

Dispositif de discrimination neutrons-gammas

par P. Bréonce

Bureau International des Poids et Mesures, F-92310 Sèvres

1. Principe

On utilise la propriété que possèdent certains détecteurs à scintillation de réagir différemment selon qu'ils sont excités par un neutron ou par un rayonnement gamma. L'association d'un tel détecteur à un photomultiplicateur permet de recueillir sur une dynode des signaux électriques de temps de montée différents pour chaque type d'excitation. Ces signaux sont examinés par le dispositif et séparés suivant leur nature.

2. Description de l'appareil

a) Détection : Un cristal de stilbène est couplé optiquement à un photomultiplicateur 56 AVP. Les charges recueillies sur la dynode utilisée sont appliquées à la capacité C qui se décharge dans R. La constante de temps RC a été choisie égale à  $10^{-6}$  s, alors que le temps de montée d'une impulsion due à un gamma est d'environ  $10^{-8}$  s et celui d'une impulsion due à un neutron est au total (composante rapide plus composante lente) de  $10^{-7}$  s. Les impulsions obtenues (fig. 1) sont amplifiées à l'aide d'un circuit dont les propriétés essentielles sont d'apporter le moins de bruit possible et de ne pas altérer les temps de montée. Après amplification, elles sont acheminées vers le discriminateur proprement dit.

b) Discriminateur de forme : Le schéma synoptique simplifié du discriminateur de forme est représenté sur la figure 2. Les simplifications portent sur des détails qui ne changent en rien le principe de fonctionnement de l'appareil, et dont la représentation alourdirait inutilement la description. L'ensemble se décompose en trois parties que l'on peut décrire séparément. Dans la pratique, l'appareil est construit sur trois circuits imprimés supportant chacun les éléments qui réalisent les fonctions suivantes:

- mise en forme et amplification,
- analyse des signaux,
- séparation.

Cette disposition permettrait, le cas échéant, de modifier une partie de l'appareil sans entreprendre la reconstruction complète de ce dernier.

