

DISCRIMINATEUR POUR GALLETES
DE MICROCANALUX

J. Pouchas et M. Engrand

IPNO-78-05

DISCRIMINATEUR POUR GALETTES DE MICROCANAU

J. POUTHAS et M. ENGRAND

Un discriminateur à fraction constante de conception très simple permet d'obtenir, sans réglage délicat, de très bonnes résolutions en temps dans les dispositifs utilisant des galettes de microcanaux (GMC). Les résultats dépendent évidemment du dispositif à G.M.C. utilisé. En détection d'électrons (β ou électrons de conversion), une résolution de 300ps a pu être obtenue pour un ensemble constitué de deux discriminateurs associés à deux paires de galettes. Cette résolution devient inférieure à 65ps (toujours pour un système double) pour la détection des électrons secondaires émis par passage des fragments de fission du ^{252}Cf dans une feuille de carbone. Ce discriminateur peut également être utilisé pour des photomultiplicateurs rapides.

I - INTRODUCTION

Les dispositifs à galettes de microcanaux (GMC) se sont beaucoup développés en physique nucléaire ces dernières années [1,13], essentiellement pour les problèmes de mesures de temps [1,2,5,7,9,11,12,13]. Les signaux donnés par les GMC dépendent bien sûr du type de galette utilisée et de ses conditions de polarisation. Cependant, on peut dire que des impulsions de largeur à mi-hauteur voisine de 0,8ns et de temps de montée voisin de 0,8ns sont le plus souvent obtenues [Fig.1]. Les hauteurs d'impulsions dépendent du nombre d'électrons primaires détectés et du gain du dispositif (en particulier de sa haute tension), ce qui donne des valeurs de quelques dizaines de millivolts à quelques volts sur une charge de 50 Ω . Malgré l'apparente difficulté à réaliser un discriminateur fonctionnant pour de telles impulsions, le problème peut se traiter avec un discriminateur à fraction constante de conception très simple [14]:

II - PRINCIPE DU DISCRIMINATEUR

21) Rappel du principe d'un discriminateur à fraction constante.

Ce principe est donné sur la figure 2. A partir de l'impulsion primaire à traiter (a), on réalise une sommation (d) d'une part de l'impulsion (b) qui correspond à (a) après atténuation (le coefficient d'atténuation est appelé fraction f) et d'autre part de l'impulsion (c) obtenue à partir de (a) par inversion et passage dans un retard θ . Un discriminateur à seuil déclenche sur le passage à zéro de l'impulsion obtenue (d) et donne ainsi la référence t_0 de (a).

Soit $g(A,t)$ l'impulsion initiale (a), l'impulsion (b) s'écrit $f \cdot g(A,t)$ et (c) s'écrit $-g(A,t-\theta)$. Le temps de passage à zéro (t_0) est donc solution de l'équation :

$$f \cdot g(A,t) - g(A,t-\theta) = 0 \quad (1)$$

Ce système est très intéressant quand la forme d'impulsion ne varie pas avec sa hauteur A, c'est-à-dire que $g(A,t)$ peut s'écrire $A \cdot h(t)$. L'équation (1) devient :

$$f h(t_0) - h(t_0 - \theta) = 0 \quad (2)$$

et t_0 est solution d'une équation qui ne dépend plus de A. Le "walk" (déplacement en fonction de l'amplitude A) est alors théoriquement nul.

12. Application aux galettes de microcanaux.

Pour un dispositif donné, les impulsions délivrées par les GMC semblent être de forme constante et un discriminateur de type fraction constante pourrait alors donner de bons résultats. Ceci n'est qu'un aspect un peu trop théorique des choses et il faut bien faire intervenir les circuits électroniques avec leurs inévitables fréquences limites.

