L$  à l'aide de la formule de Pythagore. La valeur de  $h^+$  est également entachée d'une erreur dépendant de la profondeur de champ du microscope.

*Détermination du parcours moyen d'un groupe de particules émises par un élément radioactif.*

La connaissance du parcours moyen est une indication précieuse, elle permet d'établir différentes propriétés de l'élément radioactif considéré, telles que l'énergie des particules émises, la détermination de la période, etc.

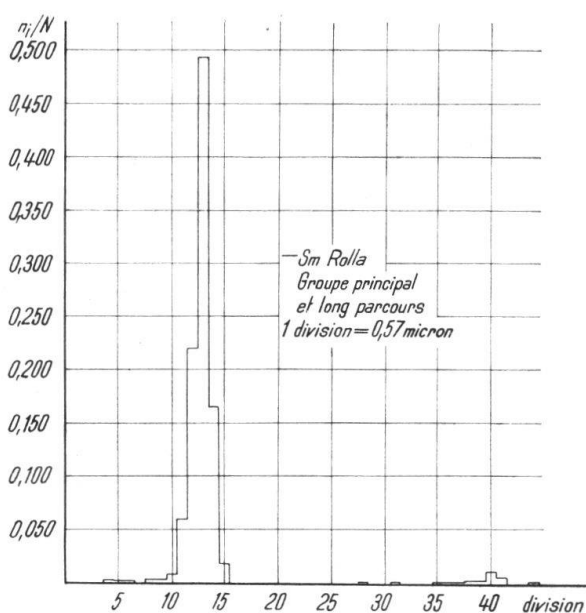


FIG. 2.

La définition du parcours moyen est basée sur une statistique des longueurs des traces émises dans l'émulsion nucléaire par l'élément radioactif étudié.

Prenons le cas d'un élément qui émet un groupe déterminé de particules alpha; ces particules émises ont des vitesses identiques, cependant, les parcours de ces particules sont sujets à des fluctuations; ces parcours seront donc distribués autour de la valeur la plus probable, autour d'un parcours moyen, conformément à la loi de distribution gaussienne.

La méthode usuelle de détermination du parcours moyen consiste à mesurer les longueurs d'un grand nombre de parcours, à classer les différentes longueurs dans des groupes distincts, par exemple, un groupe sera représenté par toutes les

longueurs comprises entre 8 et 10 microns, etc., et à noter la fréquence d'apparition de ces différents groupes. L'ensemble de ces résultats est condensé dans un diagramme qui porte le nom d'histogramme (fig. 2).

On peut également tracer des histogrammes dits normalisés, dans ce cas, il suffit de porter en ordonnée non pas les fréquences d'apparition, mais le rapport des fréquences d'apparition au nombre total des mesures effectuées. Cette méthode permet de vérifier le type gaussien de la distribution.

A partir de ces diagrammes, on tire à la suite de calculs assez longs la valeur du parcours moyen, ainsi que l'erreur standard commise sur cette valeur.

Il est évident qu'une telle détermination soulève certains problèmes relatifs à la méthode de mesure à appliquer, afin d'obtenir les résultats les plus précis.

Il s'agit tout d'abord de s'assigner un mode de mesure afin d'établir une statistique des longueurs.

Dans le cadre de cette détermination, on peut concevoir trois méthodes de mesure.

#### *Première méthode.*

Cette première méthode est basée sur la mesure de toute la population, autrement dit, cette méthode consiste à mesurer dans un volume quelconque de l'émulsion, toutes les traces enregistrées, quelle que soit leur inclinaison. Ici, il faudra utiliser la formule de Pythagore pour les traces trop verticales.

En effet, soient les schémas de la figure 3.

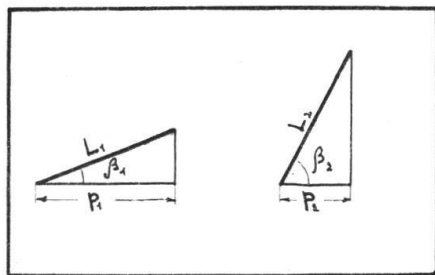


FIG. 3.

