

Anne-Elisabeth GRANIER
Université Paris-Sud
ORSAY

Rapport de stage de première année de Magistère

DÉVELOPPEMENT ET CONSTRUCTION D'UNE CHAMBRE À ÉTINCELLES

Juin-Juillet 1996

Université McGill
Département de physique
Batiment Ernest Rutherford
3600, University
Montréal, Québec

Responsables de stage :

Francois CORRIVEAU
David HANNA

Contents

1	Introduction	4
2	Qu'est-ce-qu'une "chambre à étincelles ?"	5
2.1	Principe	5
2.2	Les détecteurs	6
2.3	Le système logique et le circuit électrique	7
3	Du prototype...au modèle final	8
3.1	Le prototype	8
3.2	Le modèle final	8
3.2.1	Fabrication des électrodes	9
3.2.2	Assemblage des plaques	10
3.2.3	Premiers tests	10
3.3	Conclusion: les modifications dues au changement d'échelle . .	11
4	Bilan du stage	12
4.1	De la théorie à l'application	12
4.2	Une méthode de travail	13
4.3	Des mondes à découvrir	13
5	Conclusion	15
A	Muon: carte d'identité	16
B	Le circuit électrique	17
B.1	L'amplificateur	17
B.2	Le Spark Gap	17

Les grands embrasements naissent de petites étincelles

Armand-Jean du Plessis, Cardinal de Richelieu

Un grand merci...

Un grand et très sincère merci à mes deux professeurs François Coriveau et David Hanna; je voudrais exprimer toute ma gratitude, au premier, pour l'élaboration de ces deux mois et le suivi constant de mes activités; au second pour sa disponibilité et ses idées multiples pour m'aider à résoudre mes problèmes quotidiens!

Merci également à Steve Kecani, et toute l'équipe de l'atelier qui ont montré beaucoup de patience pour m'initier et me faire apprécier l'art de la manutention, ce qui n'était pas gagné d'avance !

Merci enfin à tous les étudiants en maîtrise, les futurs docteurs, et autres étudiants de mon espèce à qui je ne peux laisser que mon meilleur souvenir et toute mon amitié en échange des nombreux conseils, discussions, et veillées passées à travailler pour le plaisir...

1 Introduction

C'est à l'Université McGill à Montréal, dans le Centre pour l'Etude de la Physique des Hautes Energies du département de Physique, que j'ai eu la chance d'effectuer mon stage de fin de première année de Magistère.

Le but de ces deux mois de stage était le développement et la construction d'une chambre à étincelles capable de détecter les muons cosmiques. Ce détecteur servira comme instrument de démonstration à des fins pédagogiques et comme outil dans des projets ultérieurs en laboratoire. Un prototype de petite taille avait déjà été élaboré.

Nous allons, dans les pages qui suivent, emprunter le même chemin de découvertes qui m'a guidée tout au long de mon stage : la familiarisation avec le concept de "chambre à étincelles", puis l'élaboration complète du détecteur, depuis les plans de construction jusqu'aux premiers tests et réglages. Enfin nous dresserons un bilan de cette première expérience de Vrai Travail... Bilan dont on peut déjà dévoiler qu'il est largement positif !

McGill University is the place where I had the opportunity to do my training period of "première année de Magistère", in the Center for Study of High Energy Physics, in the Physics Department.

During these two months, I had to make the final model of a Spark Chamber in order to detect cosmic muons. This particle detector will be used as a pedagogic tool for students. It will also be used for lab-projects to come. A small prototype existed already.

In the following pages, we will go through the same novelties I met throughout my period: better understand the concept of a "Spark Chamber", then the total construction of the detector from the plans to the first tests. Eventually, we could evaluate the outcome of this first experience as a Real Work... True, we can already say that it was definitely a very positive experience!

2 Qu'est-ce-qu'une "chambre à étincelles ?"

2.1 Principe

Autrefois, la chambre à étincelles était, pour les physiciens, un instrument commun pour la connaissance des particules fondamentales, comme les muons cosmiques (voir Annexe A).

Elle permet de suivre le passage de la particule en regardant les étincelles produites le long de sa trajectoire.