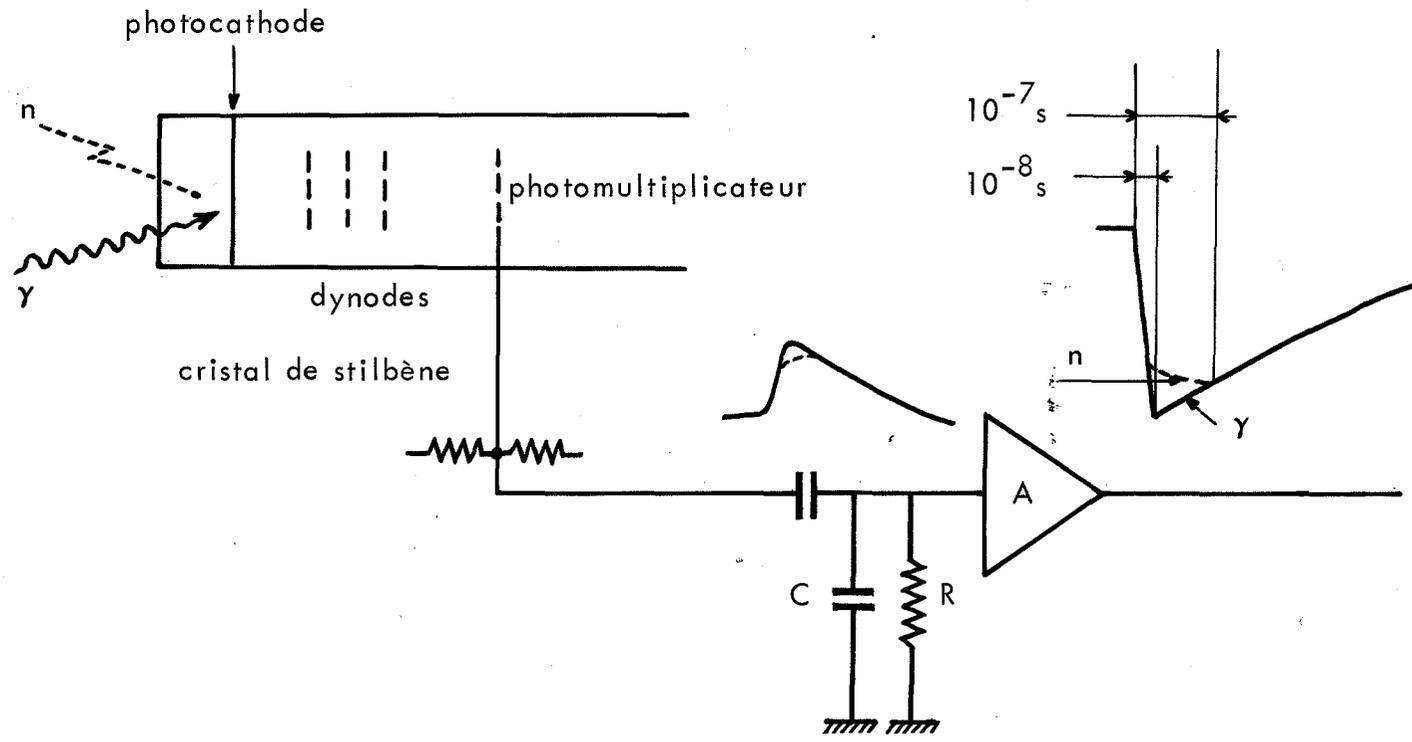


Figure 1 - Dispositif de détection neutrons-gammas

Note - Le dessin du signal électrique montre les différences de temps de montée. Les amplitudes de chacune des impulsions ( $n$  ou  $\gamma$ ) sont indépendantes et peuvent prendre toutes les valeurs entre zéro et un maximum.

