

Variation du Flux des Neutrons Rapides et des -Rayons Gamma d'Origine Cosmique en Fonction de la Latitude et de l'Altitude

INACIO MALMONGE MARTIN

Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos SP*

F. ALBERNHE et G. VEDRENNE

Centre d'Étude Spatiale des Rayonnements, Toulouse

Recebido em 16 de Julho de 1971

The spectra of rapid neutrons between 1 and 15 MeV and, for γ -rays, from 0.7 to 4.5 MeV, have been measured. These measurements were performed using stratospheric balloons at 10° N, 46° N and 62° N of geomagnetic latitudes. The observed spectra follow a law of the form $\frac{dN}{dE} = AE^{-\gamma}$, where $\gamma = 1.4 \pm 0.1$ for neutrons and $\gamma = 1.5 \pm 0.1$ for γ -rays. From these observations, it was found that the exponent (γ) is a constant independent of the latitude and of pressure between 120 and 4g/cm². The value of A is a function of the latitude and height. At 4g/cm² the ratio of the measured flux at 10° N and 46° N was found to be 9 for neutrons and 3 for γ -rays. This difference, as well as the analysis of the attenuation coefficient and the position of Pfozter's maximum, for the three latitudes, show that most of the γ -rays come from the photo-electric component. This component is originated by the decay of π^0 mesons which are created at the uppermost layers of the atmosphere by the primary cosmic radiation.

Medidas dos espectros de neutrons rápidos, entre 1 e 15 MeV e de raios gama de 0.7 a 4.5 MeV, foram efetuadas utilizando-se balões estratosféricos a 10°N, 46°N e 62°N de latitudes geomagnéticas. Os espectros observados seguem uma lei da forma $\frac{dN}{dE} = AE^{-\gamma}$ com $\gamma = 1.4 \pm 0.1$ para os neutrons e $\gamma = 1.5 \pm 0.1$ no caso dos raios gama. De acordo com estas medidas, constatamos que o expoente (γ) mantém-se constante em função da latitude e da pressão entre 120 e 4g/cm². O valor do coeficiente A é função da latitude e da altura. A 4g/cm², encontrou-se para a razão entre os fluxos, medidos a 10°N e 46°N, o valor 9 para neutrons e 3 para os raios gama. Esta diferença, assim como a análise do coeficiente de atenuação e a posição do máximo de Pfozter, para as três latitudes, mostram que os raios gama são na maior parte, ligados à componente fotoeletrônica. Esta provém da desintegração de mésons π^0 , criados no topo da atmosfera pela radiação cósmica primária.

*Postal Address: 12200 - São José dos Campos SP.

1. Introduction

Les neutrons et les rayons gamma atmosphériques sont créés par le rayonnement cosmique primaire qui, en pénétrant dans les couches atmosphériques, interagit avec les noyaux de l'air. Les neutrons mesurés aux altitudes atteintes par des ballons sont d'origine terrestre et solaire. Il est difficile que des neutrons d'origine extrasolaire puissent arriver jusqu'à la Terre, la vie moyenne du neutron étant voisine de 12 minutes. En revanche, les rayons gamma, en plus d'une origine terrestre et solaire, peuvent provenir de sources galactiques bien localisées et d'un bruit de fond diffus. Des calculs du flux et du spectre des neutrons en fonction de l'altitude, de la latitude et du cycle solaire ont été faites ces dernières années par Newkirk¹, Lingenfelter², Merker *et al*³, et Wilson *et al*⁴. Les mesures du flux sont en bon accord avec les prévisions théoriques pour des latitudes géomagnétiques comprises entre 20" et 55" et pendant le minimum solaire: Holt *et al*⁵, Haymes⁶ et Albernhe et Talon⁷. A des latitudes supérieures à 55° ou inférieures à 20°, un désaccord apparait, Baird et Wilson⁸ et Ref. 5. Pendant le maximum solaire, le seul résultat donné à 42" N, Lockwood *et al*⁹, est en complet désaccord avec le calcul théorique. Les mesures des neutrons rapides que nous avons effectuées en fonction de la latitude et pour le maximum solaire ont permis de confirmer ce désaccord.

En ce qui concerne les rayons gamma, aucune prévision théorique du flux en fonction de la latitude n'a été faite. La seule mesure du spectre des rayons gamma entre 1 et 8 MeV est due à Peterson *et al*¹⁰ à 40" N et à 3.5 g/cm² de profondeur atmosphérique. L'étude théorique de la production de rayons γ dans l'atmosphère en fonction de la latitude et de la pression doit s'appuyer sur des résultats expérimentaux.

Aussi, des mesures systématiques tant des neutrons que pour des rayons gamma ont été entreprises dans un domaine de latitudes s'étendant de 10° (Kourou-Guyane) à 62" (Obozersky-URSS). Ces études ont permis, d'une part, de préciser la variation des flux en fonction de l'altitude et de la latitude et, d'autre part, de donner en fonction de la pression résiduelle le spectre des rayons gamma et des neutrons.

Après une description du dispositif expérimental et de la méthode d'analyse, nous présentons les résultats essentiels en neutrons et rayonnement gamma.

2. Dispositif Expérimental

La détection des neutrons et des rayons gamma est assurée par un scintillateur organique de stilbène de 2.54 x 2.54 cm². Les neutrons donnent

des protons de recul par interaction avec les atomes d'hydrogène, suivant la réaction (n, p).

Les rayons gamma sont détectés par les électrons Compton produits dans le stilbene. L'effet photoélectrique et la production de paires sont négligeables dans le domaine d'énergie analysé. Les électrons et les protons sont alors détectés directement par le scintillateur qui est associé à un photomultiplicateur rapide 56 AVP. Parmi les scintillateurs organiques, le stilbene est choisi en raison de la forme de l'impulsion lumineuse qu'il délivre. La décroissance de celle-ci présente deux composantes dont le rapport est fonction de l'ionisation spécifique de la particule; ceci permet de séparer les impulsions dues aux neutrons de celles dues aux rayons gamma en utilisant un circuit de discrimination de forme (voir Ref. 11).

Un deuxième détecteur entourant complètement le scintillateur d'analyse et fonctionnant en anticoincidence, permet d'éliminer les particules chargées.

Le schéma général du spectromètre est représenté sur la figure 1. Les paramètres technologiques ainsi que les informations provenant des codeurs qui assurent la spectrométrie des électrons et des protons, sont retransmis au sol par une télémesure du type FM/FM.

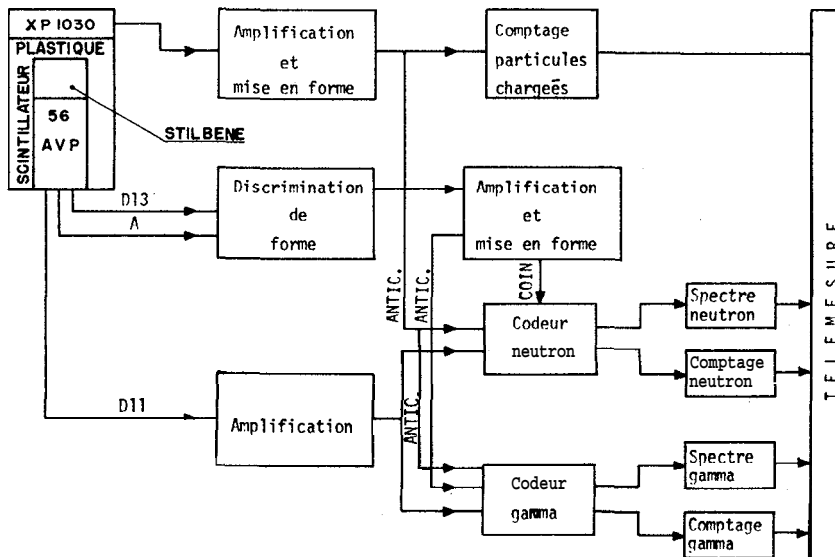


Fig. 1 - Schéma synoptique du spectromètre.

Les étalonnages du détecteur sont effectués pour les rayons gamma avec des sources radioactives ^{22}Na , ^{88}Y , ^{228}Th , une source de *Am-Be* et un générateur de neutrons. Aucune anisotropie n'a été observée pour différentes positions des sources par rapport à l'axe principal du scintillateur.

