

GAMMA-RAY SPECTROMETRY IN THE ENERGY RANGE 0.5–5 MeV

F. ALBERNHE, C. DOULADE, I. M. MARTIN*, R. TALON, and G. VEDRENNE
Centre d'Étude Spatiale des Rayonnements, Toulouse, France

Abstract. A stilbene scintillator detector allowing gamma-ray spectrometry in the range 0.5–5 MeV is presented. A complete elimination of charged particles is obtained by a plastic scintillator anti-coincidence jacket. Separation of gamma rays from neutrons is made by pulse shape discrimination technique with over 99% efficiency. This detector which has a 4π field of view has been made as light as possible to avoid perturbation due to secondary production in the apparatus. The correction of the edge effects and the method of conversion from experimental Compton electron spectrum to gamma-ray spectrum are explained.

Results from balloon launchings at three latitudes (Kourou Guyana: 10°N , Aire sur l'Adour: 46°N and Obozersky U.S.S.R.: 62°N) are briefly presented. The detection possibility with balloons of galactic gamma rays at equatorial latitude is shown. The atmospheric part of the flux at the equator is deduced from the measurements at higher latitudes, (46°N and 62°N) where the galactic component is of negligible importance. Assuming a power law spectrum and after correction of the atmospheric absorption we obtain for the galactic spectrum the expression $dN/dE = 1.1 \times 10^{-5} E^{-1.2}$ photons/cm² s sr keV. This spectrum agrees with the results of ERS 18 satellite given by Vette *et al.* showing an excess of flux for energies higher than 1 MeV.

Dans la partie du spectre des rayons γ située entre 1 et 10 MeV, il existe très peu de résultats en raison principalement des problèmes de détection qui y sont attachés. Tout d'abord les faibles flux qu'il faut détecter en présence des autres particules du rayonnement cosmique nécessitent une discrimination parfaite des photons, de plus le rayonnement γ parasite créé par interaction avec la masse du détecteur peut rapidement devenir plus important que le flux à détecter. Enfin, lié à ce dernier aspect, le problème de la collimation en vue de réduire l'angle d'ouverture du détecteur semble extrêmement difficile à résoudre. Un collimateur passif nécessiterait une grande quantité de matière et la production locale de rayons γ serait prohibitive. Un collimateur actif demanderait dans cette gamme d'énergie une masse très importante de scintillateur et serait lui aussi une source de bruit de fond en raison des émissions retardées et des interactions secondaires créés par des neutrons lents qui y prendraient place. Malgré ces difficultés des résultats positifs ont été obtenus par le Satellite ERS 18 (Vette *et al.*, 1969) dans une gamme d'énergie allant jusqu'à 8 MeV. Ces mesures qui ont mis en évidence la présence d'un flux de rayons γ d'origine extraterrestre plus élevé que prévu, sont du plus grand intérêt par suite des nombreux problèmes théoriques qu'elles suscitent.

En outre, le flux détecté par ERS 18 s'est avéré du même ordre de grandeur que le flux de rayons γ atmosphériques mesurés à l'altitude des ballons près de l'équateur. Ainsi il est permis d'envisager de mesurer les caractéristiques du flux de rayons γ galactiques de quelques MeV d'énergie à partir d'expériences à bord de ballons sondes.

* On leave of absence from Brazilian Space Commission C.N.A.E. – São José dos Campos – S. P. Brasil.

Pour ces raisons nous avons choisi d'utiliser un détecteur de rayons γ omnidirectionnel ayant de bonnes performances pour ce qui est de la rejection des particules chargées et des neutrons. Notre but est de détecter la composante galactique grâce à des mesures équatoriales, l'évaluation et la soustraction du bruit de fond atmosphérique étant faites par extrapolation à partir de mesures à des latitudes plus hautes où la partie atmosphérique du spectre est largement prépondérante.

La figure 1 montre le schéma de principe du détecteur, celui-ci est composé d'un scintillateur organique de stilbène de 1 pouce de hauteur sur 1 pouce de diamètre, qui est associé à un photomultiplicateur rapide 56 AVP. Le scintillateur et le photomultiplicateur qui lui est associé sont entourés par un scintillateur plastique en forme de puits de 25 cm de long et de 8 mm d'épaisseur, qui est placé en anticoincidence. Ce scintillateur assure une protection sur pratiquement 4π . Les rayons γ sont détectés dans le scintillateur de stilbène par effet Compton. L'effet photoélectrique et la production de paires dans notre gamme d'énergie ont une importance négligeable.

