Zeitschrift: Archives des sciences [1948-1980]
Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band: 18 (1965)
Heft: 2

Artikel: Réalisation d'un polarimètre à protons
Autor: Gautschi, A. / Heer, E. / Levrat, B.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-739188

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: 07.07.2025

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

RÉALISATION D'UN POLARIMÈTRE A PROTONS

PAR

A. GAUTSCHI, E. HEER, B. LEVRAT, D. MAEDER, J. F. RENEVEY

1. Introduction

L'étude expérimentale de la force nucléaire, cette force qui tient ensemble protons et neutrons dans les noyaux, se poursuit au moyen des faisceaux de particules fournis par les grands accélérateurs. Pour déterminer l'influence de certains paramètres, on est amené à mesurer la polarisation des protons après une interaction nucléaire. Le phénomène de la polarisation est lié au fait que chaque proton possède un spin de $\frac{1}{2}$ mesuré en unités de $\hbar$ (constante de Planck divisée par 2π).

Si on choisit un axe arbitraire z, la projection du vecteur spin sur cet axe peut prendre les valeurs $+\frac{1}{2}$ ou $-\frac{1}{2}$. Pour un ensemble de protons, par exemple un faisceau incident ou diffusé lors d'une diffusion élastique, on peut définir la polarisation par la formule

$$P = \frac{N(\frac{1}{2}) - N(-\frac{1}{2})}{N(\frac{1}{2}) + N(-\frac{1}{2})} \tag{1}$$

où $N(\frac{1}{2})$ et $N(-\frac{1}{2})$ sont les nombres de protons dont les projections du spin sont $\frac{1}{2}$ et $-\frac{1}{2}$ respectivement. Si les spins sont orientés au hasard, la polarisation sera 0. Elle sera 100% au cas où ils sont tous parallèles. La polarisation est dite transversale lorsque l'axe z est perpendiculaire à la direction de propagation du faisceau et longitudinale s'il lui est parallèle.

Il est possible de mesurer la polarisation transversale d'un faisceau en étudiant la diffusion de ces protons sur des noyaux de spin 0 tels que ceux du carbone.

Pour obtenir une bonne précision, un grand nombre de diffusions doivent être étudiées et pour chacune d'elles, l'angle de diffusion doit être mesuré avec précision. Plusieurs dispositifs expérimentaux peuvent être et ont été utilisés dans ce but. Pour le polarimètre que nous nous sommes décidés à construire en vue des expériences décrites au paragraphe 9, nous avons choisi un dispositif de chambres à étincelles.

2. Chambres a étincelles

Dernière née de la famille des chambres à traces, la chambre à étincelles s'est très rapidement développée au cours de ces cinq dernières années. C'est en 1949 déja que Keuffel a émis l'idée que l'on pouvait probablement localiser la trajectoire d'une particule chargée en lui faisant ioniser une région soumise à un fort champ électrique entre des plaques parallèles. En 1959, Fu Kui et Myamoto utilisèrent une chambre à étincelles pour la première fois dans une expérience. Celle-ci portait sur les rayons cosmiques.