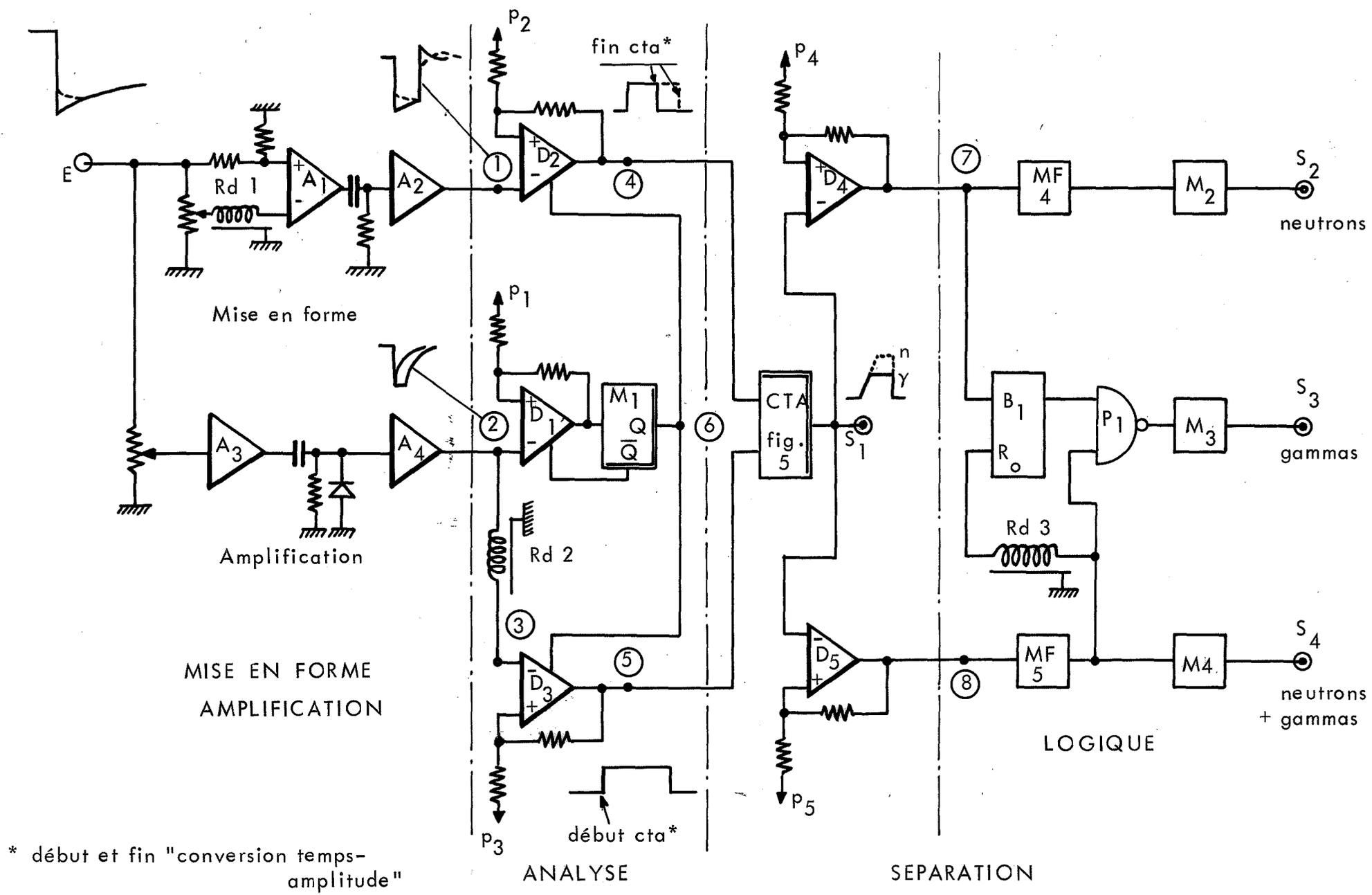


Figure 2 - Schéma synoptique du discriminateur de forme  
Les repères O et les notations correspondent à ceux de la figure 4

c) Mise en forme et amplification : Tels qu'ils sont fournis par les circuits accompagnant le détecteur, les signaux ne se prêtent pas à une séparation d'après leur forme. Il est donc utile de procéder à une mise en forme.

Mise en forme : On a choisi de réaliser la mise en forme par ligne à retard et amplificateur différentiel.

Le signal à mettre en forme est acheminé vers les deux entrées d'un amplificateur différentiel ( $A_1$ , fig. 2), d'une part directement, d'autre part par l'intermédiaire d'une ligne à retard  $Rd 1$ .

La figure 3 indique le résultat obtenu.

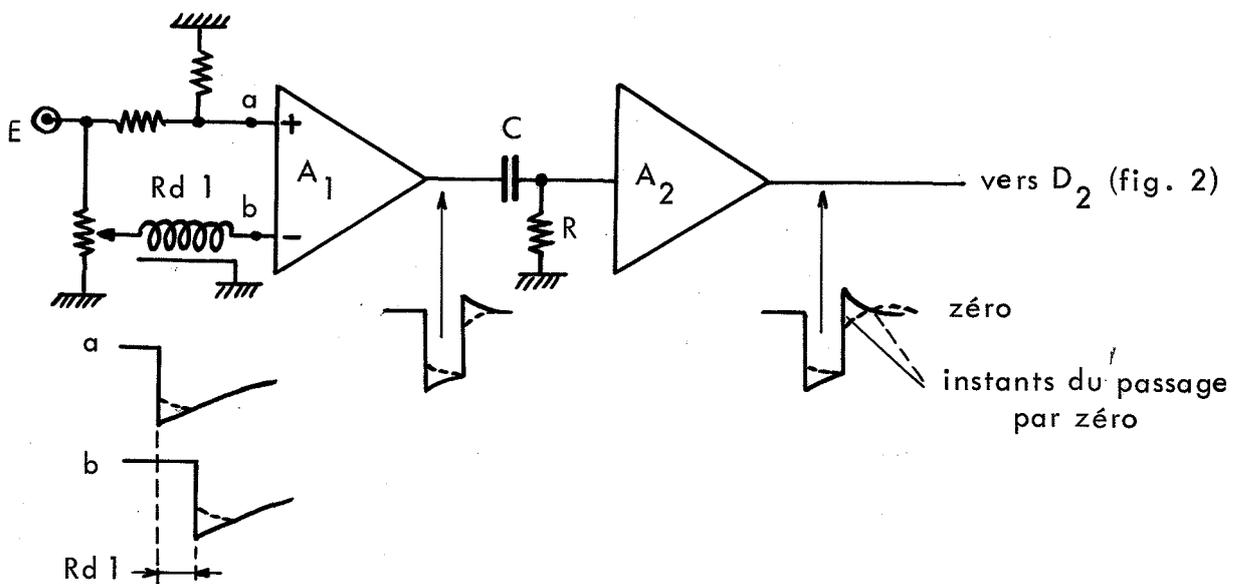


Figure 3 - Principe de la mise en forme par ligne à retard

La constante de temps de différenciation  $CR$  est choisie expérimentalement de telle sorte que la composante lente de l'impulsion produite par un neutron ne soit pas supprimée, mais qu'elle franchisse le niveau zéro. C'est ce franchissement qui est détecté par le circuit d'analyse après que l'impulsion mise en forme ait été portée à un niveau convenable par l'amplificateur  $A_2$ .

