Premières utilisations de chambres à étincelles type “ streamers ”

D. Benaksas

► To cite this version:

D. Benaksas. Premières utilisations de chambres à étincelles type “ streamers ”. Revue de Physique Appliquée, 1968, 3 (2), pp.99-106. 10.1051/rphysap:019680030209900 . jpa-00242848

HAL Id: jpa-00242848

<https://hal.science/jpa-00242848>

Submitted on 1 Jan 1968

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

PREMIÈRES UTILISATIONS DE CHAMBRES A ÉTINCELLES TYPE « STREAMERS »

Par D. BENAKSAS ⁽¹⁾,

High Energy Physics Laboratory, Stanford University, Stanford (California).

(Reçu le 17 novembre 1967.)

Résumé. — Nous rapportons ici les résultats d'une série d'essais effectués sur une chambre à étincelles fonctionnant dans le mode « streamer ». Les premières expériences que nous avons réalisées ainsi que celles actuellement en cours montrent clairement les grands avantages de cette nouvelle technique.

Abstract. — We report the results of a series of tests carried out on a spark chamber used in the streamer mode. The first experiments we made and those now in progress clearly show the great advantages of this new technique.

Introduction. — Les chambres à étincelles sont devenues des outils familiers en physique nucléaire et plus particulièrement en physique des hautes énergies.

Elles sont largement utilisées, non seulement pour la détection, mais aussi pour la mesure des quantités de mouvement des particules chargées. Constituées le plus souvent par une série de plaques parallèles à espacement faible, elles peuvent fonctionner aussi avec deux électrodes seulement et un espacement pouvant atteindre plusieurs dizaines de cm. Nous les appellerons « chambres conventionnelles » pour rappeler que dans tous les cas le passage d'une particule chargée traversant deux plaques consécutives se traduit par la formation d'une étincelle joignant les deux plaques. Le courant à travers l'étincelle peut être très intense, ce qui provoque une perte d'efficacité quand il y a plusieurs traces simultanées, ou des traces différemment inclinées par rapport au champ électrique appliqué. Les chambres conventionnelles sont donc limitées à la détection des particules chargées faiblement inclinées et peu nombreuses.

En appliquant sur la chambre une impulsion électrique de très faible durée et de forte intensité, l'équipe de G. Chikovani [1] a pu matérialiser la trajectoire d'une particule chargée se déplaçant parallèlement aux plaques. La trace se présente sous la forme de petits centres lumineux, apparaissant tout le long de la trajectoire, et appelés « streamers ». Il n'y a plus de décharge entre les plaques, ce qui permet d'obtenir une représentation spatiale des trajectoires des particules analogue à celle que donnent les chambres à bulles.

Ce sont principalement les problèmes techniques

de génération d'impulsions de haute tension (plusieurs centaines de kV) et de très courte durée (10 ns environ) qui ont empêché le développement rapide des chambres à « streamers ». Les premiers streamers ont été obtenus en U.R.S.S., de même que les premières études théoriques de leur formation. C'est plus particulièrement à l'accélérateur de Stanford (SLAC) que fut développée la technologie des grandes chambres et des systèmes de génération d'impulsions. Cette nouvelle technique des chambres à traces connaîtra certainement une large utilisation dans l'avenir. La première grande expérience utilisant une chambre à streamers se déroule actuellement à SLAC, sous la direction du Professeur Mozley; elle a pour but l'étude de la photoproduction dans la gamme d'énergie 4 à 16 GeV et utilise une chambre de dimensions $250 \times 150 \times 60$ cm³ placée dans un champ magnétique de 16 kilogauss. D'autres expériences utilisant les nouvelles caractéristiques des chambres à streamers sont en cours de préparation, notamment à Princeton et en U.R.S.S. Avec la participation du groupe du SLAC, nous avons construit une chambre de faibles dimensions ($40 \times 32 \times 13$ cm³) que nous avons installée dans le faisceau 1 GeV-électrons de Mark III (Stanford) pendant près de 18 mois. Durant cette période, nous avons étudié son comportement en présence d'un faisceau de particules, en utilisant successivement des photons et des électrons ainsi que diverses cibles solides et gazeuses disposées à l'intérieur de la chambre. Après cette série de tests, nous avons utilisé la chambre dans une première expérience portant sur la photoproduction de paires d'électrons. Une deuxième expérience a permis d'étudier la partie haute énergie du spectre de rayonnement de freinage (« bremsstrahlung »). Nous rapportons ici l'ensemble

⁽¹⁾ Adresse permanente : Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire, 91-Orsay (France).

des résultats obtenus au cours des différentes utilisations de la chambre à streamers, montrant ainsi les diverses possibilités offertes par ce nouveau mode de détection.