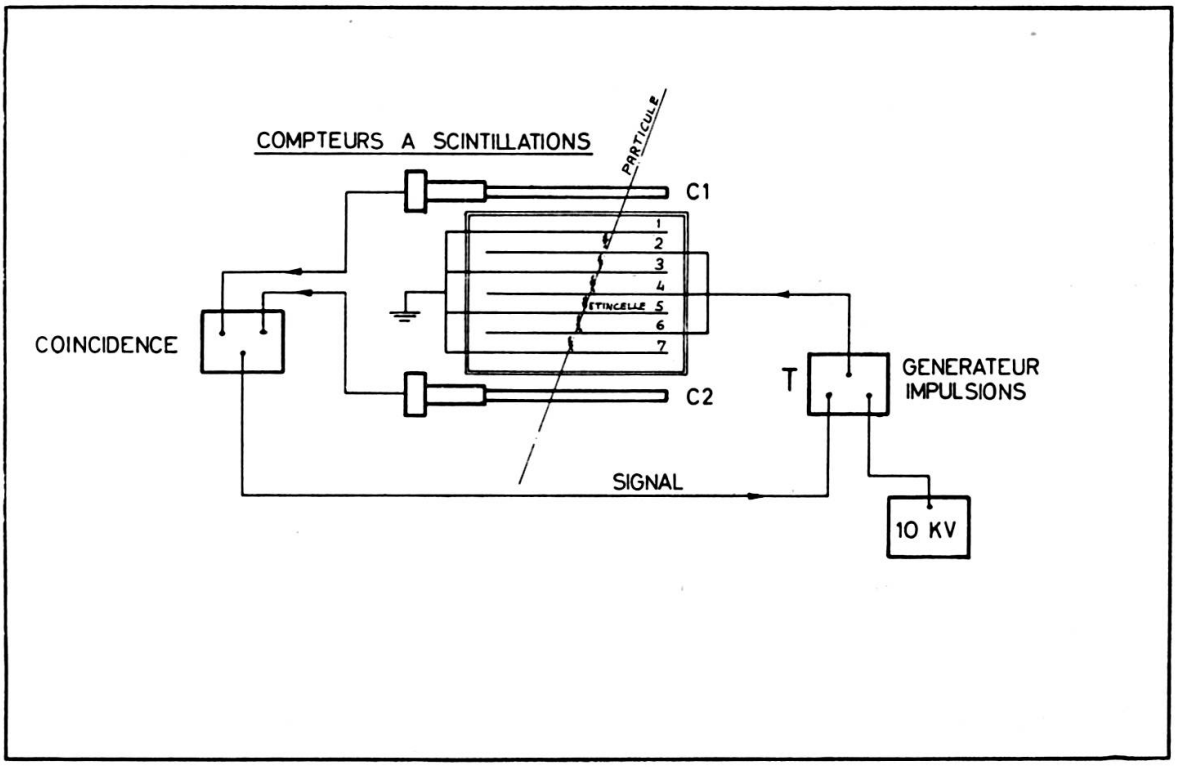


Fig. 1.
Schéma de principe des chambres à étincelles.

Les autres chambres à traces — chambre à bulles, chambre de Wilson — ainsi que les émulsions nucléaires peuvent être exposées à un faisceau et enregistrer des événements, mais on ne peut éviter qu'un grand nombre d'enregistrements ne contiennent rien d'intéressant. Une expérience au moyen de compteurs d'autre part permet une sélection extrêmement sévère des événements mais il ne reste aucune trace visible qui puisse servir de preuve qu'un événement rare s'est réellement produit.

La chambre à étincelles permet de réunir la sélectivité des compteurs et la confiance que donne l'observation d'une trace. Son principe est illustré par la figure 1. Lorsqu'une particule chargée traversant la chambre est détectée successivement par

les deux compteurs C1 et C2, un signal apparaît à la sortie du circuit de coïncidence. Ce signal déclenche dans le dispositif T une impulsion de haute tension d'environ 10 KV qui est appliquée aux électrodes paires de la chambre. La particule a ionisé le gaz, argon, néon, hélium, ou un mélange de ceux-ci, qui constitue l'atmosphère de la chambre. Pendant un temps relativement court, cette ionisation reste localisée le long de la trace de la particule. Si on applique la haute tension pendant ce laps de temps, une étincelle jaillira entre les plaques à l'endroit de l'ionisation. Le fonctionnement d'une chambre à étincelles relève ainsi du domaine des décharges dans les gaz.

Les qualités exigées d'une chambre à étincelles sont en particulier un temps de sensibilité très court, un rendement aussi près que possible de 100% et l'absence d'étincelles parasites. Leur mise au point est laborieuse et à l'heure actuelle, il s'agit encore plus d'un art que d'une technique.

Au moyen d'un jeu de miroirs, il est possible de photographier les étincelles et d'obtenir une vue stéréographique de la trace de particules chargées. C'est la chambre à étincelles photographique que nous avons choisie pour notre polarimètre. Mais on peut aussi « écouter » les étincelles à l'aide de microphones ou remplacer les plaques par des plans de fils et obtenir directement la position des étincelles sous forme numérique. De tels systèmes, actuellement à l'étude dans nos laboratoires, sont présentés dans l'article de D. Mæder.

3. Mesure de la Polarisation par diffusion sur le Carbone

Bien que tout ce que nous allons présenter possède une justification mathématique rigoureuse, nous nous en tiendrons à une description phénoménologique dans l'espoir d'être plus explicite.

Supposons qu'un faisceau monoénergétique de protons polarisés à 100% avec leur spin en haut (↑) arrive sur une cible de carbone. Supposons encore que tout se passe dans un plan horizontal et que deux compteurs détectent les protons diffusés aux angles θ et $-\theta$ et comptent respectivement $N_G(\theta)$ et $N_D(\theta)$ protons diffusés. Ces nombres seront proportionnels aux sections efficaces différentielles

$$\begin{aligned} \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta)\right)_G &= \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta)\right)_0 (1 + A(\theta)) \\ \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta)\right)_D &= \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta)\right)_0 (1 - A(\theta)) . \end{aligned} \tag{2}$$

Le terme $\left(\frac{d\sigma}{d\pi}(\theta)\right)_0$ est la section efficace différentielle de diffusion sous l'angle θ pour un faisceau non polarisé, tandis que $A(\theta)$ donne lieu à une asymétrie qui se

définit par

$$\varepsilon_{\uparrow}(\theta) = \frac{N_G^{\uparrow}(\theta) - N_D^{\uparrow}(\theta)}{N_G^{\uparrow}(\theta) + N_D^{\uparrow}(\theta)} = A(\theta) \cdot \tag{3}$$