Tout d'abord se pose le délicat problème de la formation. Si on veut une formation analogue à celle décrite sur la figure 2, (appelée "formation sur le temps de montée"), il faut un retard θ plus court que le temps de montée de l'impulsion d'entrée (a), c'est-à-dire pour les GMC un retard de l'ordre de 0,4ns. L'utilisation de tels retards pose quelques problèmes, en particulier du circuit discriminateur de passage à zéro. Mais si on regarde à nouveau le passage de l'équation (1) à l'équation (2), la seule hypothèse faite est une hypothèse de similitude sur les formes d'impulsions ($g(A,t)=Ah(t)$) ; aucune hypothèse n'a été faite sur la valeur du retard θ . On peut donc choisir θ supérieur au temps de montée pour obtenir une formation appelée "formation sur le temps de descente". Les avantages sont alors multiples. On est amené à utiliser des retards plus longs ($\theta \approx 1,3ns$). La partie négative de l'impulsion (d) (fig.2) est beaucoup plus importante, ce qui facilite le fonctionnement du discriminateur de passage à zéro. Enfin, la pente au point de passage à zéro est supérieure à celle obtenue par formation sur le temps de montée, car on somme alors deux impulsions de même sens de variation. Compte tenu de ces quelques remarques, il est alors possible d'envisager la réalisation d'un discriminateur à fraction constante de conception très simple.

13. Schéma de principe du discriminateur (Fig.3)

De façon à éviter une limitation de bande passante importante, la "formation en fraction constante" est faite par un système passif constitué d'une part d'une atténuation par un pont résistif (rapport $f = \frac{R_0}{R_0+R_f}$) et d'autre part d'une inversion et d'un retard obtenu par passage dans un câble coaxial monté en inverseur (retard = longueur du câble $\approx 1,3ns$ pour les GMC). Le discriminateur de passage à zéro est un comparateur en circuit intégré (module 1) dont le seuil est réglé par simple ajustement d'un pont résistif. La sortie de ce comparateur déclenche (entrée "clock") une bascule D montée en monostable. L'entrée D de cette bascule est validée par un deuxième comparateur (module 2) qui réalise la fonction de seuil bas pour l'impulsion de GMC à traiter. Un transposeur de sortie permet de restituer l'impulsion de sortie dans le standard NIM rapide.

III - REALISATION ET CARACTERISTIQUES DU DISCRIMINATEUR

31) Réalisation.

La réalisation du discriminateur (fig.4) est très proche du schéma de principe. Les comparateurs utilisés sont des AM685 [15]. La bascule 11C70 [16] est montée en monostable en rebouclant la sortie Q sur la remise à zéro (R) après un temps de transit dans 2 portes d'un 10102 [17] (temps de transit par porte ≈ 2 ns). On réalise le OU logique des impulsions en sortie de la bascule et au bout du retard, ce qui donne une impulsion double du temps de retard utilisé ($2 \times 4 = 8$ ns). L'avantage d'un tel monostable réside dans une bonne définition de sa largeur mais surtout dans son temps de recouvrement très court. Deux transposeurs de sortie (différentiels Q_1Q_2 et Q_3Q_4) restituent les impulsions de sortie dans le standard NIM.

32) Choix de la bascule D.

Le choix de la bascule D est un paramètre important. En effet, si les fréquences moyennes nécessaires en physique nucléaire restent très faibles devant les possibilités du discriminateur qui peut fonctionner jusqu'à 75 MHz, il est néanmoins nécessaire d'utiliser des bascules très rapides pour les raisons suivantes. Pour le fonctionnement de la bascule dans le discriminateur, on est amené à considérer les temps séparant les impulsions présentes sur les entrées D et C de la bascule et on introduit les notions de t_s (Set up time) et t_h (Hold time) définies sur la figure 5 [17]. De plus, pour des temps proches de t_s ou de t_h , la bascule déclenche, mais son temps de transit est légèrement affecté. Il faut donc que l'impulsion I_D présenté sur l'entrée D encadre largement (largeur supérieure à $t_s + t_h$) la transition présente sur l'entrée C. Pour des dispositifs à GMC, cette impulsion I_D a une largeur faible dépendant du seuil bas (V_s). En effet, lorsque l'impulsion I_C des GMC est grande devant V_s , le comparateur de seuil bas fonctionne bien et I_D a une largeur de l'ordre de 2ns. Cependant, lorsque I_C devient très proche de V_s , la largeur de I_D diminue et on atteint même la zone de fonctionnement linéaire du comparateur ; la coupure "seuil bas" est alors crée par t_s et t_h . Ces quelques remarques nous conduisent à utiliser une bascule D très rapide (Fairchild 11C70) pour laquelle

t_s et t_h sont très faibles (environ 200ps). Ceci permet un bon fonctionnement du discriminateur pour des impulsions de GMC de faible amplitude.