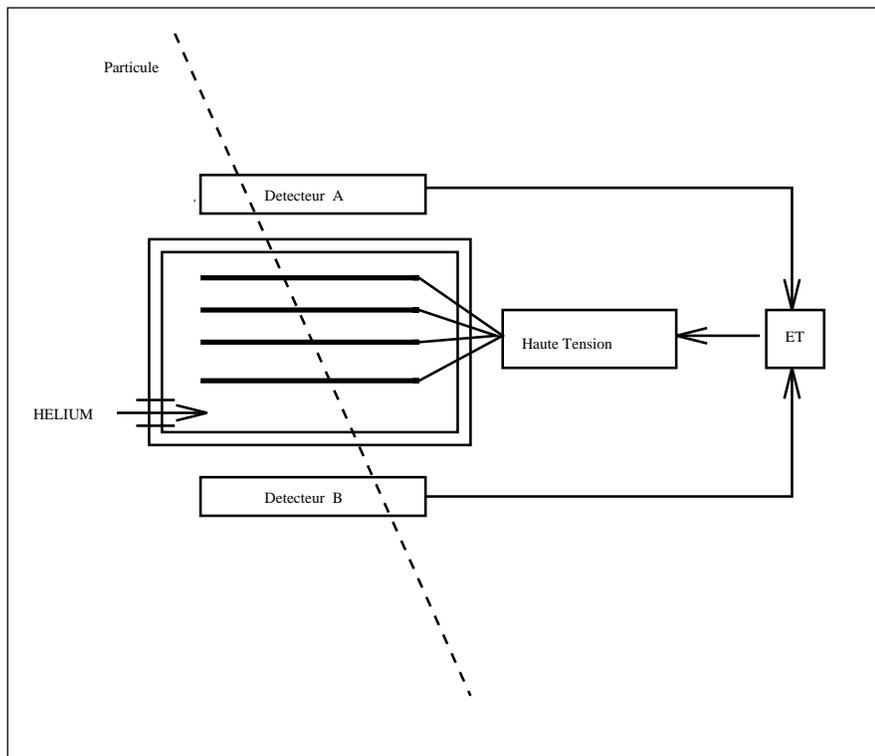


Figure 1: Schéma simplifié du montage

La chambre est constituée d'une boîte remplie de gaz, de l'hélium dans notre cas. A l'intérieur de cette boîte, on dispose parallèlement des plaques d'aluminium, régulièrement espacées de 10 mm. On place également deux détecteurs l'un au-dessus, l'autre au-dessous de la boîte, et dont les

détails sont donnés plus bas.

Lorsque une particule passe à travers les deux détecteurs, elle déclenche la mise en place d'une haute tension, qui engendre à son tour une différence de potentiel de l'ordre de 13000 Volts entre deux plaques consécutives.cf.fig: 1 La particule ayant ionisé le gaz sur son passage, les électrons dérivent vers les "plaques-anodes" et les ions positifs vers les "plaques-cathodes". C'est le déferlement rapide des électrons sur les cathodes qui produit l'étincelle.

2.2 Les détecteurs

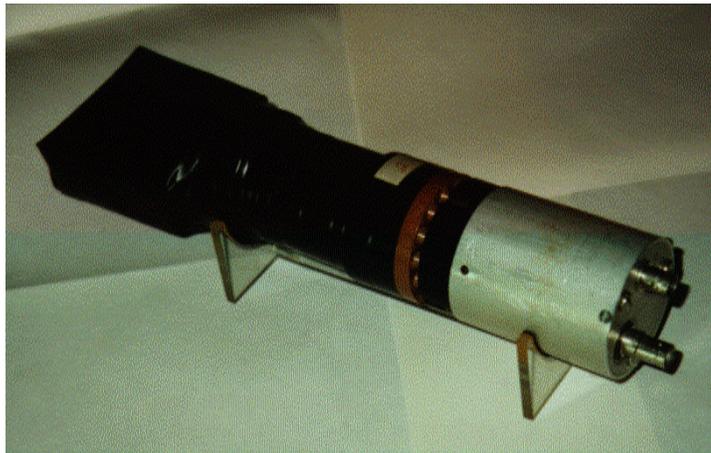


Figure 2: Photographie de l'ensemble Scintillateur-Photomultiplicateur du prototype

Les détecteurs sont en fait constitués d'un ensemble *scintillateur-photomultiplicateur*. cf.fig: 2

Le *scintillateur* est un plastique très mince qui contient des molécules capables d'être excitées par une particule incidente. Le retour de ces molécules à leur état non-excité provoque l'émission d'un photon. Celui-ci est amené, par une succession de réflexions internes dans le scintillateur et dans un guide de lumière également en plastique (mais non-scintillant), jusqu'à la photocathode d'un photomultiplicateur. Le photon incident y produit des photoélectrons. Le nombre des électrons est multiplié au cours de leur passage dans le photomultiplicateur, pour donner finalement un signal électrique

amplifié et détectable. Ce signal électrique est alors acheminé vers le système logique du montage.