Si l'on répète l'expérience avec des protons dont tous les spins sont en bas, il est facile de voir qu'on aura:

$$\begin{aligned} N_G^{\downarrow}(\theta) &= N_D^{\uparrow}(\theta) \\ N_D^{\downarrow}(\theta) &= N_G^{\uparrow}(\theta) \\ \varepsilon_{\downarrow}(\theta) &= \frac{N_G^{\downarrow}(\theta) - N_D^{\downarrow}(\theta)}{N_G^{\downarrow}(\theta) + N_D^{\downarrow}(\theta)} = -A(\theta) \,. \end{aligned} \tag{4}$$

Si maintenant on a un faisceau de polarisation arbitraire P, on observera une asymétrie:

$$\varepsilon(\theta) = \frac{N_G(\theta) - N_D(\theta)}{N_G(\theta) + N_D(\theta)} = A(\theta) \cdot P \cdot \tag{5}$$

On appelle $A(\theta)$ le pouvoir analysant du carbone. $A(\theta)$ est pratiquement zéro aux tous petits angles puisqu'il s'agit d'interactions électromagnétiques n'intéressant pas le spin. La section efficace $\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta)\right)_0$ décroît très vite lorsque θ augmente. Il existe donc un domaine utile comprenant des diffusions de 3° à 20° environ.

Ce qui a été exposé jusqu'ici est très simplifié. En fait le plan de diffusion peut faire un angle φ avec l'axe de polarisation z. D'autre part toutes les quantités mentionnées dépendent de l'énergie des protons incidents. Les équations (2) prennent alors la forme:

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta, E)\right)_{\substack{G\\D}} = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta, E)\right)_0 (1 \pm A(\theta, E) \cdot P \cos \varphi) \,. \tag{2'}$$

Tout ceci n'est valable que pour les diffusions élastiques; si l'atome de carbone est laissé dans un état excité, $A(\theta)$ est changé. En pratique, du fait que le premier niveau excité du carbone n'est que de 4,4 MeV., il est très difficile d'éliminer les cas faiblement inélastiques. On détermine d'abord un $A(\theta)_{\text{exp}}$ pour une inélasticité ne dépassant pas 30 MeV par exemple et on applique les mêmes critères lors de l'expérience que lors de la calibration.

4. Le Polarimètre

Le polarimètre basé sur le principe de la diffusion des protons sur le graphite et dessiné sur la figure 2, est constitué d'une série de chambres à étincelles. La première chambre Al_I est constituée de feuilles minces d'aluminium (0,01 mm) tendues sur des cadres d'acier. Son but est de montrer la direction du proton entrant dans