33) Réglage du discriminateur.

La valeur du retard n'est pas un paramètre critique. Avec les dispositifs à GMC, nous avons utilisé des retards variant de 1 à 1,6ns sans noter de variations sensibles de la résolution en temps, ce qui nous a conduit à utiliser un retard de 1,3ns. Mis à part le réglage du seuil bas (1 potentiomètre de réglage) qui dépend des conditions d'expérience, le seul véritable réglage du discriminateur est constitué par la polarisation du comparateur de passage à zéro. Théoriquement, on devrait ajuster ce réglage afin que ce niveau de sortie du comparateur soit au milieu de sa dynamique (environ 1,3volt). Mais le comparateur AN685 a une bande passante limitée et des temps de saturation et de désaturation non négligeables (bien que ces paramètres soient très difficiles à évaluer précisément). Dans le discriminateur, ce comparateur fonctionne de la façon suivante : il passe en saturation négative puis en saturation positive ; la transition entre ces 2 saturations donnant la référence en temps cherchée. Pour les GMC, la partie négative de l'impulsion composite ((d) de la Fig.2) est de faible durée (environ 1,5ns). On favorise alors le passage en négatif du comparateur en lui mettant un léger seuil positif. Le "wall" théorique ainsi créé est bien inférieur au déplacement en temps du au fonctionnement du comparateur. Ce réglage se visualise sur la sortie moniteur du discriminateur : on ajuste le potentiomètre de réglage de façon que la bande de bruit en sortie du comparateur soit proche de la saturation négative, ce qui correspond à un seuil positif voisin de 0,2mV à l'entrée du comparateur.

34) Mesures des caractéristiques avec un générateur d'impulsions.

En sortie d'un générateur d'impulsions, on place un atténuateur large bande suivi du discriminateur et on effectue des mesures de temps (avec un convertisseur temps amplitude : CTA) entre la sortie du discriminateur et le signal de synchronisation du générateur. L'atténuateur sert à faire varier le niveau de signal à l'entrée du discriminateur en conservant les

temps de transit, ce qui nécessite le choix de très bons atténuateurs. Le problème consiste maintenant à trouver un générateur dont les formes d'impulsions se rapprochent de celles des GMC. Nous avons, en fait, utilisé deux générateurs dont les caractéristiques encadrent celles des GMC et pour chaque générateur, nous avons tracé les courbes de résolution et de déplacement en fonction de l'amplitude (fig.6). Ces courbes montrent que la résolution du discriminateur est très bonne pour des impulsions supérieures à 200mV ($R \approx 15$ ps) et qu'elle reste bonne pour des impulsions de faible amplitude ($R \approx 60$ ps à 20mV). Par contre, si le déplacement (walk) reste assez faible pour les grandes impulsions, il devient important au voisinage du seuil de fonctionnement (environ 300ps à 20mV pour un temps de montée de 0,5ns).

IV - MESURES DE TEMPS AVEC DES DISPOSITIFS A GALETTES DE MICROCANALX.

Les résultats obtenus dépendent bien sur du dispositif de GMC utilisé et les meilleures résolutions absolues ne sont pas forcément les plus difficiles à obtenir. Afin de préciser un peu le sens des mesures faites, nous allons développer quelques considérations rapides sur les résolutions en temps des GMC.

4) Remarques sur la résolution en temps des dispositifs à GMC.