Comme nous ne mesurons que les projections à l'aide du micromètre oculaire, et non les longueurs, le fait de prendre  $p_2$  comme mesure de  $L_2$  entraînera une imprécision plus grande que celui de prendre  $p_1$  comme mesure de  $L_1$  étant donnés les angles  $\beta_1$  et  $\beta_2$  que font chacune des traces avec l'horizontale;

c'est pourquoi l'utilisation de la formule de Pythagore dans le cas d'une trace du type de  $L_2$  est nécessaire.

Or, l'utilisation de la formule entraîne elle-même une erreur à cause de l'imprécision de la mesure du facteur de contraction, d'une part, et de  $h^+$  d'autre part. L'erreur commise sur  $h^+$  résulte de la profondeur de champ du microscope.

Pour une profondeur de champ de l'ordre de 0,5 micron l'erreur estimée sur  $h^+$  est de l'ordre de 0,7 micron au maximum (méthode de mesure). On peut également signaler, ici, l'erreur sur la mesure de  $p$  entraînée par un guidage imparfait des coulisses du tube du microscope.

Le facteur de contraction varie suivant l'angle que font les trajectoires avec le plan horizontal de la plaque de verre qui supporte l'émulsion. Pour les traces trop inclinées et qui font un angle supérieur à  $25^\circ$ - $30^\circ$ , le facteur de contraction paraît diminuer pour les traces denses par suite d'une limite de tassement de grains d'argent qui arrivent au contact les uns des autres (1).

Le résultat de ces erreurs est d'entraîner une imprécision dans la construction de l'histogramme.

Il est également nécessaire, dans l'utilisation de cette méthode de mesure, de faire intervenir un facteur de correction pour les traces sortant de l'émulsion, soit en surface, soit du côté du support de verre de l'émulsion.

Il faut ajouter que cette méthode de mesure se prête également à la détermination de l'abondance et du parcours moyen d'un groupe secondaire émis à côté du groupe principal dans l'émulsion nucléaire. En effet, il se peut que l'émulsion soit imprégnée par un mélange de sels d'éléments radioactifs ou encore, que le sel utilisé pour l'imprégnation contienne une impureté radioactive associée à celui-ci. L'histogramme final présentera alors, pourvu que les groupes de particules émises par les éléments présents aient des parcours suffisamment différents, deux groupes distincts (ou plus selon le cas), les maxima de chacun d'eux fournissant une représentation de leur abondance relative.

### *Deuxième méthode.*

Cette méthode consiste à ne mesurer dans une population, que les traces qui paraissent parfaitement horizontales, c'est-à-dire qui se trouvent parfaitement au point de leur origine à leur extrémité. Cette méthode utilise donc un critère de mesure basé sur « l'horizontalité parfaite » des traces. Or, cette hori-

zontalité parfaite n'est que relative à cause de la profondeur du champ du microscope.

Soit  $\varepsilon$  la profondeur de champ du microscope, on constate que si  $L'$  est de l'ordre de  $\varepsilon$ , autrement dit pour des traces très verticales, la valeur de  $p$  prise pour  $L$  comporte une imprécision notable.

D'autre part les traces courtes peuvent se trouver plus facilement au point que les traces longues. Ainsi une trace de longueur égale à  $\varepsilon$  peut faire avec l'horizontale un angle variant de  $0$  à  $180^\circ$  et se trouver constamment au point, alors qu'une trace beaucoup plus longue doit être presque horizontale. Le critère de mesure, d'horizontalité, dans ce cas, est différent pour des traces de longueurs différentes.

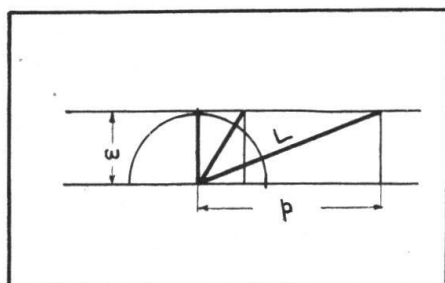


FIG. 4.