3. Méthode de Dépouillement

La surface équivalente du détecteur vue par un flux omnidirectionnel est calculée à partir de l'expression¹² :

$$S = \frac{\pi}{4} ah \left(1 + \frac{a}{2h} \right), \quad (1)$$

où h et a sont respectivement la hauteur et le diamètre du scintillateur. Le passage du spectre des protons de recul mesuré au spectre des neutrons est fait en utilisant la relation de Broek et Anderson¹³ :

$$\frac{dN_p}{dE_p} = \int_{E_p}^{\infty} \varepsilon(E_n) \frac{dN_n}{dE_n} \frac{dE_n}{E_n}, \quad (2)$$

où

E_n , est l'énergie du neutron,
 E_p , l'énergie du proton de recul,
 $\varepsilon(E_n)$ l'efficacité de détection du neutron.

Si on considère les interactions des neutrons avec l'hydrogène et le carbone, on a :

$$\varepsilon(E_n) = n_H \sigma_H L [1 - \exp(-n_H \sigma_H - n_c a,) L] / (n_H a, + n_c o,) L,$$

où

n_H est la densité d'atomes d'hydrogène,
 n_c la densité d'atomes de carbone,
 $o,$ la section efficace totale ($n-c$),
 σ_H la section efficace ($n-p$),
 L est l'épaisseur moyenne du scintillateur (20% de l'épaisseur géométrique).

La section efficace totale ($n-p$) que nous avons utilisée, peut être représentée dans la gamme d'énergie de 1 à 17 MeV par l'expression suivante¹⁴ :

$$\sigma_H = 5.9 E^{-0.9}, \quad (3)$$

σ_H étant exprimée en barns.

Le passage du spectre des électrons Compton du spectre des rayons gamma est obtenu à partir de l'équation:

$$\frac{dN_e}{dT} = A_0 \int_{0.7}^{\infty} f(E, T) \frac{dN_\gamma}{dE} dE, \quad (4)$$

où

$\frac{dN_e}{dT}$ est le spectre des électrons détectées,

$\frac{dN_\gamma}{dE}$ est le spectre des rayons gamma incidents,

$f(E, T)$ est la fonction d'interaction des rayons gamma dans le stilbène,

E est l'énergie des photons,

T est l'énergie des électrons,

A, est une constant,

0.7 MeV est le minimum d'énergie détectable.

Seule le spectre des électrons est connu par la mesure. La difficulté est donc de déterminer le spectre des rayons gamma originels. On suppose donc pour les photons produits dans l'atmosphère une variation de la forme:

$$\frac{dN_\gamma}{dE} = BE^{-b}, \quad (5)$$

ou B et b sont deux constantes qui doivent être déterminées par l'équation (4). Nous ne considérons ici que le continuum du spectre du flux atmosphérique car la résolution de notre détecteur n'analyse pas les raies spectrales.

Pour déterminer un spectre a partir de l'autre, un calcul de simulation par la méthode de "Monte Carlo" a été développé et a permis de montrer (Martin *et al*¹⁵), que l'exposant des spectres des rayons gamma et des électrons sont identiques pour le stilbène et dans le domaine d'énergie qui nous intéresse. La valeur B peut donc être évaluée a partir des spectres expérimentaux d'électrons.

En effet, pour un spectre d'électrons mesuré de la forme:

$$\frac{dN_e}{dT} = AT^{-b}, \quad (6)$$

les équations (4), (5) et (6) permettent de déduire:

$$B = \frac{AT_0^{-b}}{INTG(T_0)}, \quad (7)$$

où

$$INTG(T_0) = A_0 \int_{0.7}^{\infty} f(E, T_0) E^{-b} dE \quad (8)$$

et

$f(E, T_0)$ est calculée d'après l'expression suivante¹⁶ :

$$f(E, T_0) = \frac{\pi r_0^2}{2m_0 c^2} \left\{ 2 + \left(\frac{T_0}{E - T_0} \right)^2 \left[\frac{1}{2\alpha} + \frac{E - T_0}{E} \frac{2}{\alpha} \left(\frac{E - T_0}{T_0} \right) \right] \right\},$$

où

r_0 , est le rayon classique de l'électron,

$$a = E/m_0 c^2$$

T_0 est une énergie particulière d'électrons.

L'intégrale (8) a été calculée numériquement à l'aide d'un Ordinateur IBM-7044 de l'Université de Toulouse.

L'écart sur l'exposant des spectres expérimentaux des protons de recul et des électrons a été calculé par la méthode de Crawford et al¹⁷.

4. Résultats

Des vols en ballons ont été effectués au cours de 1969 et 1970. Les caractéristiques de ces vols sont indiquées dans le Tableau I. A partir de ces vols, il a été possible de faire une analyse du taux de comptage des neutrons et des rayons gamma en fonction de la latitude. Les récupérations des dispositifs expérimentaux après chaque vol ont permis d'une part d'opérer avec le même détecteur, donc dans des conditions rigoureusement identiques et, d'autre part, de vérifier les étalonnages après chaque expérience.

Lieu de lancement	KOUROU (Guyane Française)	AIRE SUR L'AWUR (France)	OBOZIERSKY (U.R.S.S.)
Date et heure de lancement	13.03.1969 00.58 13.08 TU	09.10.1969 08.58 13.30 TU	05.02.1970 07.40 12.10 TU
Latitude géomagnétique	10°N	46°N	62°N
Durée du plafond	7 H	2 H	2 H 37'
Altitude atteinte au plafond	4 g/cm ²	3.5 g/cm ²	4 g/cm ²

Tableau I - Caractéristiques des vols effectués au cours de 1969 et 1970.

Pour les neutrons, les spectres de protons de recul mesurés à 4g/cm² pour les trois latitudes sont présentés dans la Figure 2. Les spectres de neutrons correspondants sont:

$$10^\circ \text{ N} : \frac{dN}{dE} = 3.3 \times 10^{-2} E^{-1.4 \pm 0.2},$$

$$40^\circ \text{ N} : \frac{dN}{dE} = 3.2 \times 10^{-1} E^{-1.4 \pm 0.1} \text{ neutrons/cm}^2\text{-s-MeV},$$

$$62^\circ \text{ N} : \frac{dN}{dE} = 1.0 E^{-1.4 \pm 0.1}.$$

En fonction de l'altitude la Figure 3 montre pour les vols effectués à 10° N les spectres dans trois intervalles de pression. Ces spectres obtenus en Guyane peuvent s'écrire:

$$4.0 \text{ g/cm}^2 : \frac{dN}{dE} = 3.3 \times 10^{-2} E^{-1.4 \pm 0.2},$$

$$4.0 \text{ à } 7.5 \text{ g/cm}^2 : \frac{dN}{dE} = 5.7 \times 10^{-2} E^{-1.4 \pm 0.1}, \text{ neutrons/cm}^2\text{-s-MeV}$$

$$12 \text{ à } 125 \text{ g/cm}^2 : \frac{dN}{dE} = 7.1 \times 10^{-2} E^{-1.2 \pm 0.2}.$$