Amplification : L'impulsion non mise en forme est différenciée et amplifiée par  $A_3$  et  $A_4$  (fig. 2) ; son front avant et son amplitude sont examinés par le circuit d'analyse.

### 3. Analyse des signaux

Cette fonction est assumée par les discriminateurs  $D_1$ ,  $D_2$  et  $D_3$  associés au monostable  $M_1$  (fig. 2).

Les discriminateurs comparent le signal appliqué à l'une de leurs entrées à une tension continue, fixe ou réglable, appliquée à l'autre entrée. Aux discriminateurs  $D_1$ ,  $D_2$  et  $D_3$  correspondent des tensions continues  $p_1$ ,  $p_2$  et  $p_3$ , respectivement. Ces tensions définissent le seuil que doivent franchir les signaux à examiner pour provoquer un changement d'état en sortie des discriminateurs. La réaction positive appliquée favorise les changements d'état, et de plus introduit une "hystérésis"; c'est-à-dire que le retour à l'état initial se produit lorsque les signaux à examiner franchissent, en sens inverse, un seuil légèrement différent du premier. Cette propriété est essentielle car elle permet à  $D_2$  de détecter le passage par zéro des impulsions mises en forme.

a) Discriminateur  $D_1$  : Le discriminateur  $D_1$  définit un seuil d'analyse: toute impulsion issue de  $A_4$  qui ne franchit pas le seuil  $p_1$  n'est examinée ni par  $D_2$  sur la voie mise en forme, ni par  $D_3$  sur la voie retardée par Rd 2. Par contre, si le seuil  $p_1$  est franchi, le monostable  $M_1$  autorise le fonctionnement de  $D_2$  et de  $D_3$  pendant  $3 \times 10^{-6}$  s, durée suffisante pour l'analyse du signal correspondant. En même temps,  $M_1$  interdit tout nouveau fonctionnement de  $D_1$ , évitant ainsi des perturbations.

b) Discriminateur  $D_3$  : Le seuil  $p_3$  de ce discriminateur est fixé à une valeur aussi faible que l'autorise le niveau du bruit présent à son entrée. Le franchissement du seuil  $S_3$  par le front avant d'une impulsion issue de  $A_4$  à travers Rd 2 provoque le changement d'état en sortie de  $D_3$  et ce changement d'état détermine le début du fonctionnement du convertisseur temps-amplitude (CTA sur la figure 2). Le rôle du retard Rd 2 sera examiné plus loin (fig. 4, Remarque). Le début du fonctionnement du CTA est lié de façon assez étroite, dans le temps, à l'événement qui a produit l'impulsion que l'on examine. Il est indépendant de la forme de celle-ci.

c) Discriminateur  $D_2$  : Le premier franchissement du seuil  $p_2$  par une impulsion issue de  $A_2$  n'affecte pas la durée du fonctionnement du CTA. Le second, par contre, qui grâce à l'effet d'hystérésis a lieu lors du passage à zéro de l'impulsion, en détermine la fin.

Ainsi qu'il apparaît sur la figure 3, le franchissement du zéro par le front arrière de l'impulsion analysée a lieu à des instants différents selon que l'on est en présence d'un événement gamma ou neutron. La durée de fonctionnement du CTA est donc différente pour les deux cas. On tente d'illustrer ce point sur la figure 4.