En fait, la profondeur de champ du microscope étant de l'ordre de  $0,5$  micron, parler de traces ayant à peu près un demi-micron de longueur n'a pas de sens, car celles-ci ne pourraient se distinguer des grains du voile de l'émulsion. Il faut qu'une trace ait au moins  $3$  à  $4$  microns de longueur pour être nettement discernable. Dans ce cas, le fait de prendre la projection de la trace comme mesure de sa vraie grandeur introduit une imprécision de l'ordre de  $0,03$  micron, ce qui est faible. A fortiori les mesures des projections des traces de plus grandes longueurs seront encore plus près des longueurs vraies de celles-ci. Il s'ensuit que l'imprécision de l'histogramme due à cette cause d'erreur est faible.

Mais la variation du critère de mesure amène, elle, d'une part le déplacement du barycentre de l'histogramme vers les faibles parcours et d'autre part ne permet pas la mesure de l'abondance d'un groupe secondaire.

Cependant l'emploi de cette méthode élimine l'utilisation de la formule de Pythagore.

Telles sont les caractéristiques de cette méthode, utilisée

en particulier par LATTES, SAMUEL et CUER (2) au cours de leur étude sur la radioactivité du Sm et par E.-W. TITTERTON, T.-A. BRINKLEY (3).

### *Troisième méthode.*

Alors que la première méthode est basée sur la mesure de toute la population, cette troisième méthode de mesure fait appel à un échantillonnage de la population, autrement dit, cette méthode consiste à ne mesurer qu'une portion des traces enregistrées dans un volume quelconque d'émulsion. Dans ce cas, il est nécessaire de se fixer un critère de mesure afin que la probabilité de mesurer des traces reste constante et indépendante de la longueur de la trace. Le critère de mesure consiste à ne mesurer que les traces comprises dans un angle donné de l'émulsion.

L'utilisation de cette méthode engendre de même un certain nombre d'erreurs. Ces erreurs sont identiques à celles indiquées pour la première méthode; mais l'erreur sur la mesure de  $L$  due à la mesure de  $h^+$ , dans ce cas, reste petite, car les traces trop inclinées sont éliminées par l'introduction du critère de mesure.

On a également une erreur due à l'incertitude du choix des traces, erreur dans l'application du critère de mesure.

De même que dans la première méthode, il faut, dans ce cas, faire intervenir un facteur de correction pour les traces sortantes.

Enfin, cette méthode permet aussi la détermination de l'abondance et du parcours moyen de groupes secondaires.

Cette méthode présente l'avantage sur la première de limiter l'erreur sur la longueur  $L$  due à l'utilisation de  $h^+$  pour la formule de Pythagore et l'avantage sur la deuxième de permettre la détermination de l'abondance de groupes secondaires.

Afin de préciser l'utilisation de cette méthode, elle sera exposée plus amplement à l'aide d'un exemple: celui de la détermination du parcours moyen du groupe alpha émis par l'isotope 152 du Sm et de l'abondance, ainsi que du parcours moyen, du groupe alpha émis par des noyaux dont il s'agissait de définir l'identité (4).

La relation fournissant le nombre de traces de longueur  $L$  entièrement contenues dans l'émulsion d'épaisseur  $E$ , sous un angle compris entre 0 et  $\pm \beta$  est la suivante :

$$(1) \quad n(\pm\beta) = 4 \pi I \sin \beta \left(1 - \frac{L}{2E} \sin \beta\right)$$

$$(2) \quad n(\pm\beta) = 4\pi I \sin \beta - 4\pi I \frac{L}{2E} \sin^2 \beta$$

$I$  représentant le nombre de traces présentes dans l'émulsion par unité d'angle solide.

$E$  étant l'épaisseur originale de l'émulsion (c'est-à-dire non contractée). Cette relation tient déjà compte du facteur de correction relatif aux traces de longueur  $L$  sortant de l'émulsion.

Cette correction étant représentée par le terme  $-4\pi I \frac{L}{2E} \sin^2 \beta$  dans la relation (2).