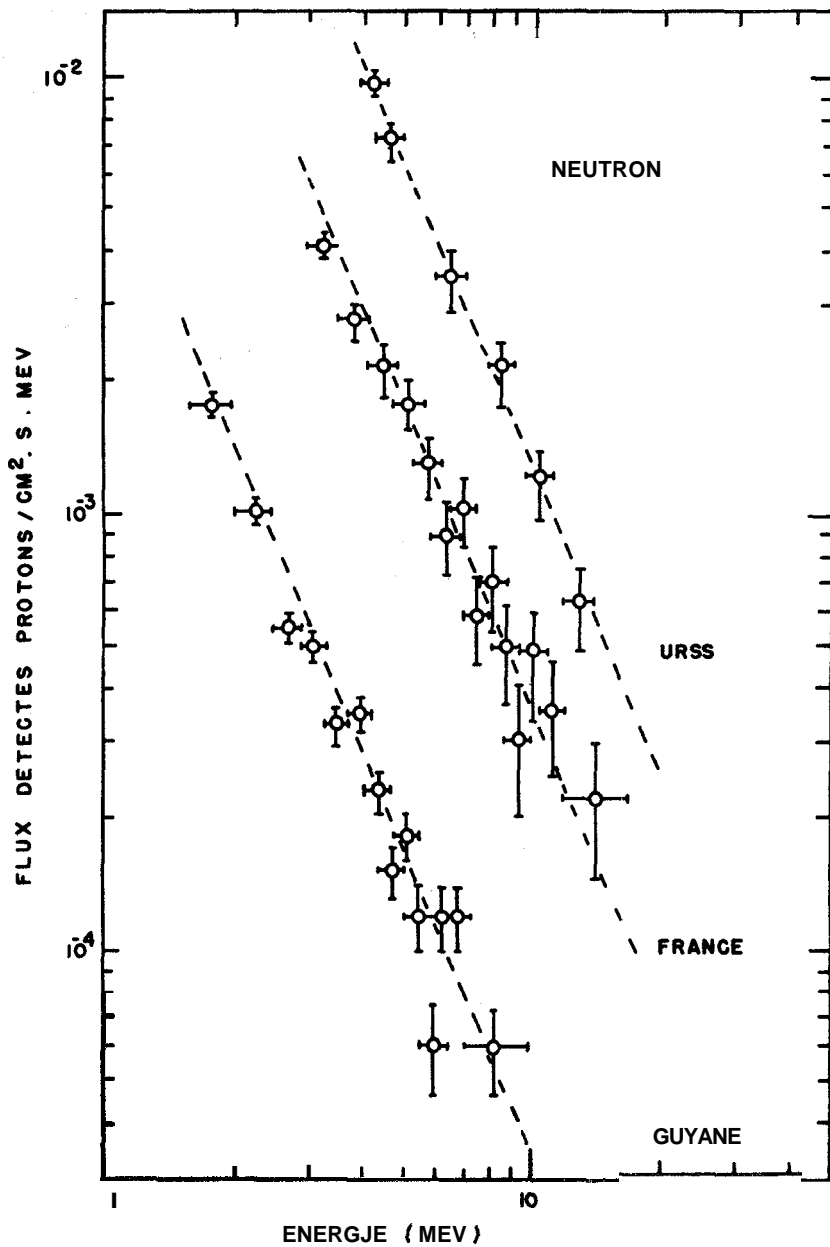


Fig. 2 - Spectres des protons de recul mesurés au plafond pour les trois latitudes géomagnétiques.

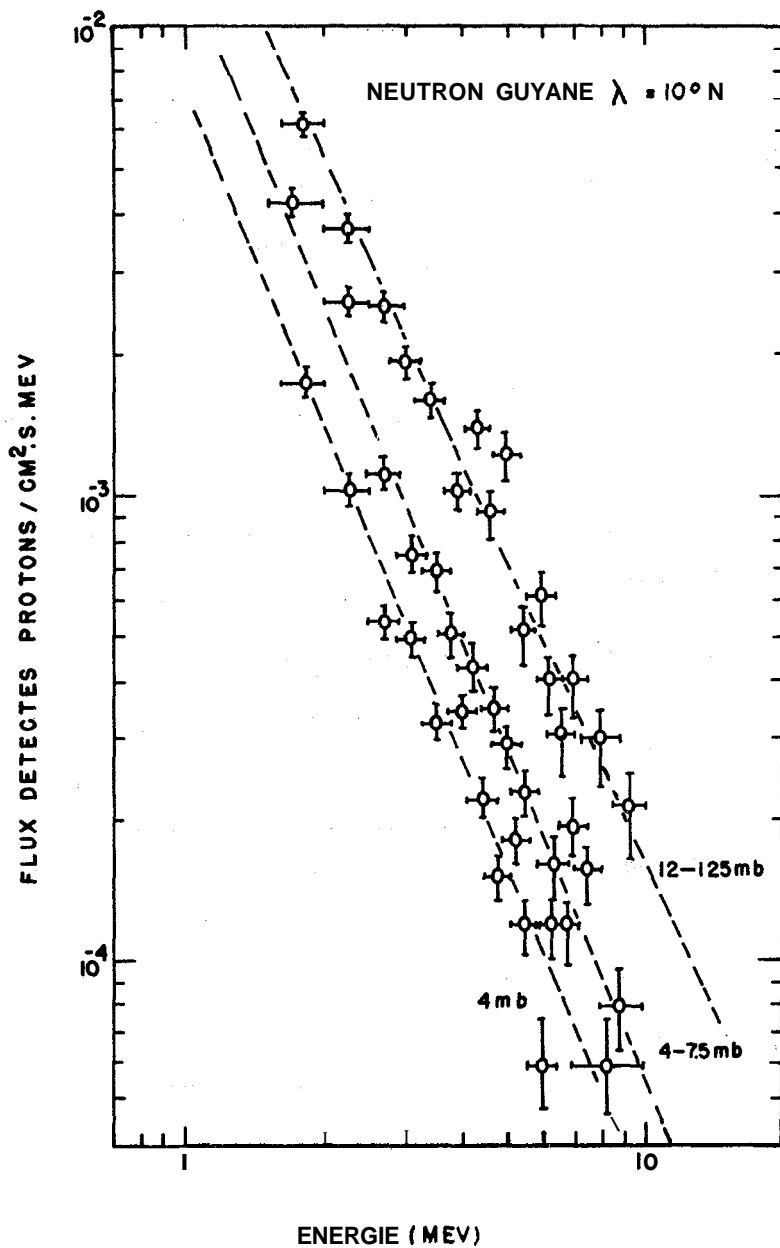


Fig. 3 - Spectres de protons de recul mesurés en GUYANE pour trois intervalles de pressions.

Les intervalles de pression ont été choisis pour que les taux de comptage soient statistiquement valables.

Les courbes de montée en fonction de la pression sont présentées dans la Figure 4 pour les trois vols, et pour un flux de neutrons d'énergie comprise entre 1 et 10 MeV. Les différentes données telles que la longueur d'atténuation, la position du maximum de Pfozter ainsi que le flux mesuré au plafond sont indiqués dans le Tableau II. Entre 4 et 15 g/cm², les flux suivent une loi de la forme:

$$F = F_0 p^\alpha \text{ neutrons/cm}^2\text{s},$$

où p est la pression atmosphérique donnée en g/cm² et $\alpha \sim 0.4$ pour les trois latitudes. L'extrapolation de ces flux à 0 g/cm² nous permet d'avoir l'albédo de neutrons (Figure 5).

LATITUDE GEOMAGNETIQUE	10°N	46°N	62°N
Longueur d'atténuation cm ² /g	190 ± 20	185 ± 15	165 ± 10
Maximum de Pfozter cm ² /g	110	100	80
Flux au Maximum de Pfozter n/cm ² -s	0.21	1.3	3.3
Flux au plafond	0.055	0.45	1.35
Flux a 0 g/cm ² (extrapolé) n/cm ² -s	0.05	0.40	1.20

Tableau II - Valeurs du maximum de Pfozter, longueur d'atténuation, flux au plafond et extrapolé à 0 g/cm² des neutrons pour les trois vols.

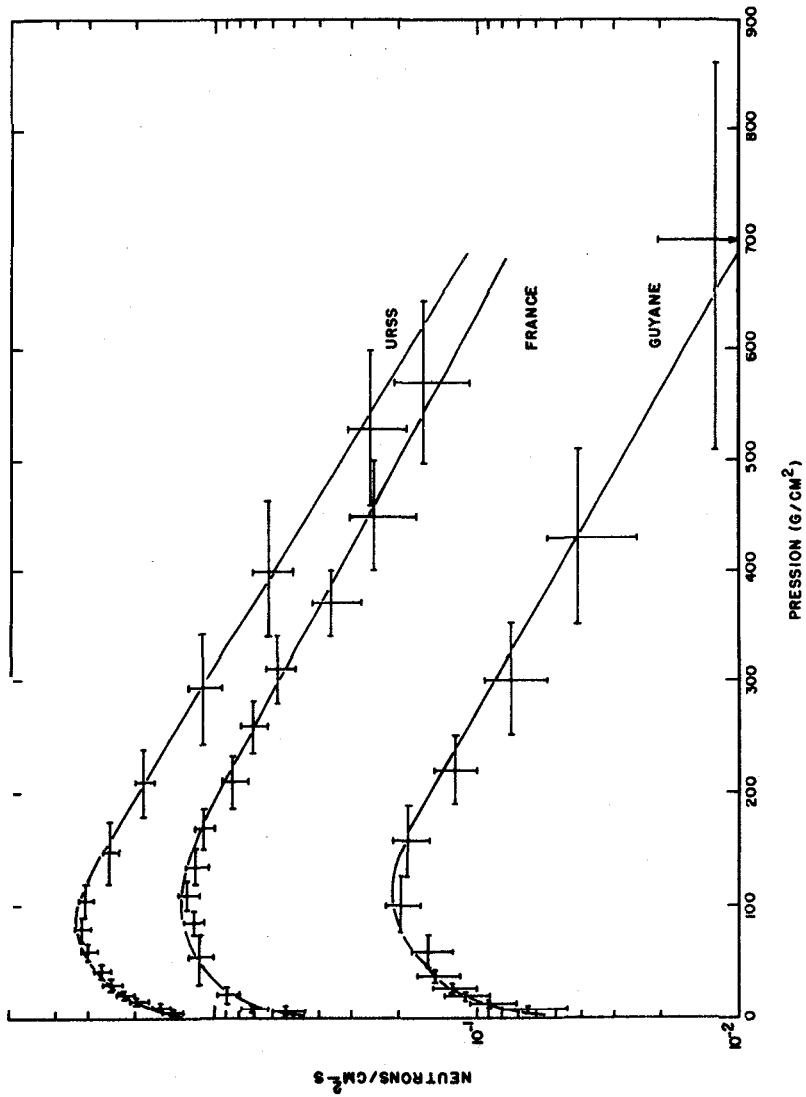


Fig. 4 - Flux des neutrons en fonction de la pression et pour les trois latitudes géomagnétiques.