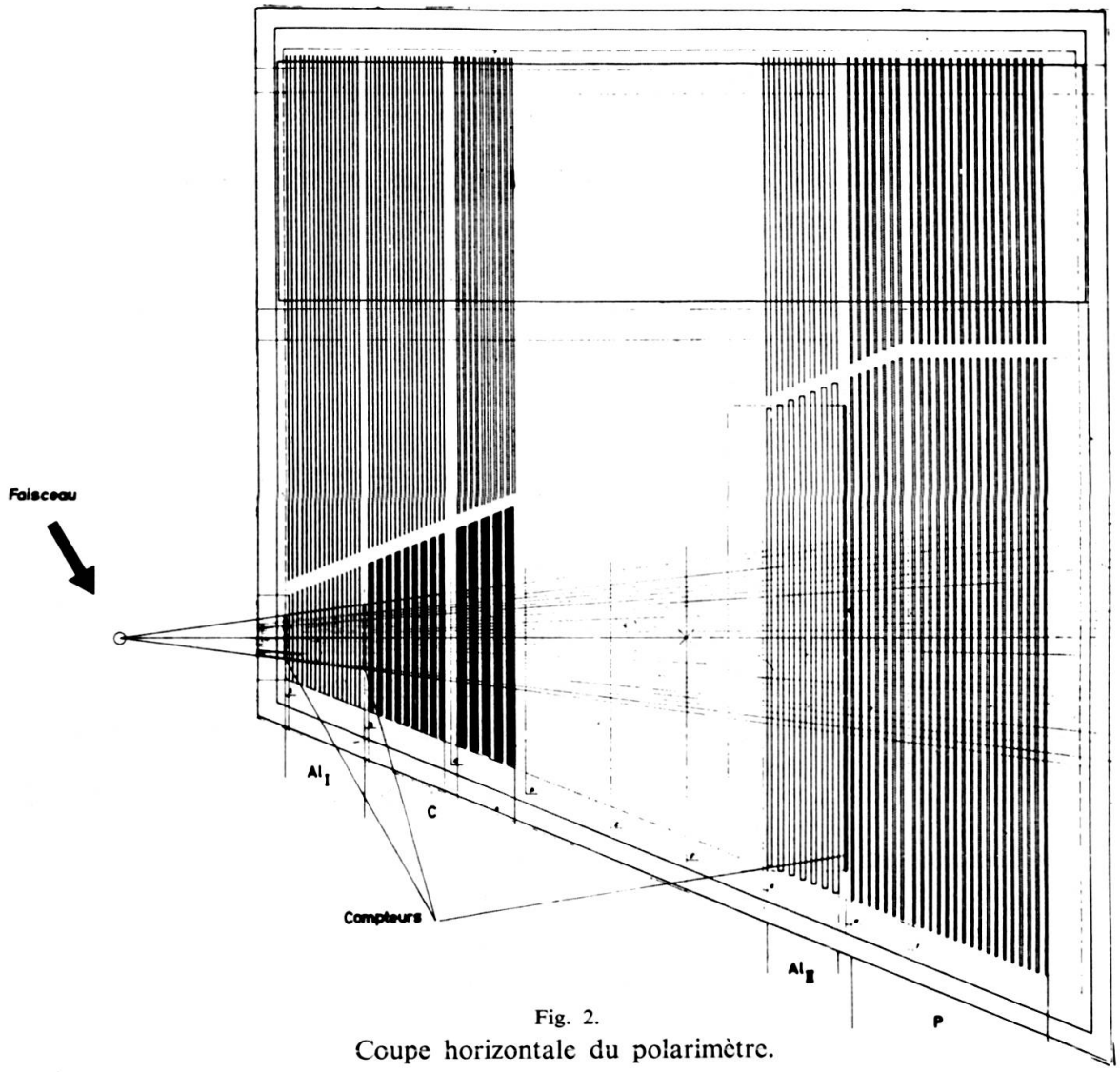


Fig. 2.
Coupe horizontale du polarimètre.

le polarimètre. La deuxième chambre (C) est réalisée avec des plaques de graphite recouvertes d'aluminium. Ces plaques de graphite constituent la cible d'analyse. La troisième chambre Al_{II} est faite de la même manière que la chambre Al_I. Elle doit servir à déterminer la direction du proton diffusé dans le graphite. Quant à la chambre P, c'est une chambre dite d'arrêt qui doit nous permettre la mesure de parcours de la particule diffusée, donc de connaître approximativement son énergie. La figure 3 montre le polarimètre en cours de montage.

5. Logique électronique

L'ouverture dans le plan horizontal du polarimètre est de 15°; cette ouverture est divisée en cinq canaux afin de se limiter aux photos des diffusions intéressantes.

Chacun de ces canaux dispose d'une logique de compteurs à scintillation, schématisée dans la figure 4. Les compteurs A et B qui encadrent la chambre Al_I,

sont en coïncidence, tandis que C qui se trouve après Al_{II} est en anticoïncidence. Cela veut dire que toute particule qui traverse les trois compteurs ne déclenche pas la chambre, tandis que si, après avoir passé A et B, une particule est diffusée suffisamment dans le graphite, elle ne passe pas dans C, donc la chambre est déclenchée.