2.3 Le système logique et le circuit électrique

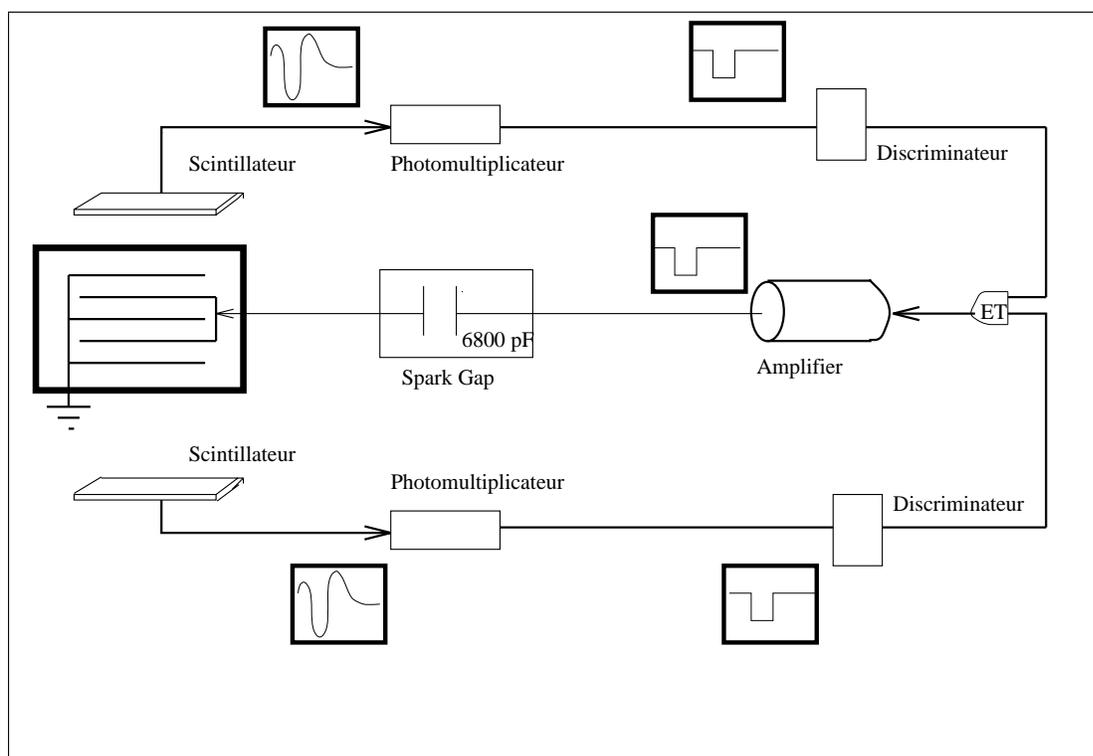


Figure 3: Schéma simplifié du montage

Lorsqu'une particule passe à travers les détecteurs, chacun des deux signaux électriques engendrés par les photomultiplicateurs, passe par un *discriminateur* qui va "épurer" ce signal: en effet le rôle du discriminateur est de transmettre un signal constant en amplitude et en largeur chaque fois qu'il reçoit un signal supérieur à celui fixé par le seuil: 20 mV. cf.fig: 3

Les signaux ainsi "épurgés" sont acheminés vers une porte logique ET qui transmet donc un 1-logique lorsqu'une particule est passée au travers des *deux* détecteurs. Ce 1-logique est appelé une *coïncidence*.

Celle-ci est alors amplifiée et transmise au circuit électrique.

Le circuit électrique est alimenté par une source de haute tension, de l'ordre de 13500 Volts, qui sert à charger un très gros condensateur.(voir Annexe B) L'arrivée de la coincidence suscite une étincelle entre deux électrodes, produisant un court-circuit. Ce court-circuit entraîne la décharge rapide de la capacité au sein des plaques de la chambre.