Un modèle traitant plus complètement ce problème est actuellement en cours d'élaboration. Notre propos est de donner ici quelques critères simples d'évaluation. Un dispositif à GMC peut se symboliser de la façon suivante. A partir d'un processus physique (sélection d'électrons dans un spectromètre magnétique, création dans une feuille mince puis accélération d'électrons, etc...) un paquet d'électrons P_1 est créé puis amené à l'entrée d'une paire de GMC. A la sortie sur l'anode, nous obtenons un paquet d'électrons P_2 dont il faut donner la référence en temps. Supposons un discriminateur parfait, c'est-à-dire capable de donner par exemple la référence en temps du centre de gravité de P_2 et considérons la distribution D_2 des instants de sortie de P_2 . Soit σ_T l'écart quadratique de cette distribution D_2 . Considérons d'abord P_1 composé d'un seul électron. σ_T dépend des fluctuations de temps de vol (écart quadratique σ_p) séparant le processus primaire de l'entrée de la galette et des fluctuations dans la paire de

galettes (écart quadratique σ_G).

$$\sigma_T^2 = \sigma_p^2 + \sigma_G^2 \quad (3)$$

Considérons maintenant P_1 composé de N électrons. Nous pouvons supposer que ces N électrons ont un comportement indépendant en admettant par exemple que les électrons de P_1 pénètrent dans des canaux différents des GMC (ce qui est en général vrai).

Soit σ_{TN} l'écart quadratique de la distribution D_2 des instants de sortie des électrons de P_2 .

$$\sigma_{TN}^2 = \left(\frac{\sum \sigma_T}{N} \right)^2 \text{ pour } i=1, N = \frac{N\sigma_T^2}{N^2}$$

$$\sigma_{TN}^2 = \frac{\sigma_p^2 + \sigma_G^2}{N} \quad (4)$$

Finalement, la résolution en temps (pour un discriminateur supposé parfait) dépend donc fortement du nombre d'électrons primaires N (qu'on peut en général évaluer). Le paramètre σ_p peut également s'évaluer (il est, en général, faible et peut être négligé). Par contre σ_G est un paramètre dépendant des GMC souvent mal connu. Un calcul de A.J. Guest [18] donne une valeur de $\sigma_G = 0,2\text{ns}$ pour une galette dont les caractéristiques (diamètre des canaux=40 μm longueur=2mm, Tension galette=1300V) sont malheureusement différentes de celles des GMC couramment utilisées.

D'autre part, le nombre d'électrons primaires N se manifeste également dans les distributions d'amplitudes D_A en sortie des GMC. En effet, si \bar{A} et σ_A sont la moyenne et l'écart quadratique de D_A pour un électron unique à l'entrée, pour N électrons cette distribution D_A a pour moyenne :

$$\bar{A}_N = N \bar{A} \quad (5)$$

et pour écart quadratique :

$$\sigma_{AN} = \sqrt{N} \sigma_A \quad (6)$$

Ce qui donne en valeur relative :

$$\sigma_{r1} = \frac{\sigma_A}{A} \quad (7)$$

$$\sigma_{rN} = \frac{\sigma_{AN}}{\Delta_N} = \frac{1}{\sqrt{N}} \sigma_{r1} \quad (8)$$

Les fluctuations en amplitude diminuent donc comme \sqrt{N} . Cette remarque prend son importance quand on sait qu'un discriminateur a toujours un "walk" (déplacement en temps avec l'amplitude) et qu'il est donc préférable d'avoir une distribution d'amplitude la plus étroite possible. La formule (8) peut servir à une évaluation de N. En effet, lorsque les GMC ne sont pas saturés (tension galette pas trop élevée), le spectre d'amplitudes pour un électron est exponentiel et $\sigma_{r1} = 1$ [19]. Le spectre d'amplitudes réel donne la valeur de σ_{rN} et on peut calculer N moyen en utilisant (8). Ces quelques remarques nous conduisent à donner dans les exemples suivants les distributions d'amplitudes associés aux spectres en temps obtenus.

42) Mesures.