Formation des streamers. — La théorie de la formation des streamers est complexe et toutes les phases du processus ne sont pas encore connues. Le lecteur trouvera l'essentiel dans les livres traitant des décharges dans les gaz ainsi que dans les références [1-5]. Rappelons seulement qu'en traversant le gaz qui remplit le volume de la chambre, une particule chargée produit des ions par collisions inélastiques. Si on applique un champ électrique d'intensité suffisante, les ions vont se déplacer vers les électrodes en se multipliant très rapidement malgré les pertes d'énergie par collisions élastiques avec les atomes du gaz; le processus d'ionisation croît exponentiellement; il se produit vite un plasma à l'intérieur duquel le champ électrique est affaibli, tandis qu'il est renforcé aux extrémités le long du champ. Le plasma se transforme rapidement en streamer, devenu visible grâce aux photons produits principalement aux extrémités. Le streamer se développe à son tour avec une vitesse de l'ordre de 10^8 cm/s; lorsqu'il atteint 3 à 4 mm le long du champ électrique, il émet assez de lumière pour pouvoir être photographié. Si on coupe brutalement le champ extérieur, le processus s'arrête et on obtient une série de streamers le long de la trajectoire parcourue par la particule chargée. Par contre, si on maintient le champ électrique plus longtemps, il y aura production de nouvelles avalanches et le streamer se développera jusqu'à remplir tout l'espace interélectrodes et se transformer en étincelle. Pour obtenir des streamers, il faut donc appliquer sur la chambre un champ électrique très bref de manière à arrêter le processus d'avalanches à un stade peu avancé. Le streamer se présente sous la forme d'un bâtonnet lumineux étranglé en son milieu, là où la particule est passée; sa dimension le long du champ peut être de 3 à 10 mm selon les caractéristiques de l'impulsion électrique; dans un plan perpendiculaire au champ, le streamer se présente comme un point lumineux de l'ordre de 1 mm de diamètre. Le nombre de streamers par unité de parcours dépend de la pression du gaz ainsi que du pouvoir ionisant de la particule; il est typiquement de l'ordre de 3 par cm à la pression normale et au minimum d'ionisation. Par suite d'un effet d'interaction entre streamers voisins, analogue à l'effet de charge d'espace, il n'y a pas de proportionnalité entre le nombre de streamers par unité de parcours et le pouvoir ionisant de la particule; il faut diminuer la pression du gaz pour rétablir cette proportionnalité, mais alors il faut diminuer aussi la haute tension, ce qui provoque une perte notable de lumière émise et rend la photographie presque impossible.

Propriétés des chambres à streamers. — Tout d'abord, et comme la chambre à bulles, la chambre à streamers donne une représentation point par point

des trajectoires de particules ionisantes, et ceci indépendamment de la direction de ces trajectoires, ce qui n'est pas le cas pour les chambres à étincelles classiques. On peut aussi enregistrer simultanément un grand nombre de traces sans perte d'efficacité; nous avons pu observer plus de 50 traces et il semble qu'on ne soit limité que par le recouvrement des traces. Pour les interactions nucléaires qui se produisent dans le volume de la chambre, le vertex est parfaitement visible. La résolution dans la mesure des quantités de mouvement à l'aide de la courbure dans un champ magnétique est comparable à celle obtenue en chambre à bulles; en effet, bien que l'extension spatiale des streamers soit supérieure à celle des bulles, il est possible d'utiliser de plus grandes longueurs de trace puisque la diffusion multiple est négligeable dans la chambre à streamers où le milieu est gazeux. Notons ensuite que la chambre à streamers peut être déclenchée par des compteurs environnants, comme les chambres classiques, ce qui permet de sélectionner des réactions, et d'utiliser toutes les impulsions du faisceau incident, par exemple 50/s au Linéaire d'Orsay et 360/s au SLAC. Notons enfin qu'il est possible d'estimer l'ionisation de la particule détectée, non pas à l'aide du nombre de streamers formés par unités de longueur, mais plutôt à l'aide de leur brillance [6].