Les électrons créés lors du passage de la particule, déferlent alors vers les plaques chargés positivement pour donner les étincelles.

3 Du prototype...au modèle final

3.1 Le prototype

La première partie de mon travail a consisté à remettre en fonction le prototype d'étude qui avait déjà été construit, c'est-à-dire:

- Recabler les alimentations de haute-tension, avec les valeurs qui avaient été déterminées auparavant (voir Annexe A pour la justification des alimentations choisies);
- Régler les signaux de coincidence, ie s'assurer de la bonne nature des signaux produits par chacun des photomultiplicateurs, qu'ils soient semblables et de fréquences comparables, et vérifier le bon fonctionnement de l'électronique du circuit.
- Enfin, le recablage a été effectué dans l'optique de la création de la chambre future: j'ai construit une boîte de connection, permettant de choisir lequel, du prototype ou du modèle final, on allait vouloir alimenter.

3.2 Le modèle final

C'est sa construction qui a occupé la majeure partie de mon temps, le branchement a pu être effectué dans les tout derniers jours du stage. Il a d'abord fallu usiner les 30 plaques d'aluminium qui le composent puis adapter les enseignements reçus du prototype à une plus grande échelle.

3.2.1 Fabrication des électrodes

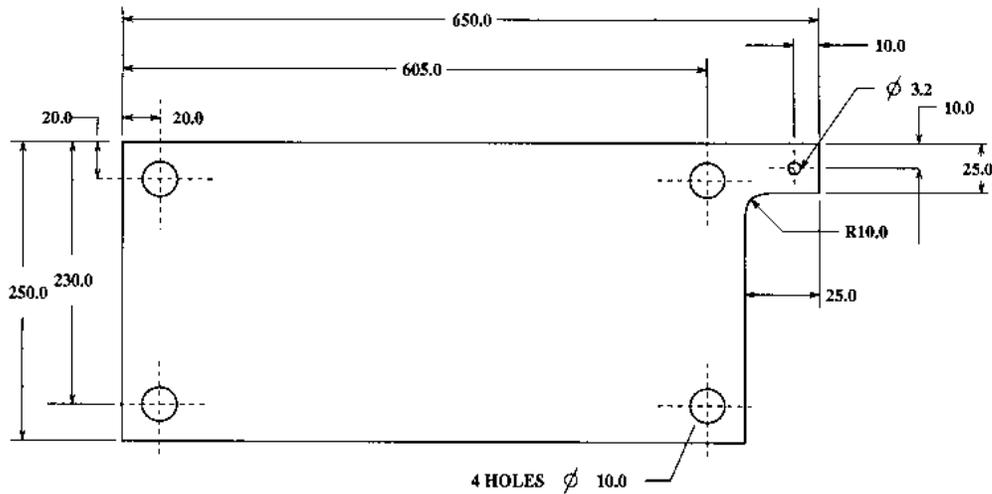


PLATE ELECTRODE

Figure 4:

Les électrodes sont des plaques d'aluminium de dimension 600×250 mm environ. cf.fig: 4

Elles furent usinées 6 par 6 au moyen d'une fraiseuse. Deux jours et demi furent nécessaires pour les 6 premières, tandis que les 6 dernières ne demandaient plus qu'une journée!

Les plaques sont découpées aux formes et dimensions souhaitées avec une précision de l'ordre du dixième de mm. Ceci fait, il faut poncer les arêtes, afin d'éviter tout angle trop aigu qui pourrait provoquer une accumulation de charges et donc être le siège d'étincelles parasites. De même, les deux faces de chaque future électrode demandent à être polies et nettoyées pour éviter là aussi des aspérités éventuelles ou la présence de toute pellicule de poussière ou de graisse également perturbatrices.

Toutes ces précautions pratiques ne s'improvisent pas a priori, et elles font partie des enseignements tirés de l'utilisation du prototype. Cependant, s'il

est aisé d'obtenir de "belles" électrodes de 70 cm² de surface, on ne peut pas utiliser les mêmes procédés pour les mêmes résultats lorsque la surface est plus de 20 fois supérieure... Il a fallu alors, imaginer des méthodes nouvelles, essayer, recommencer, faire face à certaines déconvenues. Comme le jour où, ayant laissé les 5 premières plaques bien lisses, soigneusement nettoyées et installées pour l'expérience du lendemain, je les ai retrouvées au matin recouvertes par de superbes taches gris clair, rugueuses et adhérentes à souhait...un dépôt d'hydroxyde d'aluminium, dû à la succession trop rapide sans séchage suffisant, des produits de nettoyage testés: soude et méthanol.