Comme notre intention était de faire des mesures comparatives de neutrons et de rayons γ , nous avons choisi un scintillateur de stilbène. Il délivre en effet une impulsion lumineuse dont la forme est liée au pouvoir ionisant de la particule détectée, ce qui permet de séparer électroniquement par discrimination de forme les particules lourdes et les électrons. Le circuit que nous utilisons assure la séparation des neutrons et des rayons γ avec une efficacité supérieure à 99%, l'élimination des particules chargées étant faite par le dispositif d'anticoincidence. Le spectre est analysé par un codeur d'amplitude à 128 canaux ce qui permet d'obtenir une très bonne précision pour les étalonnages en énergie. Ces étalonnages sont faits avec des sources radioactives de Sodium 22, Yttrium 88, Thorium 228 et d'une source de neutrons, ce qui permet de couvrir toute la gamme d'énergie que nous étudions jusqu'à 4,43 MeV. Ces étalonnages

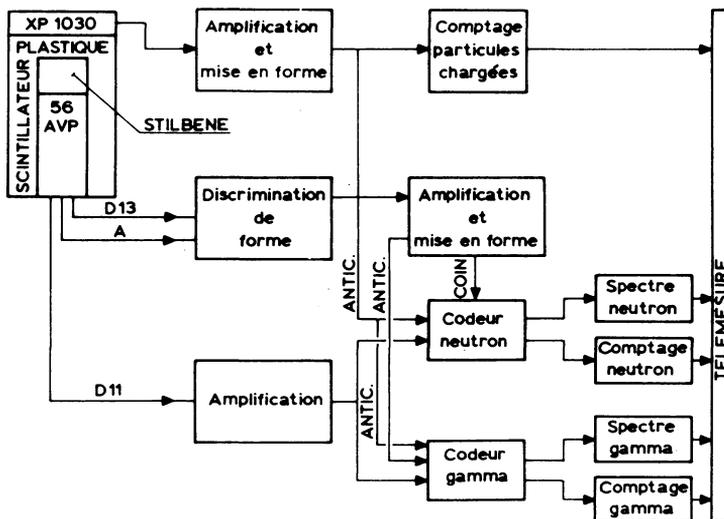


Fig. 1. Schéma synoptique du spectromètre.

sont enregistrés dans les conditions de vols avant et après chaque lancement pour déceler d'éventuelles variations de gain. Les effets de bord sont importants dans cette gamme d'énergie; toutefois, le scintillateur d'anticoïncidence élimine une partie des électrons Compton sortant du scintillateur de stilbène. La correction nécessaire pour tenir compte de cet effet a été déterminée expérimentalement. Pour cette raison, nous avons arrêté l'analyse des résultats à 4,5 MeV ce qui représente l'énergie maximum à laquelle nous pouvions faire un étalonnage. De plus, au-delà de cette énergie, la correction à faire devenait trop importante pour être sûre. Pour réduire le bruit de fond dû aux interactions du rayonnement cosmique dans le détecteur, nous avons réalisé un ensemble léger (20 kg) où les batteries et les blocs d'électronique sont placés à environ 1 m du détecteur. La télémessure fournit en dehors du spectre retransmis en signaux codés binaires, le comptage intégré des rayons γ , le comptage du scintillateur d'anticoïncidence et des paramètres technologiques.

Le spectre obtenu en sortie du détecteur est un spectre d'électrons Compton, le passage de ce spectre au spectre de photons incidents fait intervenir une équation