Parmi les inconvénients de la chambre à streamers, il y a d'abord sa mémoire qui est trop longue, de l'ordre de 200 μ s; ceci n'est pas gênant pour les accélérateurs linéaires où la durée des impulsions de faisceau est de l'ordre de la μ s, les impulsions étant espacées par plusieurs ms; de toute façon, l'adjonction de traces de fréon ou de méthane permet de réduire la mémoire jusqu'à la μ s. Il y a surtout le problème embarrassant de la collection de lumière mais qui, néanmoins, a trouvé des solutions. La quantité de lumière émise étant faible, il est nécessaire d'utiliser des films très rapides (des films possédant plus 3 000 ASA sont courants actuellement) et des lentilles largement ouvertes ($f \simeq 2$). Par voie de conséquence, nous sommes ramenés à un problème de profondeur de champ, d'autant plus sévère qu'on est appelé à construire des chambres de plus en plus grandes. La solution est simple, il faut diminuer le grossissement. De simples considérations optiques montrent en effet que le diamètre du cercle de confusion dans l'image projetée diminue quand le grossissement diminue. Il suffit donc d'éloigner assez la caméra pour obtenir la profondeur de champ désirée. Ainsi pour la chambre de SLAC, qui a 60 cm de profondeur, il a suffi de placer la caméra à 4 m pour obtenir une image satisfaisante dans tout le volume. Des amplificateurs de lumière ont été intercalés entre la chambre et la caméra, améliorant la sensibilité de mieux qu'un ordre de grandeur; malheureusement, les distorsions importantes qui se produisent sur les bords des images ont empêché jusqu'à présent leur utilisation courante.

Générateur de l'impulsion électrique. — La longueur et la luminosité des streamers dépendent fortement de la hauteur et de la durée de l'impulsion électrique appliquée sur la chambre. Expérimentalement, on obtient de bons streamers dans le néon avec un champ de l'ordre de 15 à 20 kV/cm et de durée voisine de 10 ns. Des chambres de quelques dizaines de cm nécessitent donc des tensions de plusieurs centaines de kV. L'ensemble générateur-chambre est représenté dans la figure 1 a; les divers éléments sont discutés en détail dans la référence [7]. Le générateur

FIG. 1 a. — Schéma général pour l'alimentation de la chambre.

FIG. 1 b. — Montage utilisant une capacité de charge.

FIG. 1 c. — Montage utilisant un « Blumlein ».

est constitué le plus souvent par un « générateur de Marx » dans lequel on décharge en série un ensemble de n capacités c_0 préalablement chargées en parallèle sous une tension V_0 ; dans notre générateur, $n = 10$, $c_0 = 2 \times 2700$ pF et $V_0 = 30$ kV. Le premier éclateur du générateur est déclenché par une impulsion extérieure, à l'aide d'une troisième électrode, et les autres éclateurs sont déclenchés successivement par surtension et par l'émission lumineuse du premier éclateur. La tension de claquage peut être variée en changeant soit la pression des éclateurs, soit l'intervalle interélectrodes. A la sortie du Marx, l'impulsion est voisine de nV_0 avec un temps de décroissance de l'ordre de 100 ns. Le formeur a pour rôle de transformer cette impulsion lente en impulsion aussi voisine que possible de la forme rectangulaire, ayant une durée de l'ordre de 10 ns, et sans perte sensible de hauteur. Pour des chambres de dimensions moyennes (de l'ordre du m en longueur et de 10 à 15 cm en profondeur), le formeur peut être constitué par une capacité de charge qui doit supporter toute la tension et par deux éclateurs pressurisés (fig. 1 b). L'énergie emmagasinée dans la