En divisant la relation (1) par  $4\pi I$ , nombre total de traces sous tous les angles, on obtient la probabilité d'avoir dans

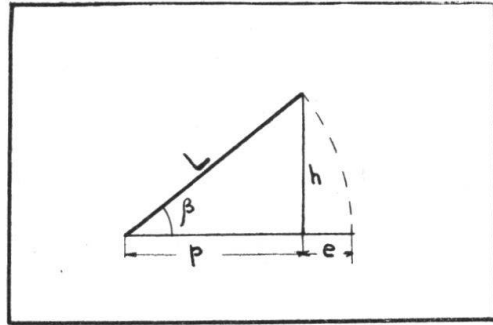


FIG. 5.

l'émulsion d'épaisseur  $E$  les traces entières de longueur  $L$  dont l'angle avec l'horizontale est compris entre  $0$  et  $\pm\beta$  :

$$(3) \quad P(\beta) = \sin \beta \left(1 - \frac{L}{2E} \sin \beta\right)$$

Or, ce que l'on veut au cours des mesures de longueur c'est que cette probabilité reste constante et, comme il a été vu, indépendante de la longueur de la trace. La relation (3) indique que pour avoir  $P(\beta) = \text{cte}$ , il faut que  $\beta$  varie en fonction de  $L$ ;  $\beta$  doit diminuer quand  $L$  grandit.

Cependant, étant donné la valeur moyenne de  $L$  (7 microns) dans le cas du Sm et celle de  $E$  (50 microns), afin de simplifier la méthode de mesure, on peut en première approximation utiliser la relation :

$$(4) \quad P(\beta) = \sin \beta$$

en négligeant dans la valeur de la probabilité le terme  $-\frac{L}{2E} \sin^2 \beta$  qui tient compte des traces sortantes.

Donc afin que :

$$P(\beta) = \text{cte}$$

il faut que :

$$\beta = \text{cte.}$$

Reprenant le schéma (fig. 5), on a :

$$\text{tg } \beta = \frac{h}{p}$$

D'où le critère de mesure :

$$(5) \quad \frac{h}{p} \leq \text{tg } \beta_0 = \text{cte.}$$

Donc toute trace rencontrée dont le rapport  $\frac{h}{p} \leq \text{tg } \beta_0$  sera mesurée. Mais au cours de ces mesures une autre question se pose : jusqu'à quelle limite peut-on prendre la projection d'une trace comme mesure de sa vraie grandeur, sans utiliser la formule de Pythagore pour en déduire cette vraie grandeur ?

Il suffit que l'inclinaison de la trace mesurée soit telle que la différence introduite en prenant sa projection au lieu de sa vraie grandeur soit inférieure ou égale à l'erreur de lecture commise sur l'échelle oculaire (en première approximation). Mathématiquement, cette condition s'exprime comme suit : soit  $e$  la différence introduite en prenant  $p$  au lieu de  $L$  :

$$e = L - p \quad \text{et} \quad L = p + e$$

or :

$$(6) \quad L^2 = h^2 + p^2$$

Il faut que :

$$e \leq \text{erreur de lecture sur l'échelle oculaire}$$

En remplaçant  $L$  par  $p + e$  dans la relation (6), il vient :

$$(e + p)^2 = h^2 + p^2$$

d'où l'on tire :

$$(7) \quad h = \sqrt{e^2 + 2ep}$$

C'est une parabole qui indique les valeurs limites de  $h$  possibles pour que les projections mesurées puissent être considérées comme égales à  $L$ .

Donc toute trace mesurée conformément au critère et dont la hauteur  $h$  excède celle indiquée par la valeur limite déduite de la relation (7), devra avoir sa longueur déterminée selon la formule de Pythagore.

Nous avons établi sur ces bases le diagramme de mesure suivant, en attribuant à  $e$  la valeur de 0,5 micron, valeur un peu trop élevée (fig. 6).

Seules les traces correspondant aux points situés au-dessus de OAC sont utilisées pour la mesure.