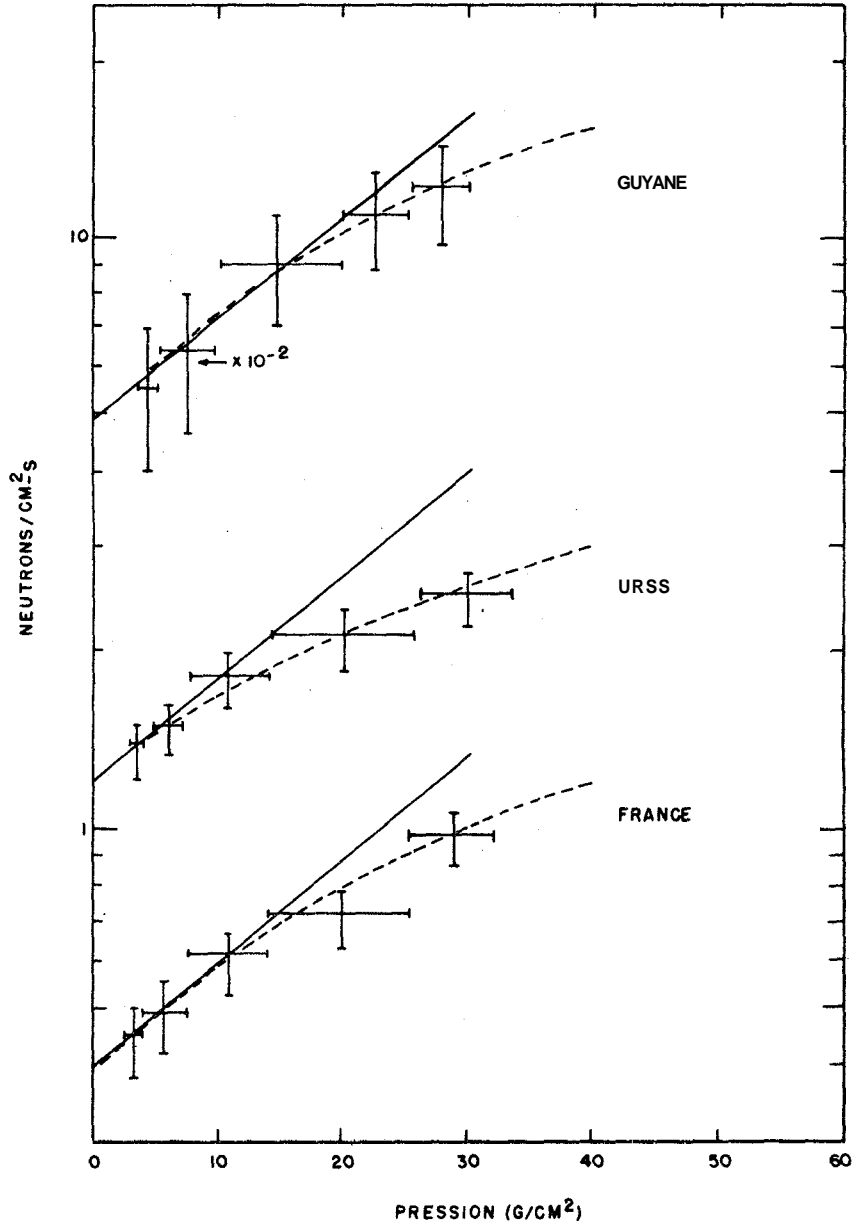


Fig. 5 - Flux des neutrons extrapolé à 0 g/cm^2 et pour les trois vols.

Dans le cas des rayons gamma, nous avons obtenu des résultats analogues à ceux que nous venons d'exposer pour les neutrons. Les spectres des électrons mesurés au plafond pour les trois latitudes sont donnés dans la Figure 6. Les spectres des rayons gamma correspondants sont:

$$10^\circ \text{ N} : \frac{dN}{dE} = 0.09 E^{-1.3 \pm 0.1},$$

$$40^\circ \text{ N} : \frac{dN}{dE} = 0.30 E^{-1.5 \pm 0.1}, \text{ photons/cm}^2\text{-s-MeV}$$

$$62^\circ \text{ N} : \frac{dN}{dE} = 0.65 E^{-1.5 \pm 0.1}$$

A titre d'exemple, les spectres des électrons mesurés pour trois intervalles de pression à 46° N sont reportés sur la Figure 7. Les spectres gamma correspondants sont:

$$120 - 20 \text{ g/cm}^2 : \frac{dN}{dE} = 1.0 \times E^{-1.5 \pm 0.2}$$

$$20 - 3.5 \text{ g/cm}^2 : \frac{dN}{dE} = 0.45 \times E^{-1.5 \pm 0.1}, \text{ photons/cm}^2\text{-s-MeV}$$

$$3.5 \text{ g/cm}^2 : \frac{dN}{dE} = 0.30 \times E^{-1.5 \pm 0.1}.$$

Les caractéristiques des courbes de montée (Figure 8) sont données dans le Tableau III. La variation du flux des rayons gamma entre 4 et 30 g/cm^2 est identique à celle des neutrons pour des latitudes de 46° N et 62° N . La Figure 9 montre des résultats obtenus pour les trois latitudes extrapolées à 0 mb. Il existe une remarquable différence entre les spectres des rayons gamma mesurés en Guyane et ceux mesurés en France et en URSS. A l'heure où les mesures ont été effectuées (03:00 à 05:00 U.T. du 13/03/69) aucun sursaut solaire au événement de protons de grande importance n'a pas été enregistré. Comme le processus de production du rayonnement gamma ne dépend pas de la latitude (Ref. 18), nous pouvons affirmer que nous avons mesuré à Guyane un flux d'origine galactique. Pour des régions équatoriales de coupure géomagnétique élevée, ces flux deviennent aussi importants que le flux d'origine atmosphérique.

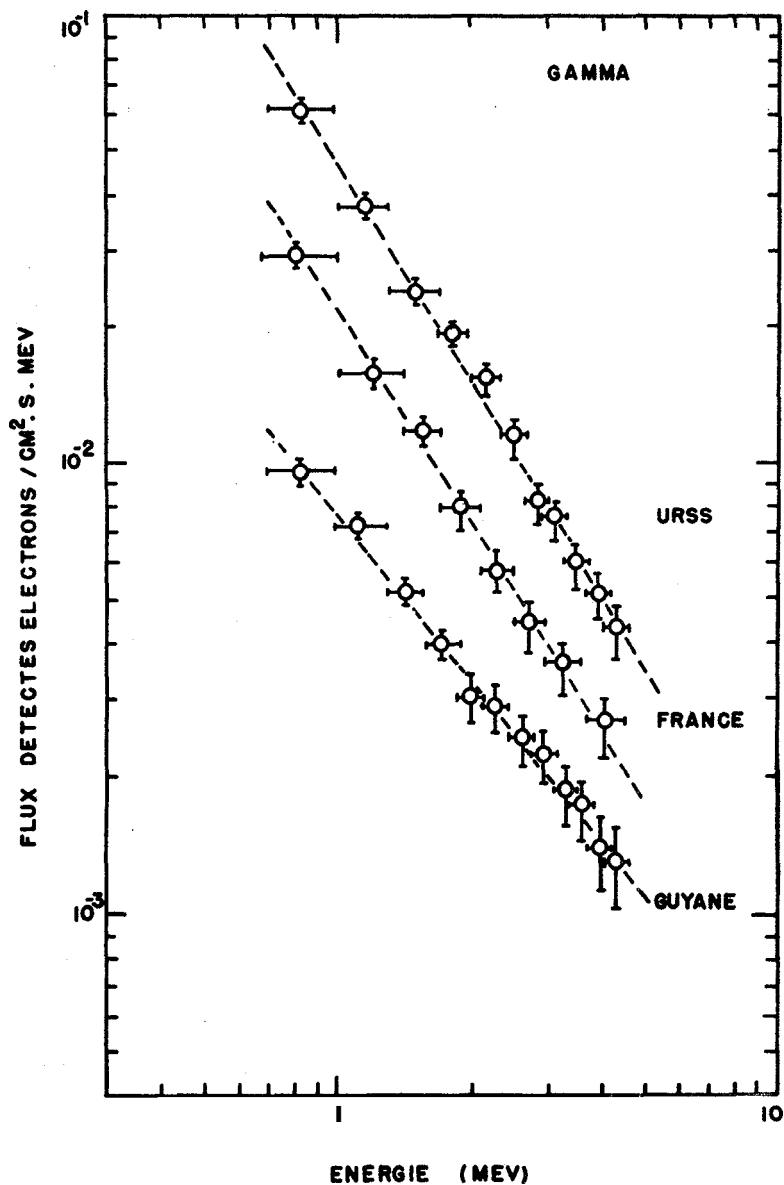


Fig. 6 - Spectres des électrons Compton mesurés au plafond pour trois latitudes géomagnétiques.