3.2.2 Assemblage des plaques

Les plaques sont maintenues ensemble, par 4 baguettes en delrin, matériau diélectrique assez rigide, mais non cassant. Deux plaques successives sont séparées par de petits cylindres, de hauteur 10 mm, usinées dans le même matériau.

Alors que 4 de ces petits cylindres, qui alternaient avec les plaques sous forme d'anneaux glissés autour des baguettes, suffisaient dans le cas du prototype à assurer un espacement constant entre deux électrodes consécutives, la dimension des nouvelles plaques nécessite 4 "espaceurs" supplémentaires par niveau, afin de réduire la courbure des électrodes en leur centre. 30 plaques, 4 anneaux et 4 espaceurs entre chaque paire... il a donc fallu usiner 232 petites pièces, de dimensions précises, mais heureusement, de forme relativement simple !

Les connexions électriques entre les plaques sont faites par des fils d'acier, qui relient ensemble les plaques paires à la haute tension, et les impaires à la terre, par exemple. Ces fils d'acier sont soudés à l'extrémité des plaques prévue à cet effet, de manière à avoir la plus faible résistance possible entre deux électrodes au même potentiel. En effet, on doit s'efforcer d'avoir la haute tension appliquée *simultanément* aux plaques reliées.

3.2.3 Premiers tests

Le premier test de la "grande chambre" à été effectué avec 5 électrodes seulement. Les problèmes rencontrés furent:

- “L’immersion” totale des plaques dans l’hélium.
L’hélium est un gaz très léger, maître dans l’art de la fuite, et qui nécessite donc une très bonne herméticité de son contenant. La boîte en plexiglas prévue pour les 30 plaques ne permettait pas d’essai rapide. C’est donc dans... un sac en plastique transparent, de volume plus restreint, que nous avons observé les premières étincelles!
- Une haute tension insuffisante pour provoquer des étincelles.
Alors que 10500 Volts suffisaient à l’entrée du “spark gap” pour observer des étincelles dans le prototype, 13500 Volts s’avéraient convenir tout juste pour ce premier test.
- La présence de “mauvaises étincelles” dues, non pas au passage d’une particule, mais à des arêtes de plaques trop acérées

3.3 Conclusion: les modifications dues au changement d’échelle

Elles sont d’abord d’ordre matériel: encombrement, nombre d’objets, grandes surfaces...nous avons déjà mentionné ces problèmes.

D’autre part, le grand nombre de plaques, et leur dimension implique que la chambre possède une capacité beaucoup plus importante que précédemment: Il a donc fallu augmenter la haute tension qui alimente la chambre: de 10000 Volts, on est passé à 15000.

La régulation de l’hélium est plus difficile, car le volume à emplir est de grande dimension: $500 \times 360 \times 840 \text{ mm}^3$. De plus l’hélium étant plus léger que l’air il faut veiller à ce que le *haut* de la boîte en particulier soit hermétique le plus possible.

Enfin, il faudra probablement passer toutes les arrêtes à l’époxy, colle isolante de manière à ne pas avoir d’angle acéré.

4 Bilan du stage

Nous avons pris connaissance du projet qui m'a occupée deux mois et de la contribution que j'ai tenté d'y apporter. Réciproquement, la contribution de ce travail à ma formation personnelle, si elle est moins immédiatement quantifiable, m'apparaît aujourd'hui comme primordiale.

4.1 De la théorie à l'application

Mon stage s'est déroulé sous le signe de l'application pratique, nouveauté déconcertante au premier abord, puis émaillée d'intérêts et d'enseignements que je ne soupçonnais pas d'emblée.