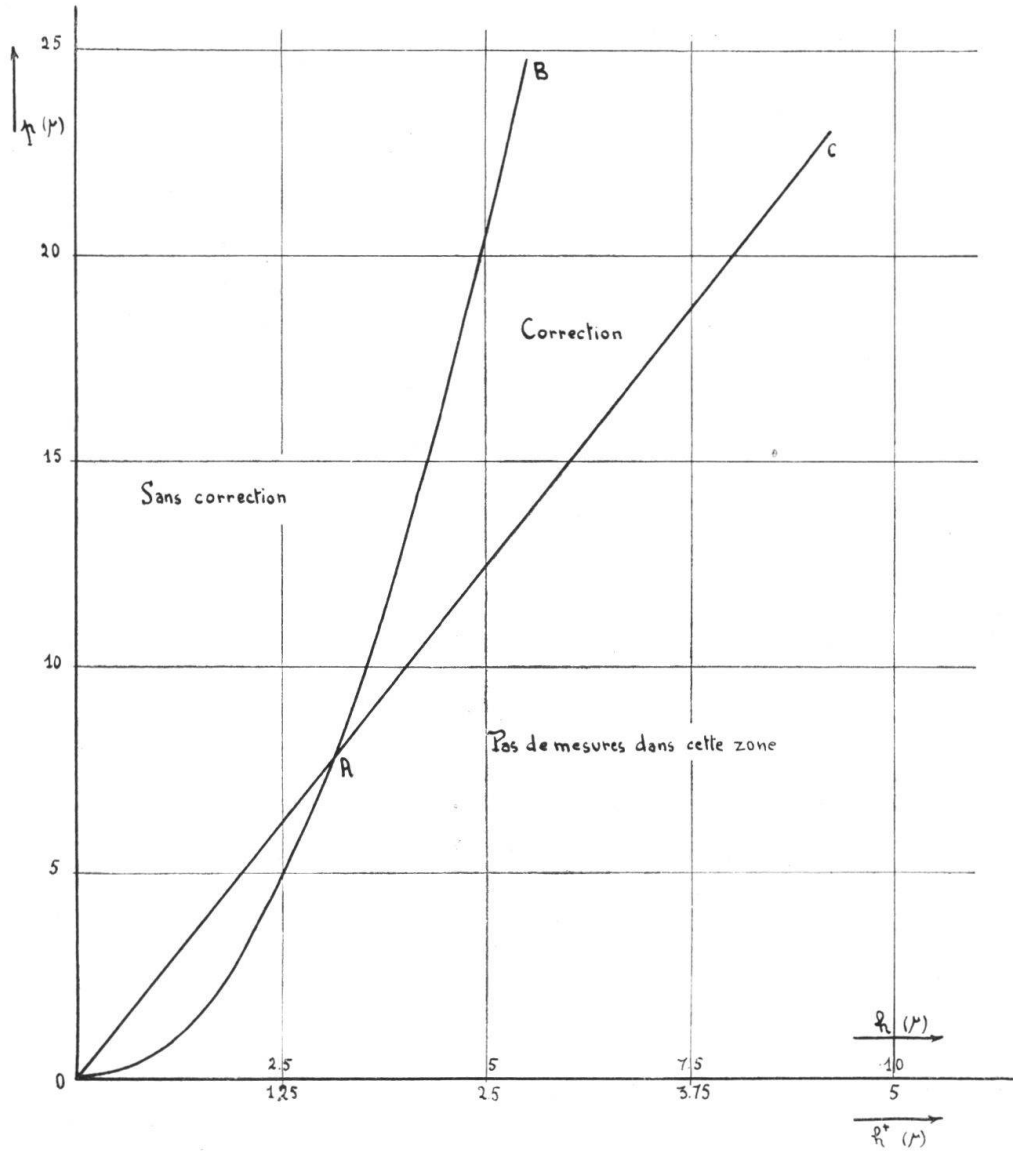


FIG. 6.

### Vérification de la méthode de mesure.

Cette vérification a été effectuée de deux façons :

1. On peut utiliser la relation :

$$(8) \quad N_{0_{\text{tot.}}} = \sum_L \frac{N(L, \beta)}{P(L, \beta)}$$

où  $N(L, \beta)$  = nombre de traces entières de longueur  $L$   
comprises entre  $\pm \beta$

et  $P(L, \beta)$  étant défini par la relation (3)

pour calculer le nombre total,  $N_0$  total, de traces observables à partir du nombre de traces mesurées dans l'angle  $\pm \beta$

Nous avons trouvé  $N_{0\text{tot.}} = 2797$  traces

Or, le nombre de traces observées expérimentalement avec le plus grand soin est  $N_{\text{tot.}} = 2233$  traces

L'écart est de 20 %.