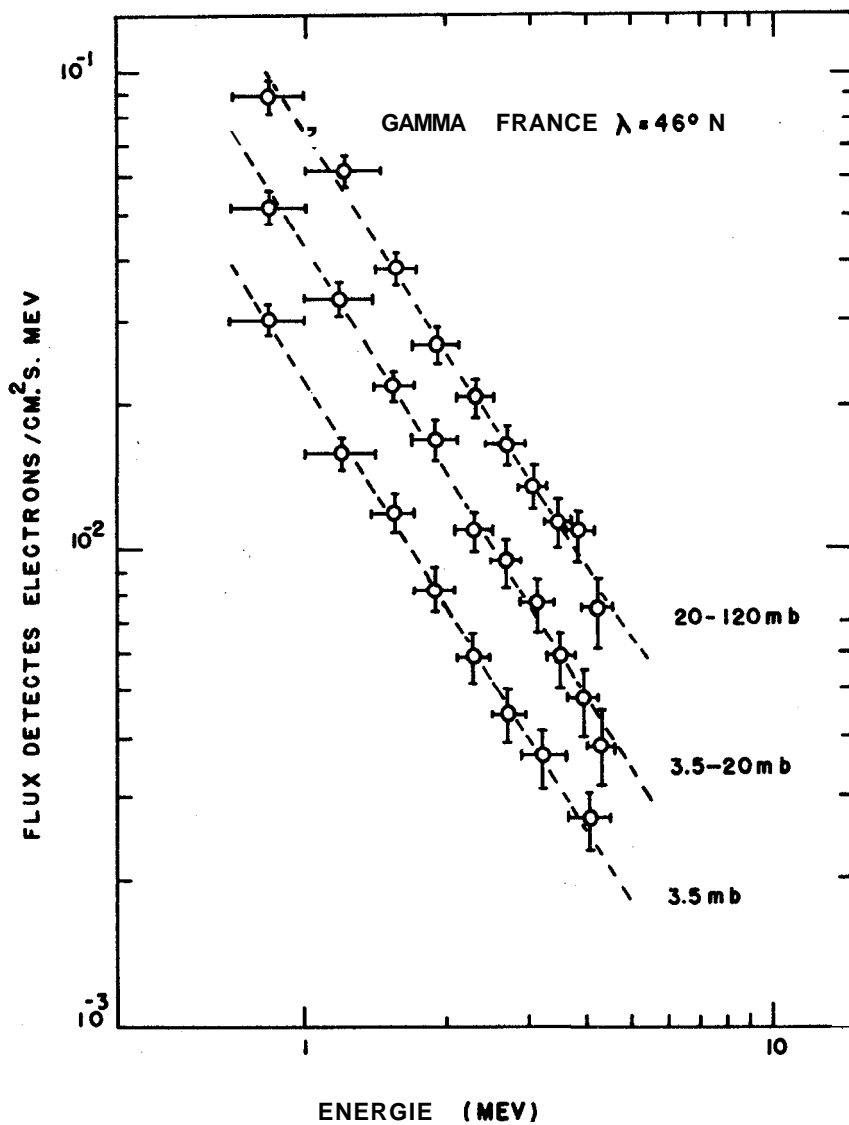


Fig. 7 - Spectres des électrons Compton mesurés en FRANCE pour trois intervalles de pression.

LATITUDE GEOMAGNETIQUE	10°N	46°N	62°N
Longueur d'atténuation (cm ² /g)	220 ± 15	195 ± 10	190 ± 10
Maximum de Pfozter (g/cm ²)	125	110	80
Flux au Maximum (photons/cm ² -r)	0.37	1.6	2.5
Flux au Plafond (photons/cm ² -s)	0.15	0.46	0.96
Flux Extrapolé à 0 g/cm ² (photons/cm ² -s)	0.11	0.44	0.82

Tableau III - Valeurs du maximum de Pfozter, longueur d'atténuation, flux au plafond et extrapolé à 0 g/cm² des rayons gamma pour les trois vols.

5. Discussion des Résultats

L'analyse des résultats des vols effectués à trois latitudes différentes, nous montre que les spectres des neutrons et des rayons gamma suivent tous les deux une loi de la forme:

$$\frac{dN}{dE} = AE^{-\alpha}.$$

Pour les neutrons, les valeurs de l'exposant (α) sont comparées (Tableau IV) à des mesures effectuées à différentes latitudes et pour différentes périodes du cycle solaire. De la comparaison de ces résultats, on peut conclure que la forme du spectre ne varie pas en fonction de la latitude, et apparemment ne dépend pas du cycle solaire. Nos résultats ont montré aussi pour les trois latitudes que l'exposant se maintient constant en fonc-

tion de l'altitude entre 120 et 3.5 mb. La comparaison des longueurs d'at ténuation et de la position du maximum de Pfozter avec les valeurs présentées par d'autres expérimentateurs nous permet d'affirmer que ces paramètres sont une fonction décroissante de la latitude, comme le montre le Tableau V.

Nos résultats pour l'albédo de neutrons entre 1 et 10 MeV est en accord avec le calcul théorique de Lingenfelter (Figure 10) à 40° N, tandis qu'à 10° N nous avons constaté un flux de l'ordre de 20% plus faible que celui prévu. L'écart à 62°N est encore plus grand puisque le flux est deux fois plus fort que celui calculé. Ce désaccord a été aussi remarqué à 8° N et à 69° N pour le minimum solaire (Refs. 5, 8).

Pour les rayons gamma entre 0.7 et 4.5 MeV nous avons constaté que la longueur d'atténuation et la position du maximum de Pfozter est aussi fonction décroissante de la latitude. Le Tableau IV montre nos mesures comparées à celles de Okudaira and Hirasima¹⁹ et Haymes⁶. La seule

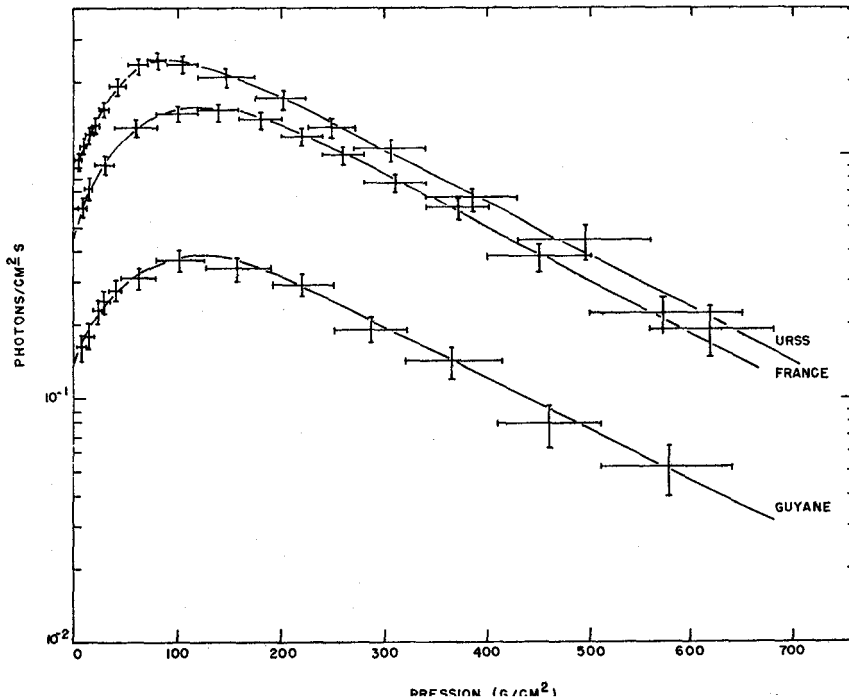


Fig. 8 - Flux des rayons gamma (0.7 - 4.5 Mev) en fonction de la pression, pour les trois vols.