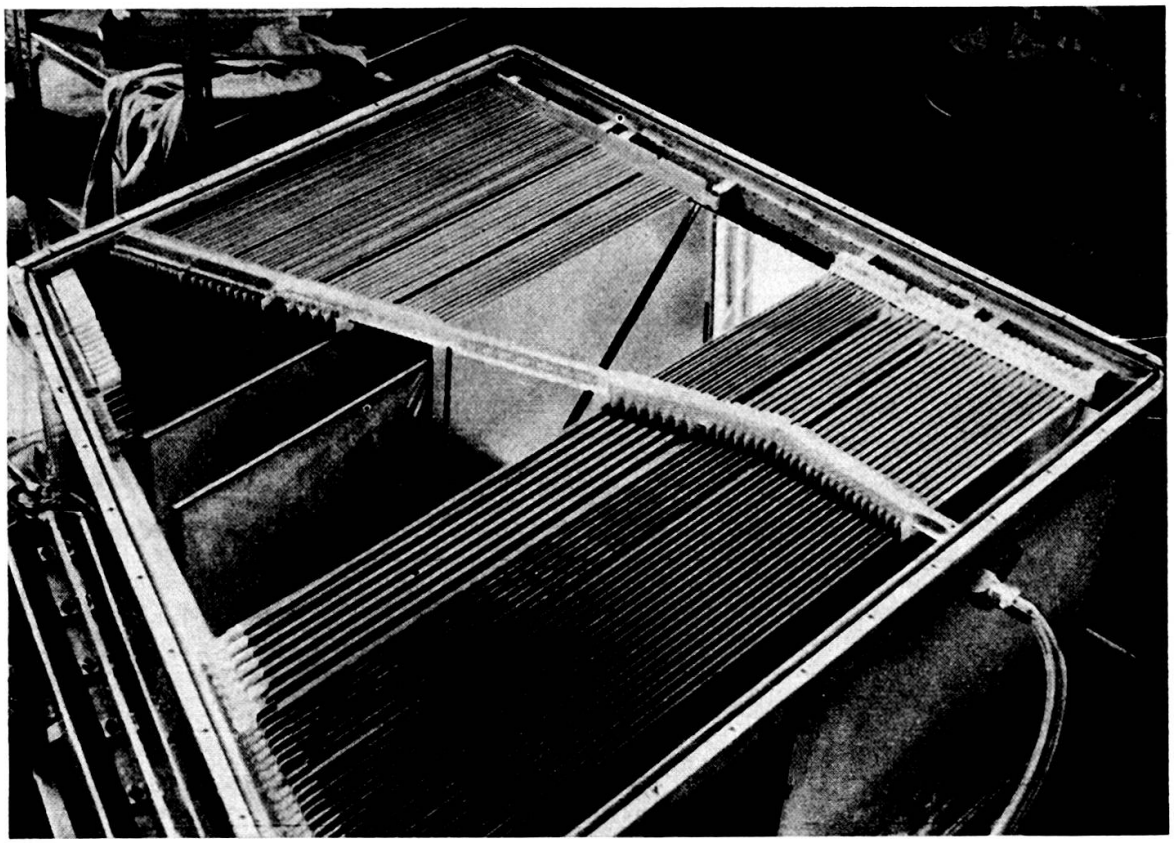


Fig. 3. Le polarimètre en cours de montage.

Ce mode de faire est nécessaire: en effet, la probabilité (section efficace) pour une particule d'être diffusée à de petits angles, est beaucoup plus grande que celle d'être diffusée à un angle plus grand.

Si le compteur C n'existait pas, la chambre serait déclenchée par toute particule passant dans (A, B) de sorte qu'il y aurait alors beaucoup trop de photos ne présentant aucun intérêt. Il a été montré que, sans logique, on obtient 1 événement intéressant sur 100 photos. Il semble évident que ce mode de faire n'est pas intéressant car, si l'on désire une statistique valable, il faut quelques cent mille événements, ce qui voudrait dire prendre dix millions de photos. Aussi l'introduction d'un compteur C éliminant les particules peu ou pas diffusées est-elle souhaitable.

Dans notre cas, le choix des dimensions optima de C a été fait à la suite de calculs fort complexes, rendus possibles grâce à l'ordinateur IBM 7090 du CERN. Nous espérons obtenir un événement intéressant pour deux photos environ dans les expériences de mesure de polarisation que nous projetons, où les protons proviennent d'une cible et ont une direction incidente variable.