2. Il avait été choisi au cours de la mesure :

$$P(\beta) = \sin \beta = 0,37$$

en négligeant le terme

$$-\frac{L}{2E} \sin^2 \beta$$

$$\text{or } P(\beta)_{\text{exp.}} = \frac{\text{Nb. de traces mesurées}}{\text{Nb. de traces observées}} = \frac{1012}{2233} = 0,45$$

L'écart déduit de cette façon est de 22 %.

On retrouve, à peu de chose près, le même écart, ce qui indique que le fait d'avoir négligé la correction pour les traces sortantes est de peu d'importance (2 %) dans le cadre des mesures effectuées. Cet écart de 20 % est essentiellement dû :

1. à la connaissance imparfaite du facteur de contraction,
2. à l'erreur commise sur la mesure de  $h^+$  et de  $p$ .

Au sujet du facteur de contraction, L. VIGNERON (5) vient de publier une valeur de  $2,16 \pm 0,07$ , tandis que ROTBLAT et TAI (1) indiquent  $2,7 \pm 0,2$ . L'écart de 20 % doit en grande partie résulter de l'usage d'un facteur de contraction notablement trop faible.

Le parcours moyen du groupe  $\alpha$  du samarium a été déterminé par cette méthode dans trois séries de mesures effectuées sur 1000 traces, chaque fois par M. Gailloud et par l'auteur, avec des échelles micrométriques différentes et sur des plaques différentes, du même lot et imprégnées de la même manière.

$$\begin{array}{ll} 7,04 \mu \pm 0,02 & \sigma = 0,76 \mu^1 \\ 7,08 \mu \pm 0,02 & \sigma = 0,64 \mu \\ 7,05 \mu \pm 0,02 & \sigma = 0,65 \mu \end{array}$$

où  $0,02 \mu$  représente l'erreur standard et  $\sigma$  l'écart type.

<sup>1</sup> Voir l'histogramme de la figure 2.

Ces valeurs sont en bon accord avec celle publiée récemment par E. PICCIOTTO (6) :

$$7,04 \pm 0,03$$

Par contre, ces valeurs sont en désaccord avec celle de  $6,80 \mu \pm 0,02$  donnée par TITTERTON et BRINKLEY (3).

Les plaques ont été imprégnées par immersion dans des solutions d'acétate de samarium, préparées à l'aide de sel de samarium provenant soit du Prof. Bardet, à Paris, soit du Prof. Rolla, à Gênes.

Le pH de ces solutions était de 3,2.

Les plaques imprégnées et séchées ont été conservées en glacière à une température voisine de 4° C. pendant 29 jours. Les traces qui ont pu se produire dans l'émulsion humide ne constituent qu'une fraction tout à fait négligeable et ne peuvent fausser sensiblement le parcours moyen trouvé.

Une analyse plus serrée de la méthode de mesure indique que la valeur déterminée peut être encore légèrement trop faible.

*Laboratoires de Chimie physique, d'Electrochimie  
et de Recherches nucléaires de l'Ecole Polytechnique,  
Université de Lausanne.*

---

#### BIBLIOGRAPHIE

1. J. ROTBLAT et C.-T. TAI. — *Nature*, 164, 835, novembre 1949.
  2. C.-M.-G. LATTES, E.-G. SAMUEL, P. CUER. — *Anais Ac. Brasil de Ciencias*, 19, N° 1, 1947.
  3. E.-W. TITTERTON et T.-A. BRINKLEY. — Atomic Energy Research Establishment G/R 326, juillet 1949. Experiments on the stopping power and resolving power of nuclear research emulsions.
  4. CH. HAENNY, M. NAJAR, M. GAILLOUD. — *Helvetica Physica Acta*, 22, p. 611, 1949.
  5. L. VIGNERON. — *Journal de Physique et Rad.*, 10, p. 305, novembre 1949.
  6. E. PICCIOTTO. — *Compte rendu de l'Acad. des Sciences*, 229, 117, 1949.
-