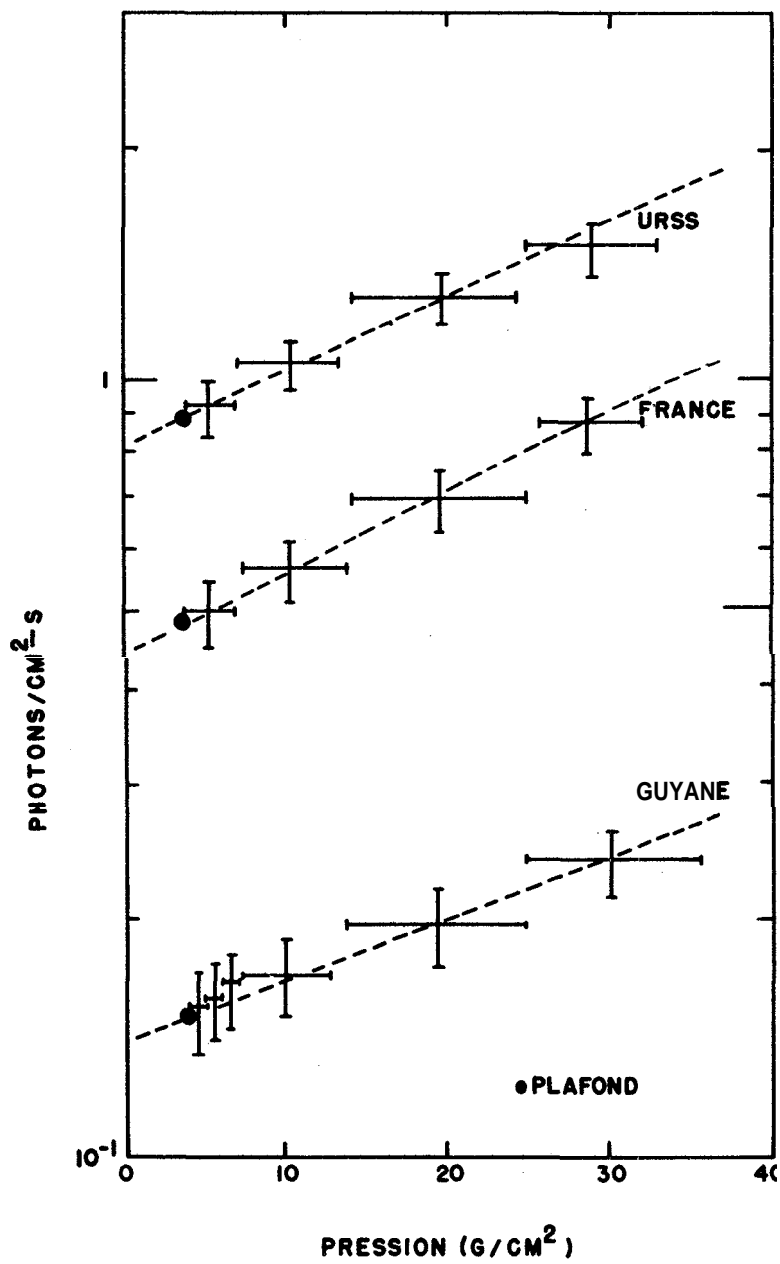


Fig. 9 - Flux de rayons gamma extrapolé à 0 g/cm², pour les trois vols.

REFERENCE	TECHNIQUE	LATITUDE	ENERGIE DE NEUTRON MeV	L'EXPOSANT DU SPECTRE
(5)	Discrimination de forme	41°N	1 - 19	- 1.3 ± 0.1
(8)	"	68°N	2 - 11	- 1.35 ± 0.20
(5)	"	8°N	1 - 10	- 1.10 ± 0.15
(29)	"	53°N	1 - 10	- 1.16 ± 0.20
(9)	"	42°N	{ 3.5 - 17 7 - 17	{ - 2.0 ± 0.15 - 1.0 ± 0.15
(7)	"	46°N	3 - 14	- 1.25
*	"	10°N	1 - 10	- 1.4 ± 0.2
*	"	46°N	3 - 17	- 1.4 ± 0.1
*	"	62°N	4 - 14	- 1.4 ± 0.1
(30)	Emulsion	8°N	15 - 22	- 1.3 ± 0.3

• nos résultats.

Tableau IV - Comparaison des valeurs de l'exposant (a) du spectre des neutrons rapides pour les mesures effectuées à différentes latitudes et cycle solaire.

mesure du spectre des rayons gamma atmosphériques au dessus de 1 MeV a été faite par Peterson *et al.* (Ref. 10). Sur la Figure 11, nous avons placé les spectres mesurés pour trois latitudes et les résultats d'autres expérimentateurs (Refs. 21 à 27). On constate que notre spectre est en accord avec les résultats données à 42° N par Peterson. Les spectres à 62° N, 46° N et 42° N montrent le même exposant. Cependant, pour 10° N une différence se manifeste: la pente du spectre diminue. Étant donné que les processus de production des rayons gamma atmosphériques doivent être les mêmes aux trois latitudes (voir Ref. 18), la pente des spectres ne devrait pas varier. Ceci semble indiquer que ce phénomène est dû à la contribution galactique laquelle à ces grandes énergies peut intervenir car l'absorption dans l'atmosphère résiduelle devient négligeable. Pour confirmer cette hypothèse, nous avons effectué un calcul d'absorption de flux de bruit de

fond diffus mesurés par le satellite ERS-18 entre 0.2 et 6.0 MeV, Vette et al²⁰ et nous avons constaté que pour la géométrie du détecteur utilisé, environ 40% du flux mesuré en Guyane doit être d'origine extraterrestre. Si cette contribution est supprimée du spectre expérimental nous pouvons confirmer que la forme du spectre des rayons gamma atmosphériques reste indépendante de la latitude. Ce résultat est donc très important car il met en évidence la possibilité de mesurer le flux de rayons gamma énergétiques d'origine cosmique à l'aide d'un détecteur embarqué en ballon. Ces expériences ont d'ailleurs été exploitées en vue de la détermination de ce flux. Les résultats obtenus confirment parfaitement et étendent les résultats d'ERS-18 qui étaient les seuls publiés à ce jour.

Les rapports des flux intégrés, mesurés à 4 mb pour les neutrons entre 1 et 10 MeV et pour les rayons gamma entre 0.7 et 4.5 MeV sont :

$$\frac{40^\circ \text{ N}}{10^\circ \text{ N}} = 9 \text{ (neutrons)} = 3 \text{ (rayons gamma) apres correction de la contribution galactique,}$$

$$\frac{62^\circ \text{ N}}{46^\circ \text{ N}} = 3.3 \text{ (neutrons)} = 2.2 \text{ (rayons gamma).}$$

COEFFICIENT D'ATTENUATION λ ($\frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$)					
8 - 10°N	41 - 42°N	46°N	53°N	62°N	69°N
226 ± 14 (5)	204 ± 30 (5)	180 ± 25 (7)	145 ± 6 (29)	165 ± 10 *	159 ± 5 (5)
190 ± 20 *	179 ± 14 (6)	200 ± 20 (7)			154 ± 17 (8)
130 (28)	171 ± 12 (6)	185 ± 15 *			
	183 ± 11 (6)				
	154 ± 14 (6)				
MAXIMUM DE PFOTZER (g/cm^2)					
110 (5)	100 (5)	100 (7)	80 (29)	80 *	70 (5)
110 *	100 (6)	100 (7)			70 (8)
140 (28)	100 (6)	100 *			
	100 (6)				
	100 (6)				

* nos mesures

Tableau V - Valeurs du maximum de Pfozter et coefficient d'atténuation en fonction de la latitude.

