Zeitschrift: Archives des sciences [1948-1980]
Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band: 13 (1960)
Heft: 1

Artikel: La périodicité solaire diurne du rayonnement cosmique
Autor: Debrunner, H. / Houtermans, F.G. / Lindt, W.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-738492

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Par sa flexibilité, le programme permet une introduction directe de l'énergie au lieu du calcul fait à partir du parcours, ainsi qu'une sélection d'isotopes définis et un branchement pour les événements mésoniques ou non mésoniques. Le stockage des résultats intermédiaires a l'avantage de ne pas allonger la partie combinatoire du programme. Cette forme de programme a été choisie pour limiter la durée des calculs en vue de la vitesse restreinte du type de calculateur à notre disposition.

Nous remercions le professeur W. Nef, directeur de l'Institut de mathématiques appliquées, les membres de la section « Hautes énergies » de l'Institut de Physique de l'Université de Berne, particulièrement M. Nikolić pour des discussions d'une grande importance pour notre travail.

Séminaire de Physique théorique
de l'Université de Berne.

1. Barkas, 1., *U.C.R.L.*, 3769.
2. Demers, P., *Ionographie*, Ottawa, 1958.

H. Debrunner, F. G. Houtermans et W. Lindt. — *La périodicité solaire diurne du rayonnement cosmique.*

Les fluctuations de la composante primaire du rayonnement cosmique s'étudient à l'aide de chambres d'ionisation, de sortes de télescopes à mésons et de compteurs de neutrons. Deux types de ces fluctuations, dus soit aux grandes éruptions du rayonnement cosmique d'origine solaire, soit au décroissement découvert par S. E. Forbush, sont apériodiques.

Pour le premier, on constate d'intenses perturbations magnétiques solaires et des extinctions radiosolaires dans les longueurs d'onde de 10 et 20 cm précédant d'environ une heure l'accroissement de l'intensité de la radiation cosmique provoquée par les éruptions chromosphériques à l'intérieur du soleil lors desquelles, dans l'espace de quelques minutes, l'intensité peut atteindre jusqu'à trente fois sa valeur normale, pour retomber à cette valeur après quelques heures. De telles fluctuations sont rares; elle n'ont lieu que tous les trois ou quatre ans. Jusqu'à ce jour, on n'en a observé que cinq, et seule la dernière du 23 février 1956 l'a été avec soin. Une étude systématique par le réseau des stations installé dans le cadre de l'Année géophysique

serait susceptible de fournir des informations précises sur le mécanisme d'accélération des particules cosmiques sur le soleil.

C'est S. E. Forbush [Fo 1938] qui a observé pour la première fois l'autre type de fluctuations apériodiques: Dans l'intervalle de quelques heures, l'intensité des rayons cosmiques diminue de 2 à 15%, et ne retrouve sa valeur qu'après quinze jours au plus. Ces décroissements de Forbush semblent liés à de fortes perturbations magnétiques solaires précédant de vingt-quatre à trente-six heures le décroissement de l'intensité du rayonnement cosmique et accompagnées de l'émission de nuages de plasma se déplaçant à une vitesse allant jusqu'à 3000 km/sec en direction de la Terre, et déviant une partie de la radiation cosmique qui atteint la Terre, comme l'a confirmé la constatation que nous avons faite d'une corrélation entre l'accélération séculaire du satellite russe 1958 Delta I (fusée porteuse du Sputnik III) et l'intensité du rayonnement cosmique pendant les décroissements de Forbush [De 1960].

L'examen de divers types de fluctuations périodiques a permis de distinguer avec certitude le cycle diurne solaire, le cycle de vingt-sept jours (durée de la rotation solaire) et le cycle annuel. Ces trois cycles sont dus au mouvement de la Terre par rapport au soleil et à une modulation de la chute du rayonnement cosmique sur la Terre que l'on s'explique par l'influence des nuages plasmatiques émis par le soleil. De plus un grand cycle de onze (resp. vingt-deux) ans peut être attribué à la variation de l'activité solaire.

Aucune périodicité sidérale susceptible de localiser des sources inter- ou extragalactiques du rayonnement cosmique n'a été jusqu'ici observée. Cela corrobore l'observation par les astronomes de nuages plasmatiques interstellaires d'une étendue maximum de dix années lumière porteurs de champs magnétiques de l'ordre de 5.10^{-7} Gauss. C'est là que se trouve peut-être la cause de l'isotropie du rayonnement cosmique.