capacité C est ensuite transférée sur la chambre; grâce à la faible inductance de l'éclateur série S , on peut obtenir un temps de montée de l'impulsion inférieur à 2 ns, tandis qu'en faisant varier la pression de l'éclateur parallèle P , on peut régler la durée de l'impulsion entre 8 et 15 ns. En choisissant convenablement l'inductance L autour de la résonance, on peut charger C à une tension supérieure à celle fournie par le Marx, ce qui compense largement la perte de tension due à la présence de la capacité C en parallèle sur la capacité propre du Marx. Un tel système fournissant 600 kV/10 ns a été utilisé avec succès à SLAC par F. Bulos. Pour les grandes chambres, le problème est plus compliqué; en effet, ces chambres se comportent comme lignes de transmission plutôt que comme impédances capacitatives; de plus, leur impédance étant très faible, le temps de montée de l'impulsion devient trop large. La solution la mieux adaptée à l'heure actuelle pour le transfert d'énergie du Marx à la chambre semble être l'utilisation d'un « Blumlein » (du nom de son inventeur). Un bref schéma de principe est représenté dans la figure 1 c. Le Marx charge sous la tension V la plaque commune de deux lignes de transmission superposées ayant chacune une impédance caractéristique $Z_0/2$, où Z_0 est l'impédance de la chambre. Les deux autres plaques sont reliées à la chambre. En fermant l'interrupteur E (en déchargeant l'éclateur), on peut montrer qu'on obtient sur la chambre une impulsion quasi rectangulaire, de hauteur V et de durée $2L/v$ où v est la vitesse de propagation dans la ligne et L la longueur de la ligne. Un Blumlein de ce type, mais présentant certaines variantes, est actuellement en fonctionnement à SLAC dans l'expérience de photoproduction; il délivre une impulsion 600 kV/10 ns. Rappelons que dans presque tous les cas la chambre doit être « terminée » sur son impédance propre, afin d'éviter des réflexions gênantes sur la chambre.

Description de la chambre. — La chambre que nous avons construite à Mark III, et qui était prévue initialement pour des essais seulement, a une surface de 40×32 cm² et une profondeur de 13 cm. Les parois sont en plexiglas de 1 cm, ce qui permet de photographier par les côtés. La plaque haute tension est aussi en plexiglas, couverte de deux rangées de fil d'acier tendues perpendiculairement sur un cadre en aluminium; on peut ainsi photographier à travers cette plaque (voir fig. 4).

La plaque de masse est en aluminium de 5 mm; les deux plaques débordent de 4 cm le cadre en plexiglas, ce qui donne un champ électrique assez uniforme dans tout le volume de la chambre. Notons aussi que les plaques ont des bords arrondis pour diminuer l'effet couronne. La chambre était placée au centre d'un aimant, dans le faisceau 1 GeV de Mark III (Accélérateur Linéaire de Stanford).

Détection des particules chargées à l'aide des chambres à streamers. — Les chambres à streamers constituent un excellent outil pour la détection visuelle et photographique des particules chargées. La technique de ces chambres est bien au point et il est actuellement aisé de construire des chambres de grandes dimensions, à des prix relativement bas. Évidemment, ces chambres peuvent être utilisées en conjonction avec d'autres détecteurs comme des spectromètres ou des compteurs à scintillation. La figure 2 montre le passage dans la chambre de trois positons, de la droite vers la gauche,

FIG. 2. — Passage de positons dans la chambre. Il y a une cible solide au milieu de la chambre. L'un des positons a émis un photon, d'où la faible courbure de sa trajectoire à la sortie de la cible. On voit aussi un électron arraché d'un atome.

de 200 MeV d'énergie, en présence d'un faible champ magnétique (2 kilogauss) ; l'un des positons perd une partie de son énergie par émission γ en traversant une cible qui se trouve au milieu de la chambre, tandis qu'on observe nettement un électron de recul sur la trajectoire du positon voisin. Grâce à l'absence de diffusion multiple en milieu gazeux et à la possibilité d'utiliser de grandes portions des trajectoires, la résolution est analogue à celle obtenue en chambre à bulles, dans la mesure des angles et des quantités de mouvement. La résolution en quantité de mouvement sera de 3 % à 10 GeV avec la chambre de SLAC, selon les estimations du groupe qui l'utilise. Les désintégrations sont parfaitement visibles dans le volume de la chambre et, à cause de la faible densité du gaz, on peut observer les traces des particules lourdes d'assez faible énergie.