Nous avons utilisé le dispositif développé par J. GIRARD et M. BOLORE [9]. Une source radioactive bombarde à 45° une feuille de carbone. Les électrons émis de chaque côté de la feuille sont focalisés par un potentiel de l'ordre de 1,8KV appliqué par l'intermédiaire de grilles et sont ainsi dirigés vers 2 paires de GMC. En plaçant un discriminateur derrière chaque paire de galettes, on effectue des mesures en temps avec un convertisseur temps amplitude. Nous avons utilisé 2 sources radioactives permettant d'obtenir des nombres d'électrons primaires N différents. Pour la source de particules α (^{241}Am), N moyen est voisin de 4 [Fig.7a]. Par contre pour les fragments de fission (^{252}Cf), N moyen est voisin de 50 [fig.8a]. Les figures 7b et 8b montrent les résolutions en temps obtenues.

43) Discussion des résultats.

Les résultats obtenus ne sont pas suffisamment complets pour nous permettre une évaluation précise des paramètres des GMC et des discriminateurs utilisés. Cependant, moyennant quelques hypothèses simplificatrices nous pourrions dégager l'importance du discriminateur dans les mesures faites. La première hypothèse concerne le système de J. GIRARD. Nous le supposons parfaitement symétrique, c'est-à-dire que nous supposons identiques les 2 paires de GMC, les 2 discriminateurs et les 2 paquets d'électrons primaires créés dans la feuille. Dans ce cas, la résolution pour une paire de galette et un discriminateur est égale à la résolution totale divisée par $\sqrt{2}$, ce qui donne pour la source 1 (^{241}Am) $R_1 \simeq 70\text{ps}$ soit $\sigma_1 \simeq 30\text{ps}$, pour la source 2 (^{252}Cf) $R_2 \simeq 44\text{ps}$ soit $\sigma_2 = 19\text{ps}$ (les écarts quadratiques σ_1 et σ_2 sont obtenus en supposant les spectres gaussiens, c'est-à-dire $R=2,35\sigma$).

Maintenant, il faut évaluer la contribution des GMC (illustration de temps de transit) et la contribution du discriminateur. Nous allons également faire une hypothèse simplificatrice : la résolution des 2 parties est indépendante, c'est-à-dire que la résolution totale σ_T peut s'écrire :

$$\sigma_T^2 = \sigma_D^2 + \sigma_{\text{GMC}}^2 \quad (9) \text{ ou } \sigma_D \text{ est la contribution du discriminateur et } \sigma_{\text{GMC}} \text{ celle des GMC.}$$

Nous avons vu que (4 de 41) que σ_{GMC} peut s'écrire :

$$\sigma_{\text{GMC}}^2 = \frac{\sigma_p^2 + \sigma_G^2}{N} \quad (10)$$

Il faut évaluer la contribution du discriminateur σ_D .

Les mesures faites avec un générateur d'impulsions (fig.6) devraient nous permettre une évaluation de σ_D en effectuant la convolution de la "courbe de walk" du discriminateur avec la distribution des amplitudes des impulsions en sortie des GMC. Cette méthode nécessite un générateur dont les impulsions soient très proches de celles des GMC et un bon étalonnage du spectro d'impulsions en sortie des GMC. Nous allons à nouveau faire une

hypothèse simplificatrice en supposant que la résolution du discriminateur est la même par les 2 expériences. Nous avons alors $\sigma_T^2 = \sigma_D^2 + \frac{2\sigma_D^2 + \sigma_G^2}{N}$ (11) avec pour la source 1 $\sigma_{T1} = 30$ et $N_1 = 4$
pour la source 2 $\sigma_{T2} = 19$ et $N_2 = 50$

$$\text{D'où } \sigma_D = 17\text{ps et } \sqrt{\sigma_D^2 + \sigma_G^2} = 48\text{ ps}$$