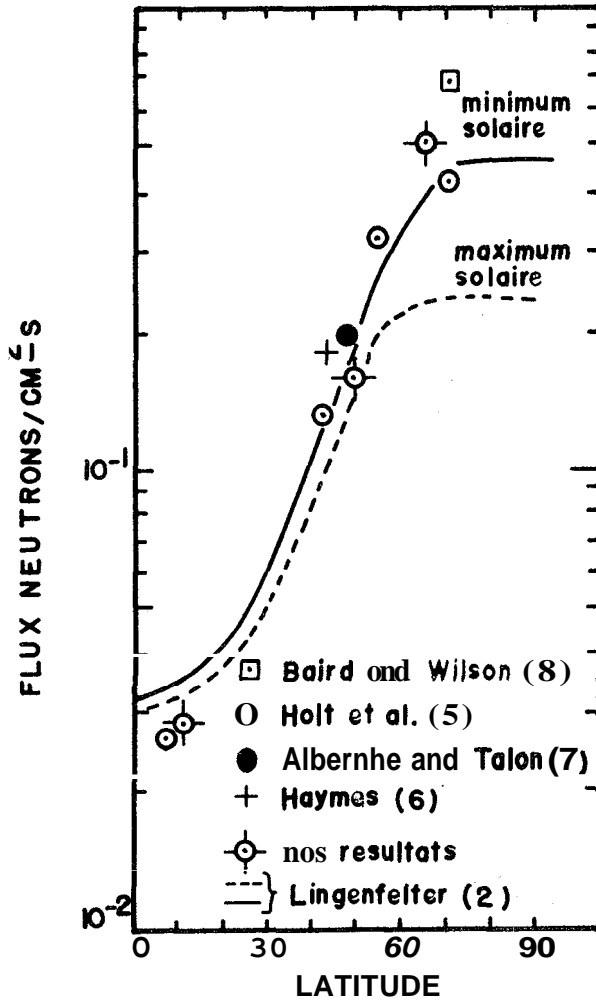


Fig. 10 - Flux des neutrons quittant l'atmosphère entre (1-10) Mev et en fonction de la latitude géomagnétique.

Ces valeurs reportées sur les Figures 12 et 13 indiquent que les processus de production sont plus sensibles à l'énergie du rayonnement *primaire* pour les neutrons que pour les rayons gamma. En effet, dans le cas des rayons gamma, le flux est lié à la désintégration de mésons π^0 produit par l'interaction proton-proton. Comme ces réactions ont des sections

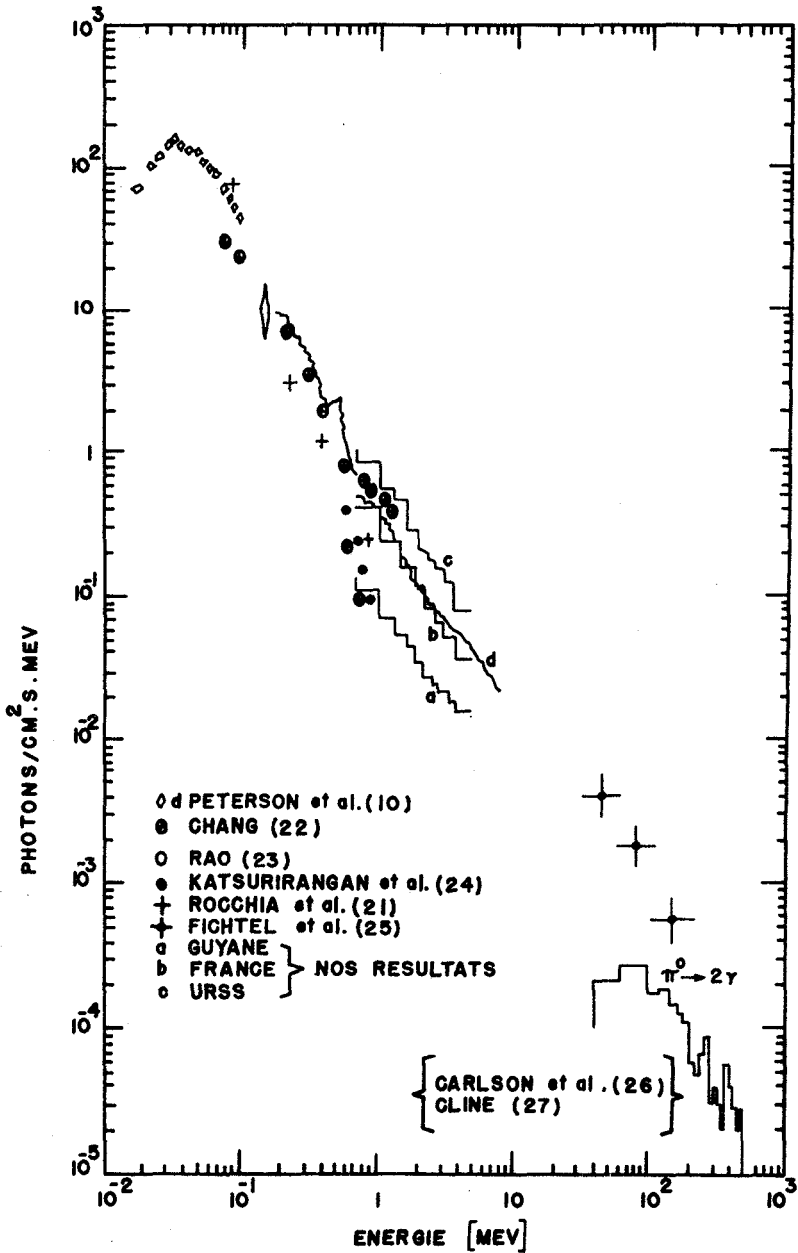


Fig. 11 - Comparaison entre les différentes mesures des spectres des rayons gamma atmosphériques.

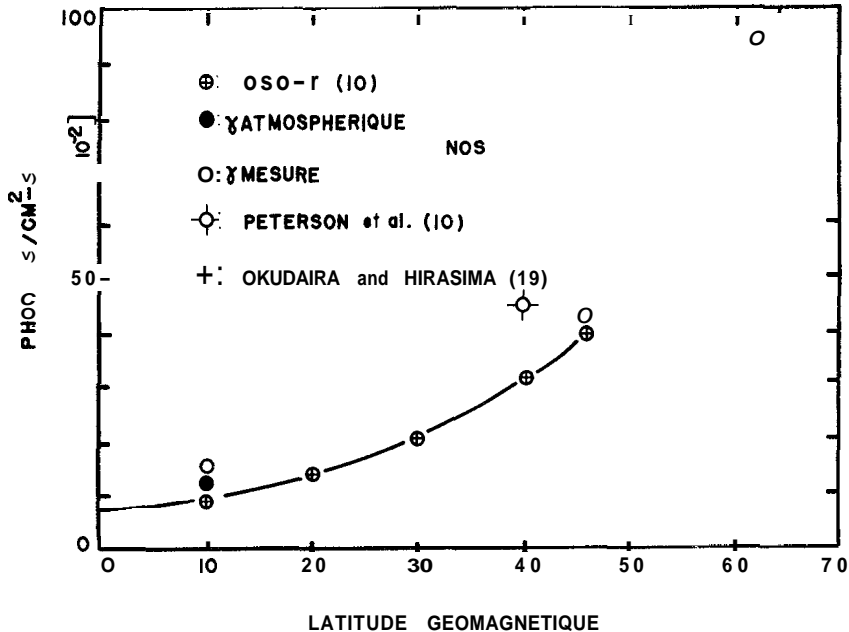


Fig. 12 - Variation du flux de rayons gamma avec la latitude.

efficaces importantes a grande énergie, il est normal que la variation de coupure géomagnétique ait moins d'influence que dans le cas des neutrons.

6. Conclusion

Par ces expériences effectuées à différentes latitudes, nous avons montré que l'exposant du spectre des rayons gamma et des neutrons ne varie pas en fonction de la latitude et de l'altitude entre 120 et 3.5 mb. Pour les neutrons, nos mesures comparées à celles effectuées pendant le minimum solaire montrent que l'exposant se maintient constant quelle que soit l'époque dans le cycle solaire. Nous avons constaté de plus que la longueur d'atténuation est plus grande pour les rayons gamma que pour les neutrons, et qu'elle varie d'une manière décroissante avec la latitude. Le flux d'albédo de neutrons a confirmé, pour les maximums solaires, les désaccords des mesures expérimentales avec la théorie pour les régions équatoriales et polaires, désaccord déjà vérifié en période de minimum solaire.