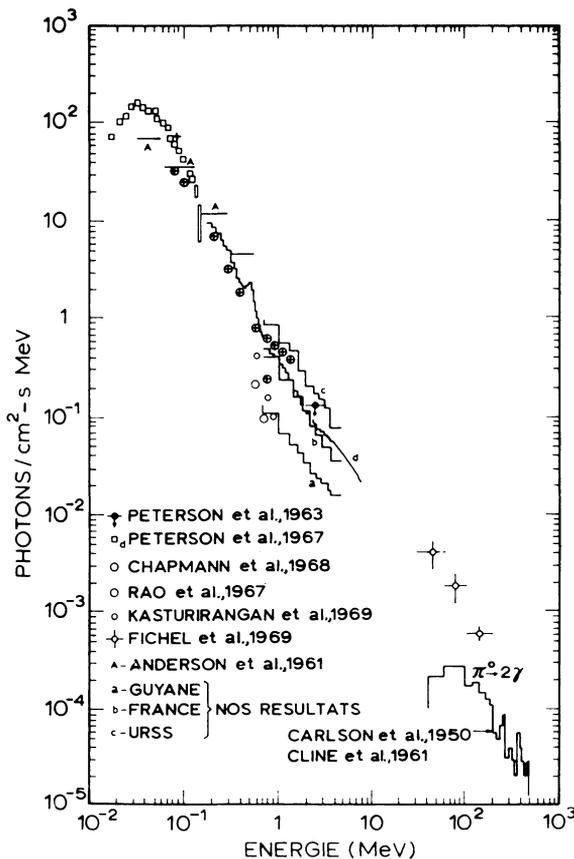


Fig. 2. Comparaison entre les différentes mesures des spectres de rayons γ atmosphériques.

intégrale dans laquelle figure le spectre différentiel des rayons γ incidents et la fonction de réponse de scintillateur qui tient compte de la section efficace Compton, de la résolution du système et de la géométrie du détecteur. La solution de ce problème analytiquement complexe a été obtenue par un calcul de simulation de Monte-Carlo. Nous supposons que le spectre différentiel de photons incidents est de la forme E^{-b} et la détermination de b est obtenue par approximations successives en faisant varier la valeur de b . Ce calcul a d'autre part été fait pour déterminer l'influence de l'angle d'incidence des rayons γ sur le détecteur, il n'a pas mis en évidence une anisotropie du détecteur supérieure à 5%, ce résultat a été vérifié expérimentalement.

De nombreux vols ont été effectués avec ce détecteur et ceci pour trois latitudes différentes: 62°N en Union Soviétique, 46°N à Aire sur l'Adour, et 10°N en Guyane.

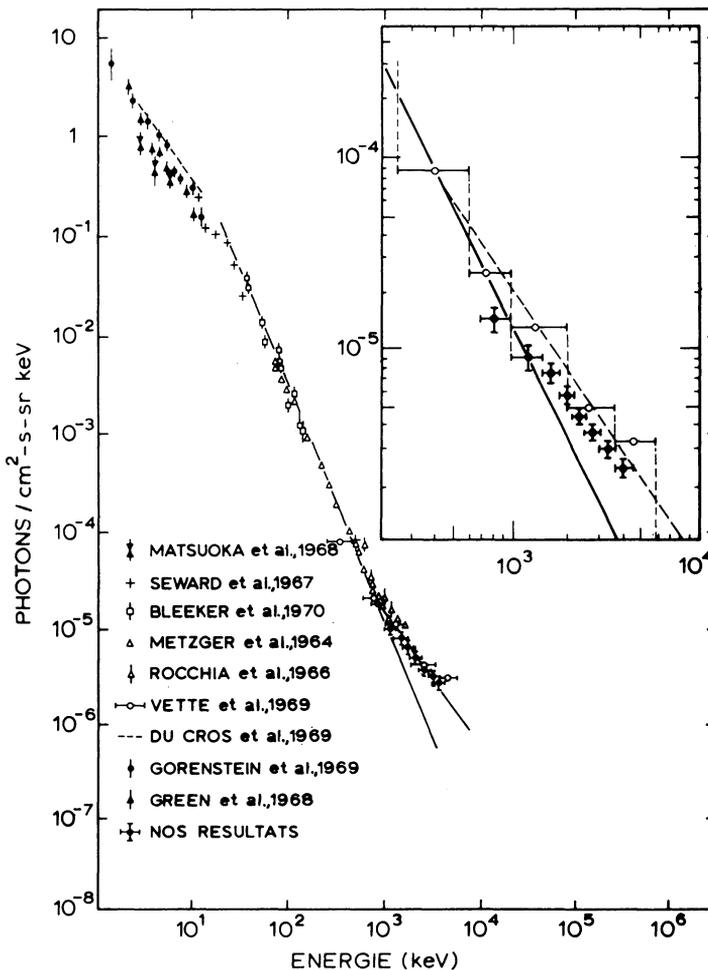


Fig 3. Comparaison entre les différentes mesures des spectres de rayons γ galactiques.