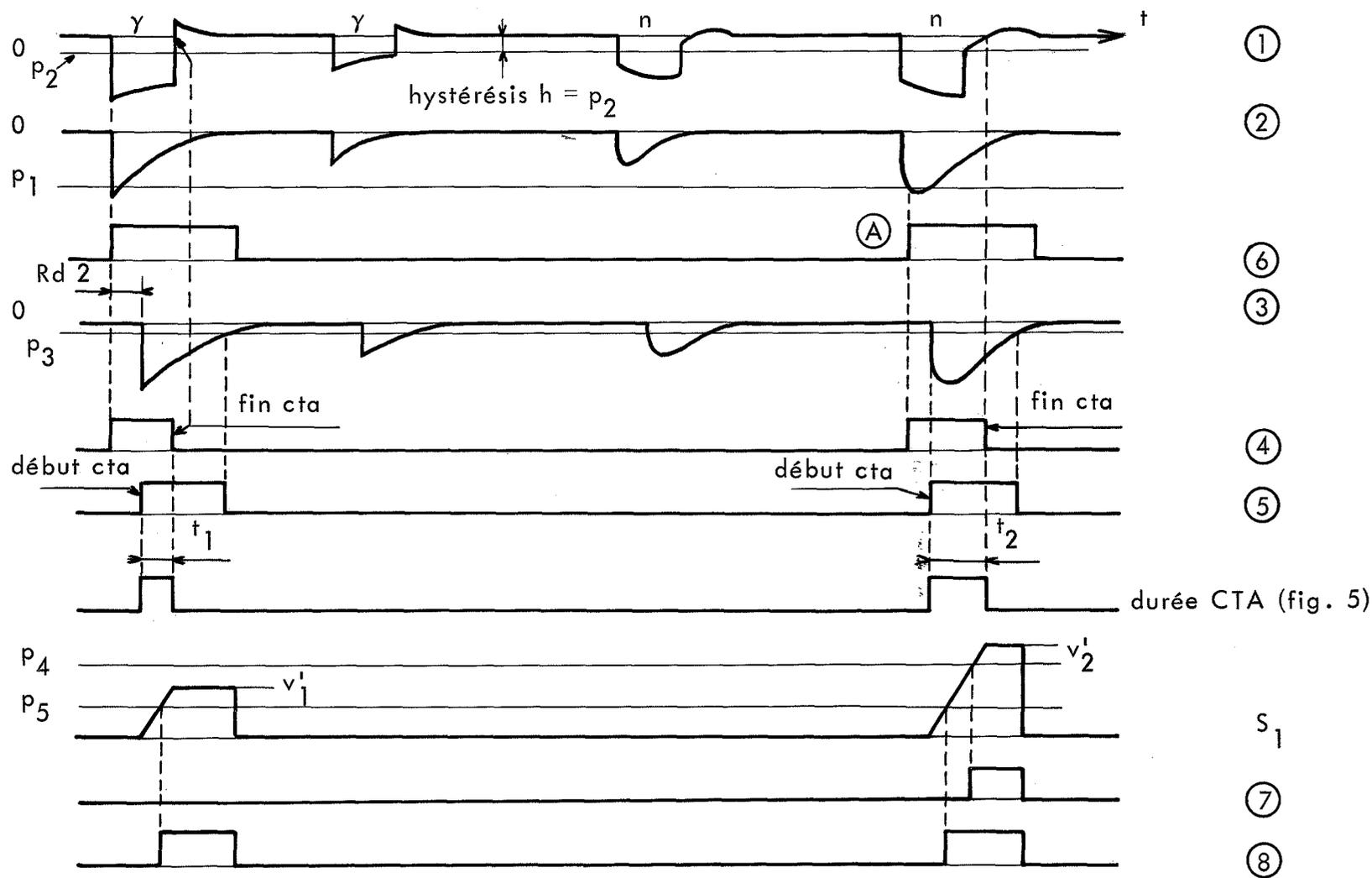


Figure 4 - Signaux obtenus aux divers points repérés sur la figure 2

Remarque - Retard Rd 2. Il est introduit afin d'assurer que le début du fonctionnement de  $D_3$  (ligne ⑤ ci-dessus), et donc le début de la conversion temps-amplitude, sont bien liés à la détection d'un événement. On voit en effet en (A), ligne ⑥, que le fonctionnement de  $D_3$  n'est autorisé qu'après sollicitation de  $D_1$ , laquelle peut intervenir après un retard égal au temps de montée de l'impulsion en ②. Rd 2 doit être légèrement supérieur à ce temps de montée.