Ces résultats montrent que la contribution du discriminateur est assez importante. Cependant les valeurs trouvées pour les fluctuations des GMC semblent quand même un peu faible ($\sigma_G^2 < 48\text{ps}$) si on les compare aux résultats de A.J. Guest et les hypothèses faites simplifient un peu trop les choses (nous devons remarquer que l'introduction de l'effet du walk ne ferait que diminuer encore $\sigma_D^2 + \sigma_G^2$ car cet effet est plus important pour la source 1 que pour la source 2). La comparaison de σ_D (=17ps) aux résultats obtenus avec un générateur (R=15ps d'où $\sigma=6,5\text{ps}$) montre une différence importante. Si une partie de cette différence peut être attribuée à l'effet du walk, il reste néanmoins possible de l'attribuer aux fluctuations de forme des impulsions en sortie des GMC (en effet, aucun test ne nous permet de connaître avec une très grande précision la forme des impulsions en sortie des GMC). Il est évident que l'effet du discriminateur se fera sentir encore plus pour des expériences dans lesquelles N devient très faible (N=1). Quelques essais effectués avec la détection directe d'électrons (8 ou électron de conversion) pour des GMC nous a donné résolution de 300ps pour un double système, c'est-à-dire un σ_T de 90ps [21]. La différence peut certainement s'expliquer par l'effet de walk (en sortie des GMC, on obtient des amplitudes de quelques dizaines de mV avec une distribution très large).

V - MESURES DE TEMPS AVEC DES PHOTOMULTIPLICATEURS.

Le discriminateur à fraction constante décrit dans cet article peut bien sûr être utilisé sur d'autres dispositifs plus lents, en particulier avec des photomultiplicateurs rapides. Nous avons fait quelques essais avec une source de ^{60}Co (émission de 2γ en coïncidence de 1,17 MeV et 1,33 MeV) avec un scintillateur NE111 (de 1pouce x 1pouce) couplé à des photomultiplicateurs XP2020 (Radiotechnique). Nous avons fait différents essais

avec et sans sélection en énergie. Les résultats sont donnés dans le tableau 1. Les résolutions obtenues sont très satisfaisantes.

Sélection	fwhm (en ps)	fwh/10m (en ps)	fwh/100m (en ps)
sans	410	1200	3200
100 eV-1MeV	270	486	864
500keV-1MeV	192	384	376
1MeV±100keV	149	298	476

Tableau 1. Résolution en temps avec des photomultiplicateurs.
(Scintillateur NE111, photomultiplicateurs : XP2020).

VI - CONCLUSION.

Nous avons réalisé un discriminateur à fraction constante de conception très simple. Ce discriminateur permet d'obtenir des résolutions en temps très satisfaisantes avec des dispositifs à GMC. Une résolution de 62ps a pu être obtenue pour la détection des électrons secondaires émis par passage des fragments de fission du ^{252}Cf dans une feuille de carbone. Il semble cependant que quelques problèmes restent à résoudre. En effet, il faudrait améliorer encore les caractéristiques propres du discriminateur en ce qui concerne le walk, en particulier pour les faibles amplitudes, ce qui permettrait d'obtenir de meilleurs résultats pour la détection d'événements à faible nombre d'électrons primaires à l'entrée des GMC. D'autre part, pour obtenir des résultats sensiblement meilleurs pour des impulsions de GMC de forte amplitude (détection des fragments de fission du ^{252}Cf par exemple), il n'est pas certain que le principe de la fraction constante soit le meilleur système (fluctuation de forme possible en sortie des GMC). Il apparaît donc que si le discriminateur réalisé ne résout pas d'une manière totalement satisfaisante le problème de la prise de temps sur GMC, il permet cependant d'obtenir de bonnes caractéristiques en temps sans aucun réglage délicat.

LEGENDES DES FIGURES

Fig. 1 : Forme d'impulsion en sortie d'un détecteur à GMC. Les galettes sont des G2J-25 (Radiotechnique) polarisées à 800 volts et montées dans un dispositif de détection d'électrons secondaires émis par passage des fragments de fission du ^{252}Cf dans une feuille de carbone [9]. Echelles verticales : 100mV/carré et horizontale 500ps/carré.

Fig. 2 : Principe d'un discriminateur à fraction constante.

