

Figure 1 : Schéma de principe de la mesure par coïncidence : deux compteurs Geiger G1 et G2 sont positionnés selon une certaine orientation (ici verticalement) et ne se déclenchent simultanément que si un rayon cosmique (bleu) suffisamment énergétique traverse les deux capteurs simultanément. Ainsi, les rayonnements issus de l'environnement (en rouge) sont exclus de la mesure par coïncidence puisque observés par un seul des deux compteurs. La direction d'incidence des rayons cosmiques est déterminée par la position relative des deux compteurs : pour un angle de  $45^\circ$ , le second compteur est positionné en G2'. L'image de fond présente le tube Geiger de 15 mm de diamètre équipant le RM-60 de Aware Electronics.

qu'à 1% de la vitesse de la lumière parcourt dans cet intervalle de temps 150 m. En ne considérant que des détecteurs séparés de quelques décimètres au plus, les signaux induits par les deux compteurs Geiger peuvent donc être considérés comme simultanés lorsque produits par une même particule. Nous allons dans un premier temps analyser la statistique de la mesure par coïncidence et une méthode simple de mise en œuvre, avant de proposer quelques démonstrations expérimentales de résultats de détection de rayons cosmiques.

## 2 La méthode de mesure par coïncidence

Au-delà de déterminer la direction d'origine de la particule qui interagit avec le télescope, le bruit électrique et

le bruit de fond de la radioactivité environnante seront rejetés par la méthode de coïncidence puisque la probabilité que deux compteurs produisent simultanément une impulsion électrique chacun, qui ne soit pas due au passage d'une particule ionisante, est faible. Nous devons cependant quantifier la probabilité de faux positifs, afin d'identifier quel nombre d'événements est attribuable à

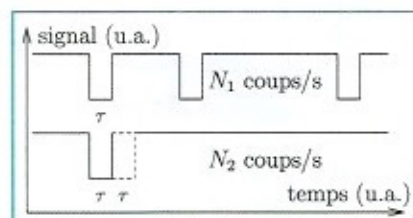


Figure 2 : Chronogramme de la mesure en coïncidence fortuite par deux compteurs Geiger détectant respectivement  $N_1$  et  $N_2$  coups/unité de temps, chaque impulsion étant d'une durée  $\tau$ .

des rayons cosmiques ou, au contraire, à des événements produits par chance sur les deux capteurs simultanément.

La Fig. 2 illustre graphiquement les considérations que nous allons formaliser ci-dessous : supposons que deux détecteurs induisent  $N_1$  et  $N_2$  mesures respectivement par unité de temps. Chaque événement se traduit par une impulsion de durée  $\tau$ . Si par hasard le second détecteur induit une transition dans un intervalle  $\pm \tau$  alors que le premier détecteur est excité, une transition en coïncidence sera produite traduisant un faux positif. Le premier détecteur induit  $N_1$  transitions par unité de temps, le second induit  $N_2$  transitions dans ce même intervalle de temps, et le temps de recouvrement à  $\pm \tau$  près des secondes impulsions sur une impulsion du premier capteur se produit statistiquement à un taux de  $N = 2\tau N_1 N_2$  par unité de temps. En pratique nous observons qu'au niveau du sol, les compteurs Geiger RM-60 (Aware Electronics, <http://www.aw-el.com/>) que nous utilisons induisent un décompte de l'ordre de 50 coups/minute. Par conséquent, le taux de faux positifs est de l'ordre de  $N = 0,002$  coups/minute, ou un coup toutes les 8 heures. Cette valeur est très importante car elle détermine à partir de combien de coups/minute observés dans un circuit de coïncidence nous pourrions affirmer que nous avons détecté une particule cosmique et non du bruit. Les petits compteurs Geiger que nous utilisons ne présentent qu'une surface d'interaction réduite avec les particules ionisantes et induisent donc peu de mesures par unité de temps. Deux solutions pour améliorer la statistique est soit d'augmenter la surface d'interaction (solution qui n'est pas acceptable sur un compteur Geiger que nous prétendons embarquer en avion et dont le volume doit nécessairement être réduit), soit d'augmenter la durée de la mesure pour accumuler plus de points de mesure que le niveau du bruit de fond. En effet, [10] indique que la statistique, ou en d'autres termes le rapport signal à bruit, croît comme la racine du temps