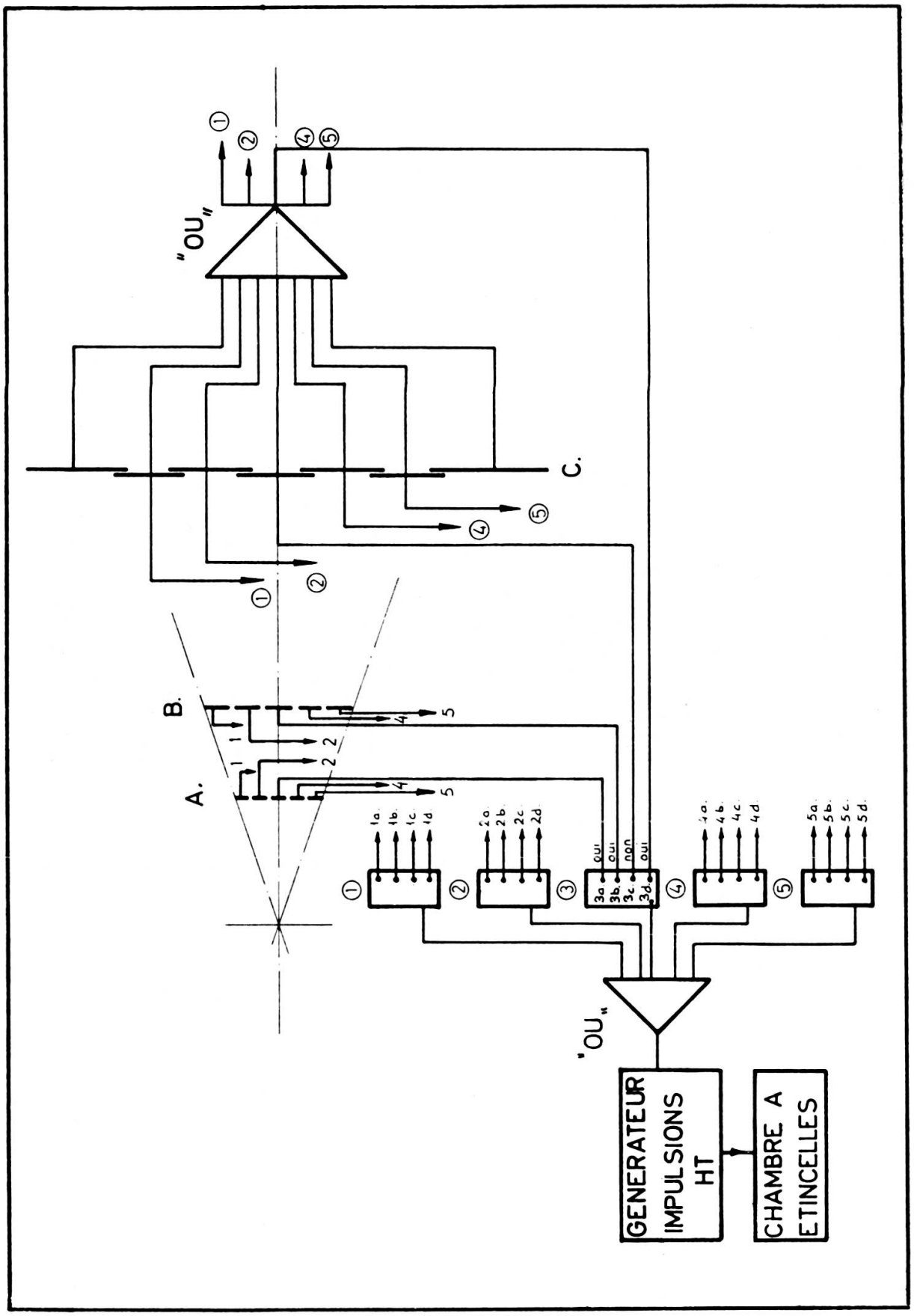


Fig. 4.
Schéma de principe de la logique du polarimètre.

6. Le dispositif optique

Le dispositif optique de notre polarimètre, (fig. 5), est constitué d'abord par un miroir à 49° disposé sur le côté du polarimètre. Ce miroir permet d'obtenir une vue latérale du polarimètre, sans avoir recours à une deuxième caméra.

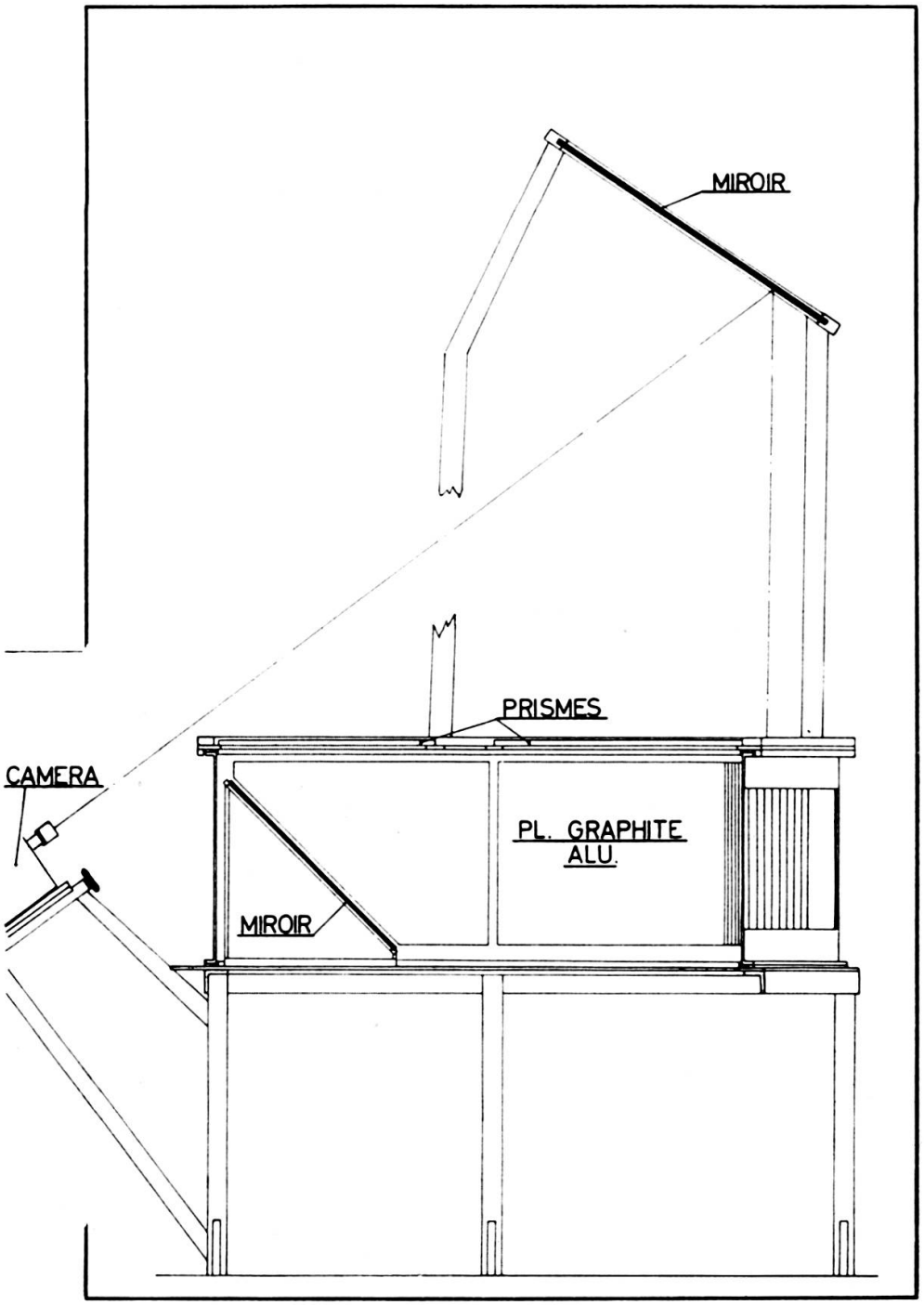


Fig. 5.
Schéma du dispositif optique.