Utilisation du néon de la chambre comme cible. — Nous avons fait passer un faisceau de photons dans la chambre et utilisé le néon qui la remplit comme cible, dans une étude sur la photoproduction de paires d'électrons dans le champ coulombien des électrons atomiques. La réaction $\gamma + e^- \rightarrow e^- + e^+ + e^-$ n'avait pu être observée directement que sur l'hydrogène (chambre à bulles et chambre de Wilson), car l'élec-

tron de recul possède une très faible énergie cinétique, ce qui le rend presque inobservable en milieu plus dense que l'hydrogène. Dans la chambre à streamers, une telle réaction est facilement observable ; la figure 3

FIG. 3. — Événement $\gamma + e^- \rightarrow e^- + e^+ + e^-$. Le photon incident pénètre dans la chambre par le haut, parallèlement aux plaques.

montre un exemple type, le photon pénétrant dans la chambre par le haut et l'annihilation ayant lieu dans le volume de la chambre, c'est-à-dire dans le champ d'un atome de néon. La partie droite de la photo montre, d'une part les streamers dans le sens du champ électrique, et d'autre part la spirale décrite par l'électron de recul en présence d'un faible champ magnétique (la quantité de mouvement de l'électron de recul est de 0,4 MeV/c). Toutes les quantités cinématiques sont mesurées et un système de compteurs à scintillations déclenchait la chambre chaque fois qu'il y avait annihilation d'un photon de plus de 600 MeV. Les détails et les résultats de cette expérience sont discutés dans la référence [8].

Utilisation de l'hydrogène comme cible dans une chambre à streamers. — Il serait évidemment plus intéressant d'utiliser directement de l'hydrogène comme milieu gazeux dans la chambre à streamers, car on pourrait observer uniquement les interactions sur le proton libre, comme dans une chambre à bulles à hydrogène. Malheureusement, la formation des streamers dans l'hydrogène nécessite des champs de l'ordre de 60 kV/cm, selon des estimations ; de tels champs sont très difficiles à obtenir dans des grands volumes. Il y a pourtant une solution, celle d'utiliser de l'hydrogène gazeux dans un tube mince en mylar qui traverserait la chambre de part en part et dans lequel passerait le faisceau incident. L'hydrogène étant insensible, on ne verra pas le vertex d'interaction,

FIG. 4. — Schéma de la chambre utilisant l'hydrogène comme cible intérieure.

FIG. 5. — Photographie prise par le groupe de SLAC avec la chambre de $250 \times 150 \times 60$ cm³.
Le vertex est situé dans le tube d'hydrogène, analogue à celui de la figure 4.

mais on pourra le reconstituer à partir des traces des particules émergentes visibles dans le néon environnant le tube. Par contre, on pourra utiliser un faisceau incident assez intense. La figure 4 représente le schéma de la chambre que nous avons utilisée à Mark III pour ces essais. Avec un faisceau de photons, nous avons observé que, jusqu'à des intensités de 200 quanta équivalents par impulsion de machine, le bruit de fond est négligeable dans la chambre, de l'ordre de deux paires électron-positons par photo. Il faut évidem-

ment minimiser l'épaisseur de matière traversée par le faisceau en amont de la cible, notamment les fenêtres de l'accélérateur et celles du tube à hydrogène.

La première expérience de ce type est actuellement en cours à SLAC, dirigée par le Professeur R. Mozley, dans le but d'étudier la photoproduction du ρ^0 , et peut-être de l' ω et du ϕ jusqu'à 16 GeV. La figure 5 est un exemple d'événement obtenu lors d'essais préliminaires.