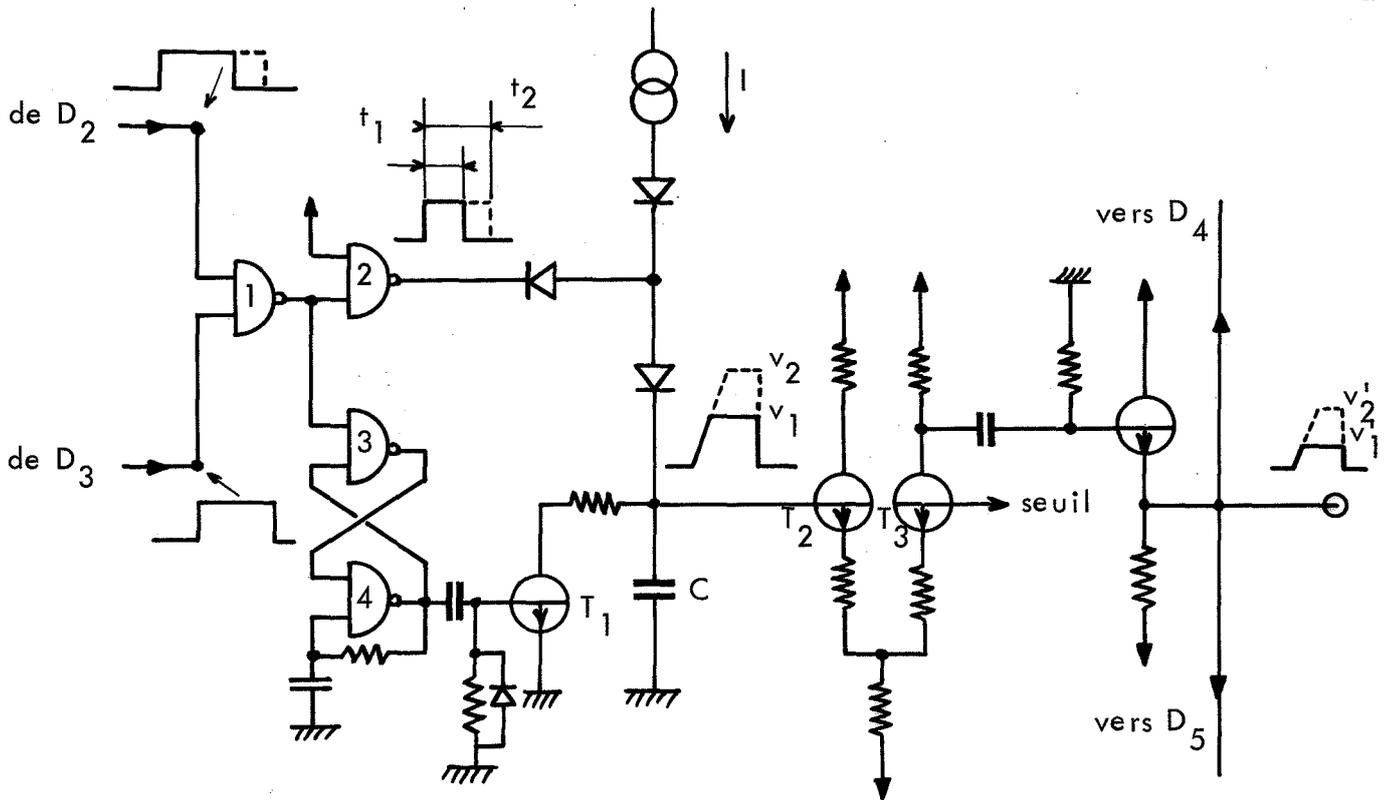


Figure 5 - Convertisseur temps-amplitude "(CTA)"