L'unique caméra est placée à 5,6 m de la surface supérieure des plaques. Cette distance est obtenue dans un espace relativement restreint grâce à un deuxième miroir placé au-dessus de la chambre. La caméra enregistre ainsi les deux projections d'une trace sur la même image. La caméra ne peut pas « voir » le fond des espaces entre les plaques à l'exception de ceux qui contiennent l'axe optique. Pour ce faire, elle devrait se trouver au foyer d'une lentille hyperbolique couvrant tout l'appareil, c'est-à-dire de plus de 2 m. Cette condition idéale est approximée par un système de prismes parallèles aux plaques.

7. Premières photos

Le polarimètre, dont l'étude technique et la réalisation ont été entièrement faites par les services techniques du Laboratoire de Physique Nucléaire et l'atelier de l'Ecole de Physique, a été assemblé dans le courant de l'été 1964. Après une série de tests avec les rayons cosmiques, le polarimètre a été transporté au CERN dans la halle du synchrocyclotron.

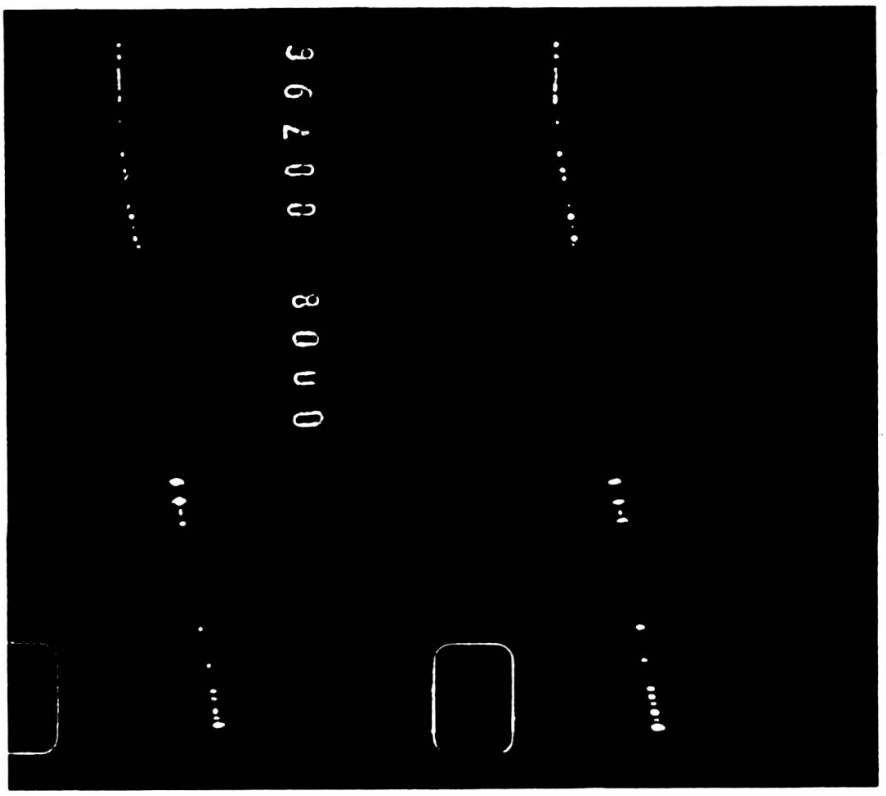
Cette machine, le plus petit des deux accélérateurs du CERN, accélère des protons jusqu'à une énergie de 600 MeV. Une très petite fraction du faisceau fut envoyée sur notre instrument où l'on put observer des diffusions proton-carbone dont un exemple est présenté sur la figure 6.

8. Dépouillement des photos

Un examen de l'équation (5) montre que la précision de la mesure de P dépend de manière critique d'erreurs systématiques possibles dans la mesure de θ à gauche et de θ à droite. Pour éviter les erreurs humaines, on a avantage à automatiser au maximum mesures et calculs. Les deux vues sont projetées sur une table de dépouillement. Un opérateur place un système de réglettes sur les traces et les angles sont automatiquement digitalisés et enregistrés sur une bande perforée. Cette bande peut être lue par la calculatrice IBM 1620 de l'Université. En à peu près 20 sec., celle-ci reconstruit les traces dans l'espace et calcule les angles vrais après avoir effectué les corrections dues à l'optique. Ces informations sont à nouveau perforées sur bandes, elles seront par la suite transférées sur cartes perforées pour permettre l'analyse statistique de l'ensemble des événements par un grand ordinateur.