Il serait encore plus intéressant d'utiliser un faisceau incident d'électrons, car dans ce cas nous avons une

contrainte supplémentaire dans la cinématique de la réaction, à savoir l'énergie du photon virtuel (ce n'est pas le cas en photoproduction lorsqu'on utilise le spectre continu des photons de « *bremsstrahlung* »). Lors d'une interaction électron-proton, l'électron diffusé serait visible dans le néon et son énergie mesurée, ce qui définirait l'énergie du photon virtuel, celle de l'électron incident non visible dans l'hydrogène étant connue. En plus, le photon virtuel étant polarisé, l'électroproduction peut compléter utilement la photoproduction. Pour obtenir un taux de comptage comparable à celui d'une expérience de photoproduction analogue, il faudrait pouvoir injecter quelque 10^4 électrons dans la chambre, et par impulsion de machine. Avec un faisceau de 5×10^4 électrons par impulsion et un taux de répétition de 150 par seconde, avec une longueur d'hydrogène de 100 cm et une section efficace de $30 \mu\text{b}$, le taux de comptage serait de l'ordre de 80 par heure. Nous avons injecté dans la chambre, à travers le tube d'hydrogène, des faisceaux d'électrons d'intensités différentes et étudié le bruit de fond à l'aide de photographies. La plupart des traces parasites présentent une forme brisée, se déplaçant dans toutes directions à l'intérieur de la chambre; ce sont des électrons de basse énergie, provenant de la diffusion électron-électron et de l'effet Compton. Ces trajectoires spiralent au voisinage du tube en présence d'un champ magnétique comme le montre la photographie de la figure 6, bien que de faible qualité. En fait, nous avons espéré enfermer dans le tube la majeure partie des électrons de basse énergie en appliquant un champ magnétique suffisamment intense. Il semble que le bruit de fond soit acceptable pour des paquets contenant moins de 7 000 électrons. On estime qu'une fraction du bruit de fond provient de la matière traversée par les électrons en amont de la chambre, ainsi que de la qualité du système de transport des électrons qui n'était pas particulièrement adapté à cette expérience. Des améliorations dans ces deux sens permettraient certainement d'augmenter l'intensité du faisceau d'électrons et de rendre possibles les expériences d'électroproduction. Notons enfin que l'hydrogène pourrait être remplacé par du deutérium, de l'hélium, ou tout autre gaz.

FIG. 6. — Photographie prise après passage de 7 000 électrons dans le tube d'hydrogène. Un champ magnétique de 1 kilogauss fait décrire des spirales aux traces parasites, dans la région autour du tube.

Utilisation d'une cible solide intérieure. — Rien n'empêche de disposer une cible solide au milieu de la chambre et d'utiliser le néon environnant comme détecteur, en conservant toujours l'avantage d'un grand angle solide; la cible ne doit pas être conductrice, et on a vu que dans ce cas le champ électrique n'est pas trop perturbé à son voisinage.

Plusieurs cibles de constitution et de forme différentes ont été essayées avec succès; ainsi la photographie de la figure 2 a été prise avec une cible intérieure de soufre de 10 mm d'épaisseur (le soufre n'est pas conducteur), la qualité des traces n'a pas été détériorée. Nous avons utilisé une cible de soufre de 1 mm pour étudier la région haute énergie du spectre de rayonnement de freinage (« *bremsstrahlung* »); l'énergie de l'électron incident étant fixée par la machine et celle de l'électron final mesurée à partir de la courbure et du champ magnétique, on obtenait par différence l'énergie du photon émis, qui était d'ailleurs détecté par un Cerenkov au plomb.

FIG. 7. — Émission d'un photon de 980 MeV par un électron de 1 GeV; l'électron final a une énergie de 20 MeV. Le photon est détecté par un compteur Cerenkov au plomb mais son énergie n'est pas mesurée directement.

La figure 7 montre un événement type où l'on voit nettement l'électron incident sur la cible et l'électron final d'énergie plus faible. Un système de compteurs sélectionnait les événements où le photon émis avait plus de 800 MeV, l'énergie du faisceau incident étant de 1 GeV. Les résultats de cette expérience seront prochainement publiés.

Chambre à streamers à « plaques de plomb ».

En fait, on a pu obtenir l'équivalent d'une chambre à étincelles à plaques de plomb en conservant tous les avantages de la chambre à streamers. La seule différence est qu'au lieu d'utiliser du plomb qui est conducteur et qui court-circuiterait la chambre, nous avons utilisé des plaques d'oxyde de plomb non conducteur, sous forme de poudre comprimée. Plusieurs plaques furent disposées en travers de la chambre perpendiculairement aux électrodes. On a observé des gerbes d'électrons, avec les traces visibles dans toutes les directions et courbées par le champ magnétique. Grâce à l'excellente efficacité de la chambre pour plusieurs traces et à la possibilité d'observer des électrons émergents d'énergie aussi basse que 1 MeV, et aussi dans toutes les directions, nous avons pu étudier le développement des gerbes produites par des électrons de 1 GeV.