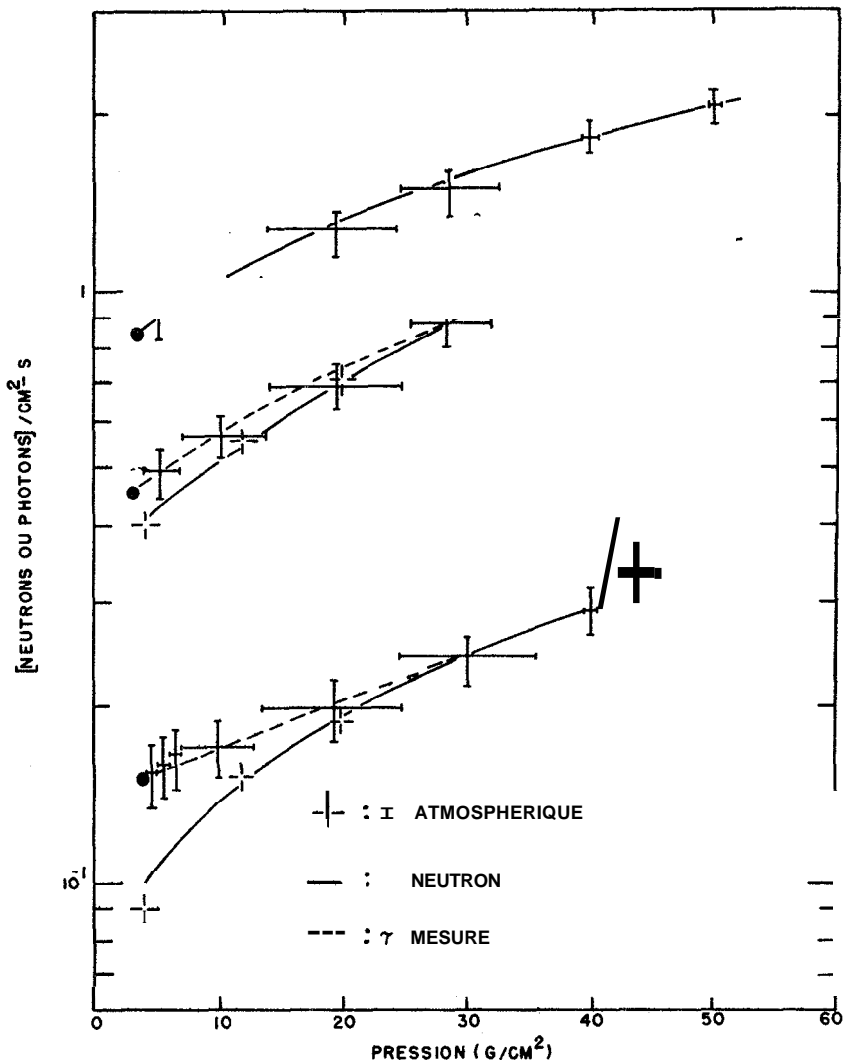


Fig. 13 - Flux des rayons gamma (0.7 - 4.5 MeV) et flux des neutrons (échelle arbitraire) (1-10MeV) en fonction de la pression et pour les trois vols.

Entre 46° N et 10° N, le rapport des flux est trois fois plus faible pour les rayons gamma que pour les neutrons. Ce résultat confirme l'origine différente des neutrons et rayons gamma atmosphériques. En effet, les rayons gamma atmosphériques ont comme principale source la dégradation de

la composante photoélectronique ayant son origine dans les mésons π^0 produits au sommet de l'atmosphère. L'efficacité du processus de création de mésons π^0 augmente très fortement avec l'énergie des particules: ainsi la partie la plus importante de ces rayons gamma sera due à des particules primaires de haute énergie. L'exclusion des primaires de moment le plus bas, en raison de la coupure géomagnétique, n'aura donc pas beaucoup d'effet sur le nombre de rayons gamma produits. Ceci n'est pas le cas pour les neutrons dont l'origine est attribuée à la composante nucléonique.

Enfin, la mesure des rayons gamma pour trois latitudes très distinctes a montré que pour des régions équatoriales, le spectre gamma au plafond et la variation du flux pour les pressions comprises entre 3.5 et 30 mb ne suivent pas les mêmes lois observées à 40° N et 62° N. On affirme dans ce travail que ce désaccord est dû à la contribution galactique qui dans ces régions devient importante et du même ordre de grandeur que celle du flux atmosphérique qui est minimum à ces latitudes. La comparaison entre les trois spectres et les flux en fonction de la pression, nous a permis d'évaluer à 40% la contribution du flux d'origine extraterrestre qui existe à une latitude de 10° N et pour une pression résiduelle de 4 mb. Les mesures des rayons gamma d'énergie supérieure à 1 MeV embarqués en ballons nous permettront donc de donner le spectre de rayons gamma cosmique qui n'a été précisé que par le satellite ERS-18 dans l'intervalle de 0.2-6 MeV.

Ce travail a été conclut grâce à l'appui du CNES (Contract CNES n.° 238) et de la D. R. M. E. (Contract D. R. M. E. n.° 6834270004807501). Nous remercions le Professeur F. Cambou pour l'appui constant qu'il a porté à la réalisation de cette expérience. En particulier I. M. M. tient à exprimer sa gratitude au docteur F. de Mendonça et à l'*Instituto de Pesquisas Espaciais* qui ont facilité son séjour en France.

Bibliographie

1. L. L. Newkirk, J. Geophys. Res., **68**, 1825 (1963).
2. R. E. Lingenfelter, J. Geophys. Res., **68**, 5633 (1963).
3. M. Merker, E. S. Light, R. B. Mendell, S. A. Korff, preprint New York University, 1969.
4. J. W. Wilson, J. J. Lambiotte, F. Foelsche, J. Geophys. Res., **74**, 26, 6594 (1969).
5. S. S. Holt, R. B. Mendell, S. A. Korff, J. Geophys. Res., **71**, 21, 5109 (1966).
6. R. C. Haymes, J. Geophys. Res. **71**, 5109 (1966).
7. F. Albernhe, R. Talon, Ann. Géophys., **25**, 1, 99 (1969).
8. G. A. Baird, B. G. Wilson, *Proc. Int. Cosmic Rays*, Londres, 355, 1965.
9. J. A. Lockwood, R. N. Onge, D. Klumpar, D. Schow, *Eleventh Int. Conf. on Cosmic Rays*, Budapest, 1969.
10. L. E. Peterson, R. L. Jerde, A. S. Jacobson, *AIAA Journal*, **5**, 1921 (1967).

11. F. Cambou, J. C. Guyader et J. J. Petrelis, *L'Onde Électrique*, 446, 1964.
12. J. I. Vette, *J. Geophys. Res.*, 67, 1731 (1962).
13. H. W. Broek, C. E. Anderson, *Rev. Sci. Inst.*, 31, 1063 (1960).
14. S. Cierjacks, P. Forti, C. J. Kirouac, D. Kopsch, L. Kropp, J. Nebe, *Phys. Rev. Let.*, 23, 866 (1969).
15. I. M. Martin, A. Bui-Van, G. Vedrenne, *Nuclear Instruments and Methods*, 95, 545 (1971).
16. K. Siegbahn, *Alpha, Beta and Gamma-ray Spectroscopy*, vol. 1, p. 52, North-Holland Publ. Co., Amsterdam, 1966.
17. D. F. Crawford, D. L. Jauncey, H. S. Murdoch, *Astrophys. J.*, 405 (1970).
18. P. Gorenstein, H. Gursky, *Space Science Reviews*, 10, 770 (1970).
19. K. Okudaira, Y. Hirasima, *Tenth Int. Conf on Cosmic Rays*, Calgary, 1967.
20. J. I. Vette, J. L. Matteson, D. Gruber, L. E. Peterson, *Proc. I. A. U. Symposium*, 37, Roma, May 8-10, 1969.
21. R. Rocchia, J. Labeyrie, G. Ducros, D. Boclet, *Proc. Int. Conf. on Cosmic Rays*, 423 (1965).
22. Y. K. Chang, *Can. Journal of Phys.*, 46, 5753 (1968).
23. U. R. Rao, U. S. Ivengar and A. S. Prokasarao, *Proc. of the Tenth Symposium on Cosmic Rays*, Aligarh, India, 1967.
24. K. Kasturirangan, P. D. Bhavsar and N. W. Nerurkar, *Eleventh International Conference on Cosmic Rays*, Budapest, 1969.
25. C. E. Fichtel, D. A. Kniffen and H. B. Ogelman, *Astrophys. J.*, 158 (1969).
26. A. G. Carlson, J. E. Hooper and T. D. King, *Phil. Mag.*, 41, 701 (1950).
27. T. L. Cline, *Phys. Rev. Letters* 7, 109 (1961).
28. R. R. Daniel, G. S. Gokhale, G. Joseph, P. J. Lavakare and B. S. Sekhon, *Eleventh Int. Conf: on Cosmic Rays*, Budapest, August-September, 1969.
29. R. B. Mendell and S. A. Korff, *J. Geophys. Res.*, 68, 19, 5487 (1963).
30. V. L. Bhatt, and V. R. Parikh, *Eleventh Int. Conf: on Cosmic Rays*, Budapest, August-September, 1969.