Fig. 3 : Schéma de principe du discriminateur.

Fig. 4 : Schéma électronique du discriminateur.

Fig. 5 : Définitions de t_s (set up time) et t_h (hold time)

Set up time is the minimum time before the positive transition of the clock pulse (c) that information must be present at the data (D) input. Hold time is the minimum time after the positive transition of the clock pulse (c) that information must remain unchanged at the data (D) input [17].

Fig. 6 : Caractéristiques en temps du discriminateur :

Ces caractéristiques (résolution et walk) ont été mesurées avec deux générateurs ; un générateur rapide A (temps de montée $t_r=0,5\text{ns}$, largeur d'impulsion $t_w=0,8\text{ns}$, niveau de sortie maximum $A_m=2\text{V}$) et un générateur plus lent B ($t_r=2,5\text{ns}$, $t_w=3\text{ns}$, $A_m=5\text{V}$).

Fig. 7 : Mesure sur un dispositif à GMC avec une source de ^{241}Am .

- a) Spectre d'amplitude observé à la sortie des GMC.
- b) Résolution en temps du double dispositif (2 paires de GMC).

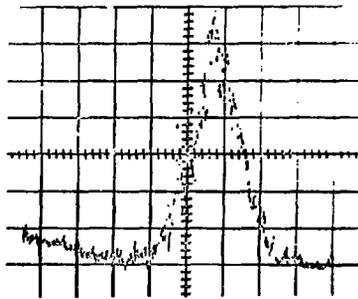
Fig. 8 : Mesure sur un dispositif à GMC avec une source de ^{252}Cf .

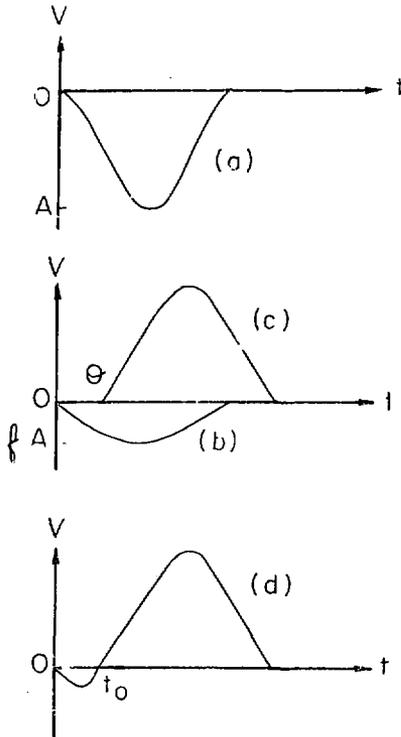
- a) Spectre d'amplitude observé à la sortie des GMC
- b) Résolution en temps du double dispositif (2 paires de GMC)