9. Programme expérimental

Notre première tâche est de calibrer notre instrument, c'est-à-dire de mesurer le pouvoir analyseur du carbone $A(\theta, E)$ pour les angles et les énergies qui nous intéressent. Cette mesure possède une valeur intrinsèque car ce pouvoir analyseur est mal connu.



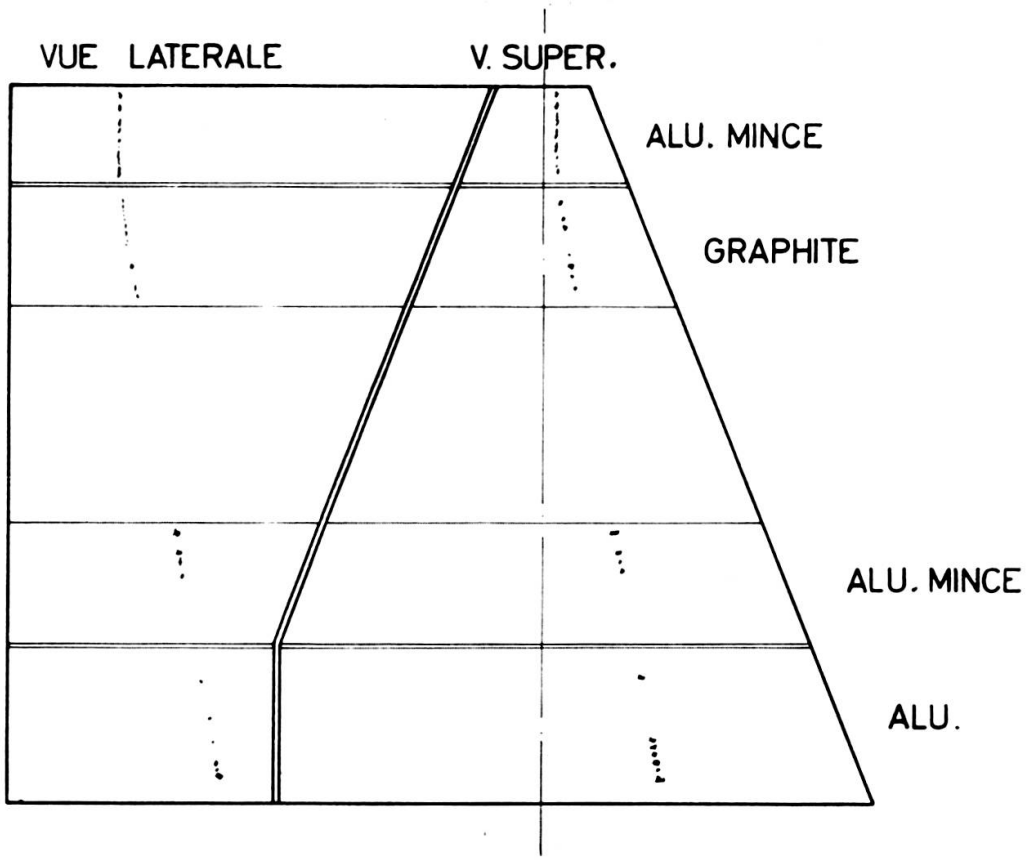


Fig. 6.
Diffusion d'un proton de 600 MeV dans les chambres « graphite » du polarimètre.

Dans une deuxième étape à situer dans environ un an, nous pensons commencer la mesure des paramètres de diffusion nucleon-nucleon en envoyant des protons polarisés sur une cible de deutérium. On peut ainsi étudier simultanément l'influence sur la polarisation d'une diffusion d'un proton par un autre proton ou par un neutron.

10. Conclusions

Les mesures que nous proposons de faire tendent à jeter un peu de lumière sur la nature de la force nucléaire. Nous participons ainsi, dans la mesure de nos moyens, à l'immense effort mondial entrepris dans ce sens.

D'autre part les nombreux étudiants qui participent à ces travaux soit en préparant leur doctorat, soit dans le cadre du travail de diplôme, ont l'occasion de se familiariser non seulement avec les grands accélérateurs, mais aussi avec les techniques modernes des ordinateurs électroniques et de l'électronique nucléaire rapide.

Laboratoire de Physique nucléaire expérimentale
de l'Université de Genève.

BIBLIOGRAPHIE

1. Charpak, G. La chambre à étincelles, *Industries Atomiques*, n° 5-6, p. 63 (1962).
2. Mac Gregor, M. H., M. J. Moravcsik and H. P. Stapp. Nucleon-nucleon scattering experiments and their phenomenological analysis, *Annual Review of Nuclear Science*, Vol. 10, p. 291 (1960).