L'ensemble de l'appareillage a toujours bien fonctionné. Les spectres de rayons γ atmosphériques que nous avons obtenus sont présentés dans la figure 2 avec les résultats d'autres expérimentateurs. La comparaison des résultats de nos vols a permis par l'examen des courbes de montée [des neutrons et des rayons γ] de mettre en évidence la composante galactique dans le vol de Guyane. Comme la forme de variation de flux avec l'altitude au-delà de 40 mb est la même en Union Soviétique et en France où la composante atmosphérique est prépondérante, et comme la forme du spectre reste constante, il nous a été possible d'estimer la composante atmosphérique à 10°N en Guyane. Après correction de l'absorption atmosphérique nous obtenons pour le spectre galactique entre 0,7 et 4,5 MeV, l'expression :

$$dN/dE = 1,1 \times 10^{-5} E^{-1,2} \text{ photons/cm}^2 \text{ s sr keV.}$$

Ce spectre qui comme celui obtenu par le satellite ERS 18 montre un changement de pente vers 1 MeV est porté sur la figure 3 avec les résultats à différentes énergies obtenus par d'autres expérimentateurs.

Il apparaît donc que grâce à la technique utilisée et par des expériences faites en ballon à latitude équatoriale pour réduire au maximum la contribution atmosphérique, il est possible de déterminer la composante galactique au-delà de 1 MeV. Dès à présent, de nouvelles expériences sont prévues par la même méthode mais en élargissant la gamme d'analyse vers les hautes énergies. Cette méthode souple et économique se révèle donc être un moyen extrêmement intéressant pour l'étude des rayons γ autour de 1 MeV.

Bibliographie

- Anderson, K. A.: 1961, *Phys. Rev.* **123**, 4.
 Bleeker, J. A. M. et Deerenberg, J. M.: 1970, *Astrophys. J.* **159**, 215.
 Carlson, A. G., Hooper, J. E., et King, T. D.: 1950, *Phil. Mag.* **41**, 707.
 Chapmann, G. T., Mac Klin, R. L., et Gibbons, J. H.: 1968, *Bull. An. Phys. Soc.* **615**, Sessions J.D. et J.F.
 Cline, T. L.: 1961, *Phys. Rev. Letters* **7**, 109.
 Ducros, S., Ducros, R., Rocchia, R., et Tarnius, A.: 1969, (preprint submitted *Astrophys. J.*).
 Fichtel, C. E., Kniffen, D. A., et Ogelman, H. B.: 1969, *Astrophys. J.* **158**, 193.
 Gorenstein, P., Kellog, E. M., et Gursky, H.: 1969, *Astrophys. J.* **156**, 315.
 Green, D. W., Wilson, B. S., et Baxter, A. J.: 1968, *Space Res.* **IX**, 222.
 Kasturirangan, K., Bhavsar, P. D., et Nerurkar, N. W.: 1969, Eleventh International Conference on Cosmic Rays, Août-Septembre.
 Matsuoka, M., Oda, M., Ogawara, Y., Hayakawa, S., et Kato, T.: 1968, *Can. J. Phys.* **46**, 446.
 Metzger, A. E., Anderson, E. C., Van Dilla, M. A., et Arnold, J. R.: 1964, *Nature* **204**, 766.
 Peterson, L. E.: 1963, *J. Geophys. Res.* **68**, 979.
 Peterson, L. E.: 1967, UC SD-SP 68-1, July.
 Rao, U. R., Ivengar, U. S. et Prakasarao, A. S.: 1967, Proceedings of the Tenth Symposium on Cosmic Rays, Elementary Particle Physics and Astrophysics, Aligarh, India.
 Rocchia, R., Rothenflug, R., Boclet, D., Ducros, D. et Labeyrie, J.: 1966, *Space Res.* **VII**, 1327.
 Seward, F., Chodil, G., Mark, H., Swift, C. et Toor, A.: 1967, *Astrophys. J.* **150**, 845.
 Vette, J. I., Matteson, J. L., Gruber, D., et Peterson, L. E.: in L. Gratton (ed.) 'Non-Solar X- and Gamma-Ray Astronomy'. *IAU Symp.* **37**, 335.