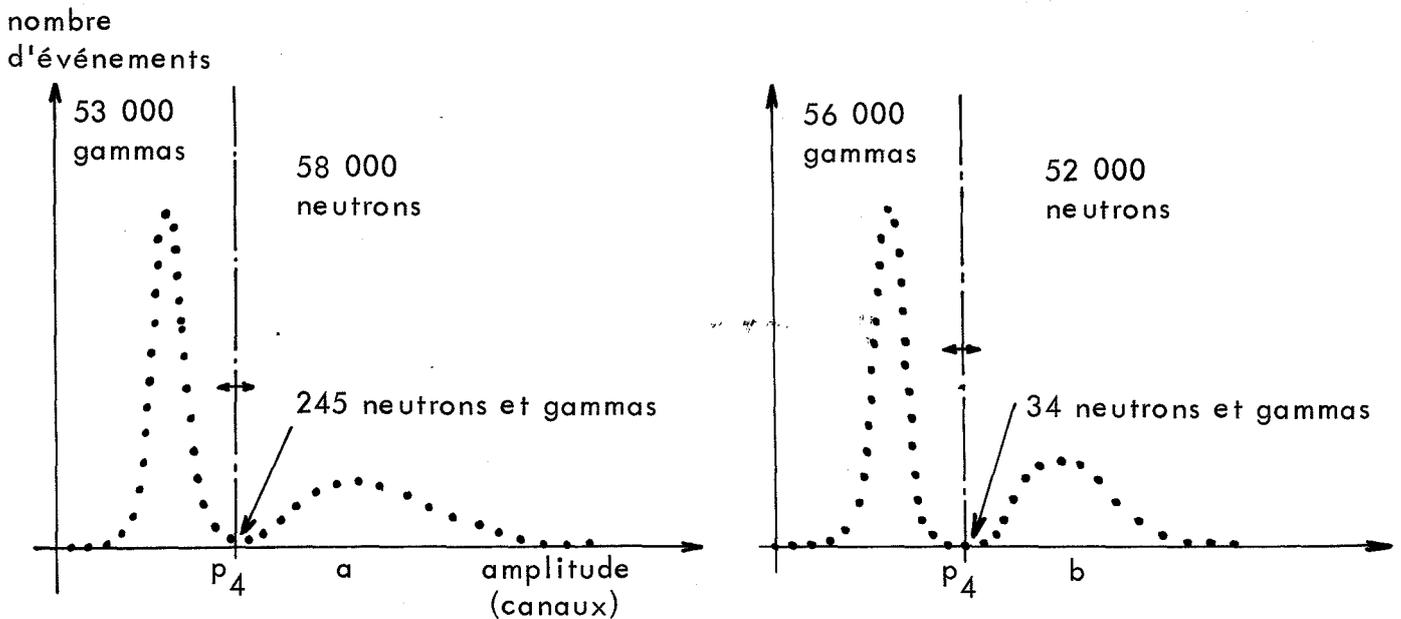


Figure 6 - Analyse en amplitude des signaux en  $S_1$

a - seuil d'analyse fixé à 80 keV ( $\gamma$ )

b - seuil d'analyse fixé à 500 keV ( $\gamma$ )

La séparation neutrons-gammas serait réalisée avec 100% d'efficacité si l'on n'enregistrait aucun événement dans le canal correspondant au seuil  $p_4$ .

#### 4. Séparation

Elle est assurée par le CTA, le discriminateur  $D_4$  et le discriminateur  $D_3$ .

Le fonctionnement de la partie "logique" (figure 2) ne sera pas décrit.

Disons simplement que ce circuit permet de compter séparément les événements "neutron", "gamma" ou leur somme.

##### a) Convertisseur temps-amplitude (CTA) et discriminateur d'amplitude:

Le schéma détaillé du CTA est représenté sur la figure 5, alors que la relation existant entre les signaux d'entrée et de sortie apparaît sur la figure 4.

Le fonctionnement du CTA est le suivant: la sortie de la porte 2 est à l'état logique 1 pendant une durée  $t_1$  si  $D_2$  a détecté le passage à zéro d'une impulsion gamma, et pendant une durée  $t_2$  s'il s'agit d'une impulsion neutron. On autorise la charge à courant constant de la capacité  $C$  durant  $t_1$  ou  $t_2$  et la tension aux bornes de  $C$  croît jusqu'à une valeur  $v_1$  ou  $v_2$ . Après un temps déterminé par le monostable  $M$ , on décharge  $C$ . La partie supérieure des deux types d'impulsions ainsi formées est amplifiée par  $T_2-T_3$ . Les signaux obtenus à la sortie  $S_1$ , d'amplitude  $v_1'$  et  $v_2'$ , sont examinés par les discriminateurs  $D_4$  et  $D_5$  dont les seuils sont fixés respectivement aux valeurs suivantes:

$$\begin{aligned} v_1' &< p_4 < v_2' , \\ p_5 &< v_1' . \end{aligned}$$

$D_4$  n'est actionné que par les signaux correspondant à des neutrons, alors que  $D_5$  est actionné par tous les signaux, neutrons ou gammas. La séparation est ainsi réalisée.

b) Remarque : Les signaux obtenus en  $S_1$  peuvent être examinés à l'aide d'un oscilloscope ou mieux, à l'aide d'un analyseur d'amplitude multicanaux. Les essais en atelier d'électronique, effectués en présence d'une source de plutonium, ont donné les résultats illustrés par la figure 6. On observe une meilleure séparation pour un seuil d'analyse élevé. Les impulsions dépassant ce seuil sont plus grandes; l'instant de leur passage à zéro est mieux défini et moins affecté par le bruit électronique.

#### 5. Conclusion

L'appareil, tel qu'il a été décrit, semble fonctionner correctement. Ses performances sont équivalentes à celles d'autres appareils, du commerce ou décrits dans la littérature. Il pourrait sans doute être amélioré en reconsidérant l'amplification du signal détecté et le circuit de mise en forme.