- Familiarisation avec des appareils complètement nouveaux.
C'est-à-dire, passage de la notice d'instruction d'un fabricant à la compréhension en vue d'une utilisation quotidienne. Il a fallu "apprivoiser" chacun des appareils, c'est-à-dire comprendre globalement sa fonction de manière indépendante, puis plus précisément situer son rôle au sein du montage: par exemple, qu'est-ce grosso modo qu'un scintillateur, à quoi ça sert, puis, comment le brancher pour qu'il fonctionne, et que l'on puisse en utiliser la réponse qu'il doit nous fournir. Ici, l'absence de prédigestion scolaire oblige à des efforts de concrétisation qui ne sont pas forcément familiers !
- Construction des pièces requises par l'expérience.
J'ai eu à fabriquer un bon nombre d'objets par moi-même. J'ai déjà mentionné l'usinage des plaques, et de tout ce que leur assemblage nécessitait, mais il m'est arrivé aussi de remplacer une résistance endommagée dans une base d'un photomultiplicateur, ou tout autre commodité dont on peut avoir besoin et qui n'existent pas en série. L'avantage de ces manipulations est de démystifier ces "boîtes magiques" enveloppées de l'aura du constructeur tout puissant...
- Un montage...qui marche !
...ou, comment apprendre à tenir compte des paramètres réels ?
En théorie on dira que la chambre à étincelles est composée d'un assemblage de plaques lisses. En pratique on préférera parler de plaques aux aspérités suffisamment petites pour que le nombre des mauvaises

étincelles qu'elles engendrent ne soit pas supérieur à celui qui provient des particules ! Si la différence entre les prévisions théoriques et pratiques est connue de tous, l'expérimenter de si près m'a permis d'en prendre réellement conscience.

4.2 Une méthode de travail

Rigueur, calme et attention. Ce sont ces qualités qu'il m'a fallu le plus développer pour venir à bout du travail demandé, que ce soit à l'atelier, où il existe mille et une façons de se blesser, casser une machine ou rater son ouvrage, ou bien lors des manipulations au laboratoire, avec l'utilisation de très hautes tensions.

Ce stage fut aussi l'occasion de développer une bonne dose d'autonomie pour naviguer entre des tâches diverses, comme l'achat de certains objets (petit matériel, source de tension, ou autre bouteille d'hélium le dernier jour du stage !).

La rédaction du rapport de stage m'a enfin permis de me perfectionner dans l'utilisation de l'éditeur de fichier EMACS, de découvrir VI, et d'apprendre à me servir de logiciels de dessin avec XFIG, et de traitement de texte avec LaTeX.

4.3 Des mondes à découvrir

Les nombreuses heures passées à l'**atelier** furent l'occasion de me familiariser avec de nombreuses machines qui m'étaient totalement étrangères, et d'apprécier la dextérité de leurs utilisateurs ainsi que leur patience à l'égard de la novice que j'étais...

Premier bain dans la recherche...

Pendant deux mois, j'ai cotoyé quotidiennement des **chercheurs** en physique théorique ou expérimentale, des étudiants en troisième cycle ou en thèse. Aux hasards de discussions de couloirs ou de "coups de main" demandés, ma curiosité a été très souvent sollicitée, et ma culture en sciences physiques d'autant augmentée.

Enfin, ce stage était enrichi d'une expérience supplémentaire de travail à **l'étranger**. J'ai connu une approche plus expérimentale, et peut-être une "physique moins mathématique" que celle que je connaissais.

5 Conclusion

En deux mois de stage, j'ai pu élaborer une chambre à étincelles, qui a accompli sa première mission pédagogique avec moi. Après une période de compréhension assez longue du montage et du travail à effectuer, il y a eu une phase d'usinage des pièces, l'assemblage de la chambre, et les premiers essais qui ont maintenu l'enthousiasme jusqu'au dernier moment. Si la majorité des étincelles que nous avons obtenues n'étaient pas dues au passage d'une particule, elles témoignaient quand-même du bon fonctionnement du montage électrique, et du passage de l'hélium entre les plaques. Un peu de "bricolage final" (pose de papier collant pour arrondir les coins) a permis de visualiser quelques belles traces...Le polissage des angles, pour obtenir un rendement utilisable, reste une affaire à suivre.