Pour éviter d'ouvrir la chambre chaque fois qu'on changeait l'épaisseur de la cible et pour utiliser directement du plomb au lieu de l'oxyde de plomb, nous avons pratiqué une cavité dans la chambre que nous avons isolée du néon par des parois en plexiglas (voir fig. 8). Quelques améliorations techniques, en particulier la mise en place d'une série de rangées de conducteurs portés à des tensions intermédiaires entre 0

et la tension maximum et entourant la cible, nous ont permis d'éliminer les décharges qui se produisaient autour du plomb et d'obtenir un champ électrique assez uniforme. La figure 9 montre un exemple de

FIG. 9. — Cascade développée par un électron de 1 GeV dans trois longueurs de radiation de plomb. Pas de champ magnétique.

gerbe obtenue (en absence de champ magnétique); l'électron incident est visible sur la gauche; la gerbe est visible à droite, après traversée d'un espace vide et de trois longueurs de radiation de plomb. Près de 2 000 gerbes ont été photographiées avec des épaisseurs de plomb variant de 1 à 10 longueurs de radiation, en présence d'un champ magnétique de 1 kilogauss. L'analyse de l'expérience est terminée et les résultats seront publiés prochainement. Cette expérience a été réalisée en collaboration avec D. Drickey et J. Kilner.

FIG. 8. — Montage utilisant du plomb pour l'étude des gerbes.

Conclusion. — La revue de ces quelques essais que nous avons réalisés à Stanford ainsi que les premiers résultats de physique que nous avons obtenus ou qui sont en voie d'être obtenus montre que la chambre à streamers est un excellent outil qui vient compléter utilement la famille des détecteurs à traces. Nous sommes persuadés que les chambres à streamers seront plus largement utilisées dans le futur, grâce surtout aux progrès réalisés dans la technique d'obtention des impulsions de haute tension et de courte durée.

C'est grâce au Professeur Blanc-Lapierre et avec l'aide du C.N.R.S. que j'ai pu effectuer ce séjour très profitable à Stanford; je leur témoigne ici ma sincère gratitude.

Je remercie M. le Professeur Mozley et tout le personnel de Mark III qui ont mis à notre disposition toutes les facilités de leur laboratoire. Ce travail a pu être mené à bien grâce à l'aide continue de D. Drickey et de R. Morrison. Je remercie aussi F. Bulos, A. Odian, F. Villa et D. Yount pour leurs excellents conseils lors de la période de mise au point de la chambre à streamers.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] CHIKOVANI (G. E.), ROINISHVILI (V. N.) et MIKHAILOV (V. A.), *J.E.T.P.*, 1964, **19**, 833.
 - [2] DOIGOSHEIN (B. A.) et LUCHKOV (B. I.), *J.E.T.P.*, 1964, **19**, 266.
 - [3] DOIGOSHEIN (B. A.), LUCHKOV (B. I.) et RODIONOV (B. U.), *J.E.T.P.*, 1964, **19**, 1315.
 - [4] BUT-SLOV (M. M.), KIMAROV (V. I.) et SAVCHENKO (O. V.), *Nucl. Instr. and Methods.*, 1965, **34**, 289.
 - [5] GYGI (E.) et SCHNEIDER (F.), C.E.R.N. 64-30 (351), C.E.R.N. 63-37 (145).
 - [6] ASATTIANI (T. L.), GAZARIAN (K. A.), ZHMIROV (V. N.), MATEVOSIAN (E. M.), NAZARIAN (A. A.) et SHARKHATUNIAN (R. O.), Reprint E. 2324, Joint Inst. for Nucl. Research, Dubna, 1965.
 - [7] BULOS (F.), ODIAN (A.), VILLA (F.) et YOUNT (D.), Streamer Chamber Development, SLAC Report 74, 1967.
 - [8] BENAKSAS (D.) et MORRISON (R.), *Phys. Rev.*, 1967, **160**, 1245.
-