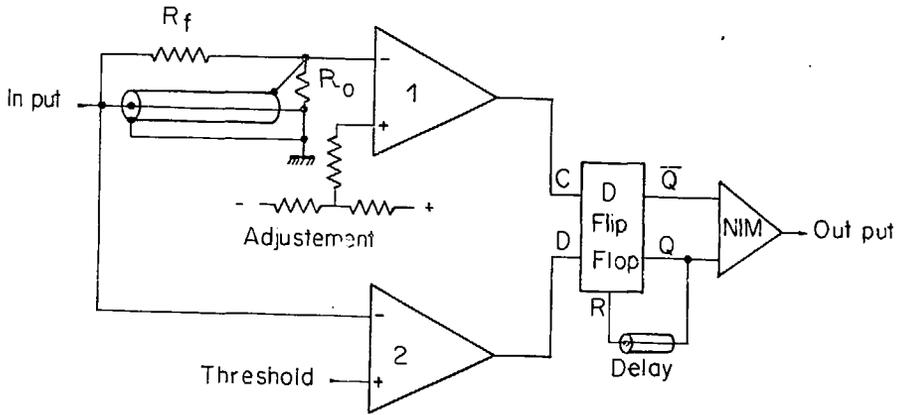
REFERENCES

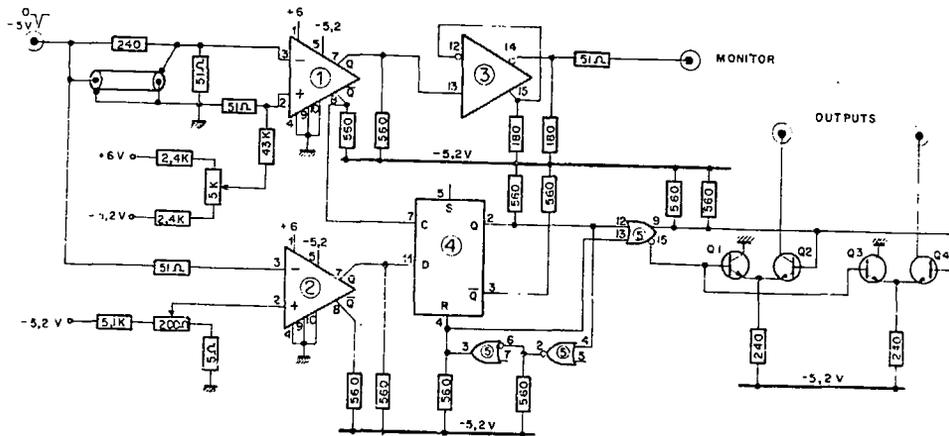
- 1 W. PARKES and R. GOTT, Nucl. Instr. and Meth. 95 (1971) 487
- 2 W. PFEFFER, B. KOHLMAYER and R.F.W. SCHNEIDER Nucl. Instr. and Meth.
107 (1973) 121
- 3 D. WASHINGTON, Nucl. Instr. and Meth. 111 (1973) 573
- 4 J.P. BOUTOT : le HR4-00, 4^{ème} journée d'optique spatiale, Marseille
11/1973
- 5 M.I. GREEN, P.F. KENEALY and G.B. BEARD
Nucl. Instr. and Meth. 126 (1975) 175
- 6 J.P. BOUTOT and J.G. DELMOTTE, L'Onde Electrique (1976)
- 7 G. GABOR, W. SCHIMMERLING, D. GREINER, F. BIESER and P. LINDROM,
Nucl. Instr. and Meth. 130 (1975) 65
- 8 J.E. BATEMAN, R.J. APSIMON and F.E. BARLOW
Nucl. Instr. and Meth. 137 (1976) 61
- 9 J. GIRARD and M. HOLOPE
Nucl. Instr. and Meth. 140 (1977) 279
- 10 M. AUDIER, J.C. DELMOTTE, J.P. BOUTOT
Congrès de la SFP - Poitiers, Juin 1977
- 11 A.M. ZEBELMAN, W.G. MEYER, K. HALBACH, A.M. FOSKANZER, R.G. SENTRO,
G. GABOR and D.A. LANDIS Nucl. Instr. and Meth. 141 (1977) 439
- 12 J.E. BATEMAN, Nucl. Instr. and Meth. 142 (1977) 371

- 13 J. DAVID BOWMAN and R.H. MEFFNER
Nucl. Instr. and Meth. 148 (1978) 503
- 14 J. POUTHAS, These 3ème cycle, ORSAY (1974)
- 15 Advanced Micro Devices, Data book (1973) p. 441
- 16 11C70 - FAIRCHILD Semiconductor - (Nov.75)
- 17 MOTOROLA - MECL INTEGRATED CIRCUITS (1974)
- 18 A.J. GUEST - Acta Electronica Vol. 14 n° 1 (1971) p.79
- 19 V. CHALMETON and G. ESCHARD
Advances in Electronics and Electron Physics, vol. 33
- 20 J. GIRARD, Journées d'Etudes, Saclay 14 - 18 mars 1977
- 21 J. OMS, J. POUTHAS, G. LANDOIS, J. GIRARD To be published









AM 6P5	1	2
MC 10216	3	3
HC70	4	4
MC 10102	5	5