Appendices

A Muon: carte d'identité

Famille = *Leptons comme les electrons et les neutrinos*

Spin = $\frac{1}{2}$

*Masse * c²* = 105.6599(±0.0014)MeV

Moment magnetique = $-1.00116616(\pm 0.00000031) \frac{e\hbar}{2mc}$

Duree de vie = 2.1994(±0.0006 * 10⁻⁶) sec

B Le circuit électrique

B.1 L'amplificateur

L'amplificateur a pour rôle de produire un signal de haut voltage en réponse à un signal d'entrée qui provient d'une unité logique. Ici, il y a donc amplification d'un signal lorsque une particule est passée à travers les deux scintillateurs. cf.fig: 5

B.2 Le Spark Gap

Le Spark Gap est une sorte de commutateur à trois électrodes qui est activé par le signal envoyé par l'amplificateur. Il comprend une très grosse capacité (6800 pF) chargée par une haute tension (15000 V). L'arrivée d'un signal induit une étincelle entre l'électrode reliée au signal, et celle qui est à la terre. Une deuxième étincelle est alors induite entre l'électrode reliée au signal, et la troisième liée a une très grosse capacité (6800 pF). La capacité, chargée par une haute tension de 15000 Volts se décharge alors dans les plaques. cf.fig: 6

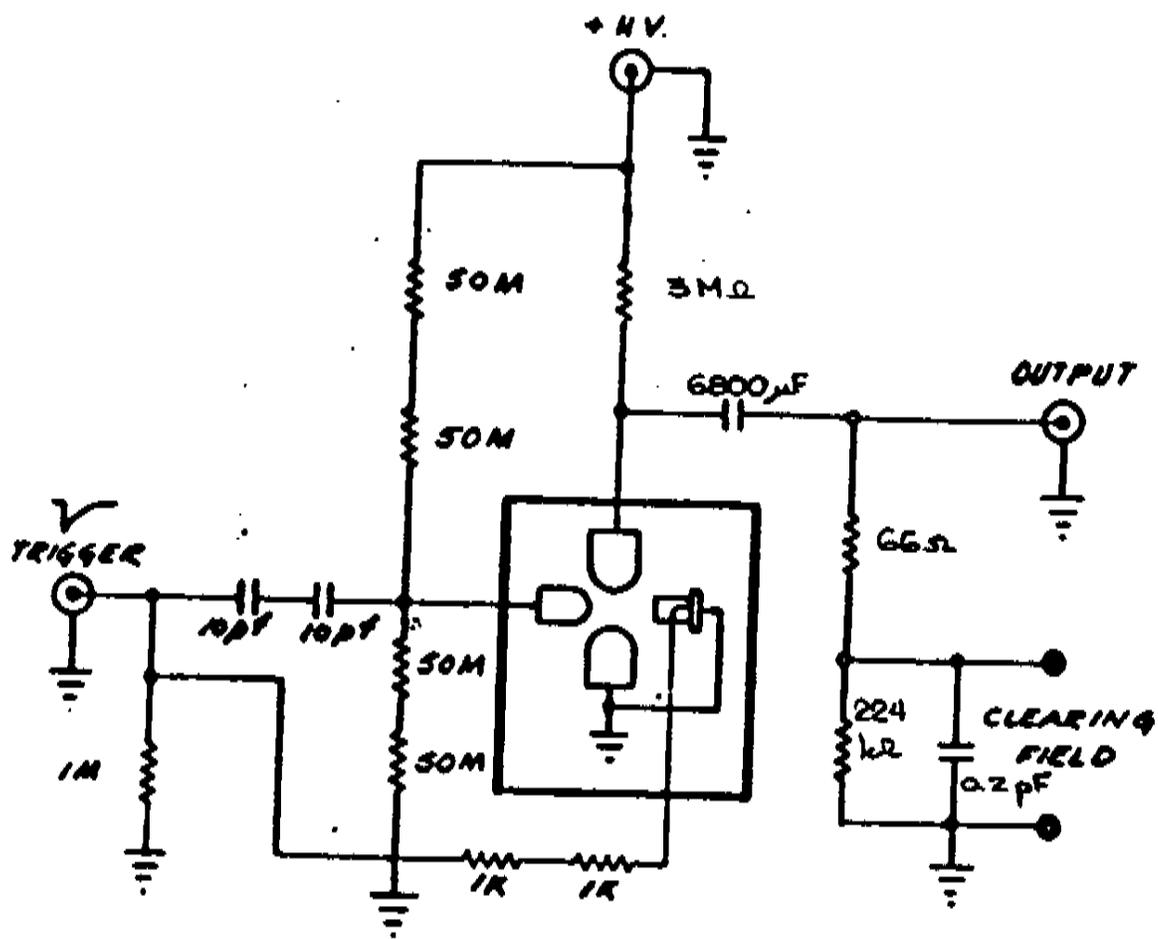


Figure 6: Circuit électrique du spark gap