Nous avons étudié spécialement la périodicité diurne sur la base des résultats enregistrés du mois d'octobre 1958 au mois de juillet 1959 au Jungfraujoch (3450 m) par nos compteurs de neutrons B 203. La construction de ces appareils est conforme aux propositions faites par J. A. Simpson [Si 1955] à la sous-commission «Cosmic Ray Intensity-Time Variation» de l'Année géophysique internationale. Ils comportent deux blocs comptant chacun six compteurs au BF_3

enrichi en B^{10} enregistrant les neutrons produits par la composante nucléaire (neutrons et protons rapides) dans une épaisseur de plomb de 13 cm. Notre station est située à une latitude géomagnétique de 47,5° N pour laquelle on doit s'attendre à observer une énergie E des primaires supérieure à

$$E \geqslant 3{,}1 \text{ BeV/nucléon} .$$

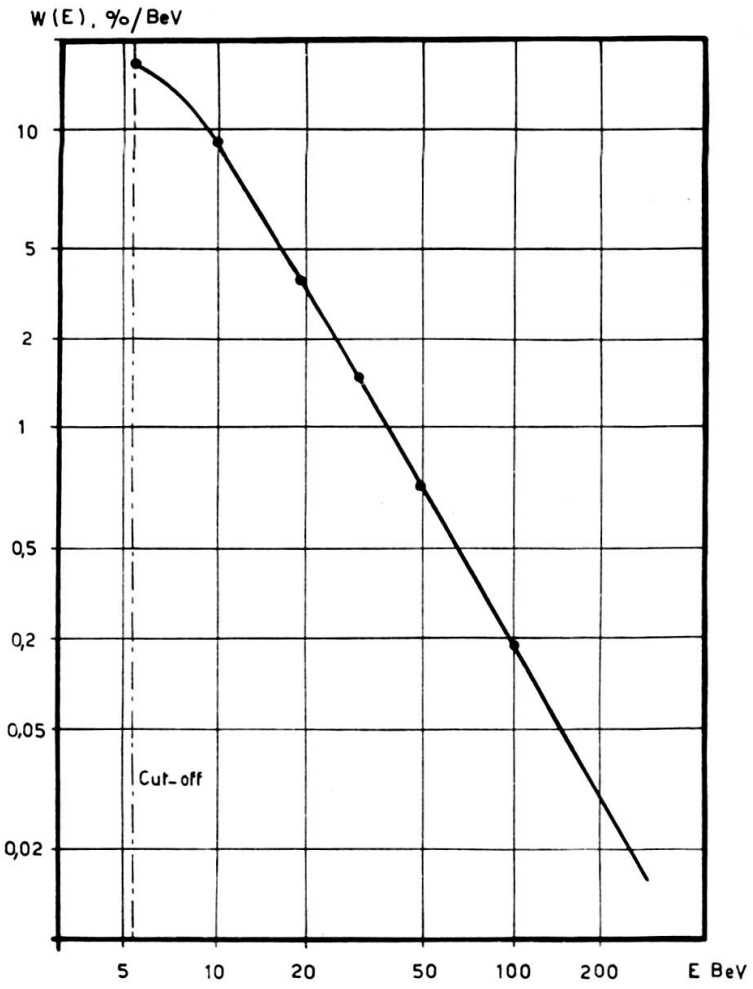

Fig. 1.

Couplage W (E) pour $\varphi = 39{,}9°$
$h = 700$ g/cm².

Compteurs de neutrons.

Mais Simpson [Si 1956] a montré récemment que le minimum devrait être calculé à partir d'une latitude magnétique résultant d'observations sur les rayons cosmiques eux-mêmes, ce qui correspond à une

rotation de 45° du plan équatorial magnétique dans la direction Est, donnant pour notre station 40° N, et fournit une énergie

$$E \geqslant 5{,}3 \text{ BeV/nucléon} .$$

(Selon les observations de Simpson, il est nécessaire de prendre en considération les zones éloignées du champ magnétique terrestre.)

La sensibilité de notre enregistreur pour les différentes énergies des primaires est visible à la figure 1 montrant le couplage W (« coupling constant » de la littérature en anglais) en fonction de l'énergie E. W (E) dE désigne le pourcentage de l'intensité moyenne des neutrons produits par l'intensité moyenne des primaires dans l'intervalle d'énergie E, E + dE. Ce couplage W permet de calculer la variation du spectre primaire à partir des variations d'intensité des diverses composantes mesurées en des stations situées à différentes latitudes.

En prenant la moyenne de nos données corrigées pour la pression 482 mm Hg pour chaque heure, du mois d'octobre 1958 au mois de juillet 1959, nous obtenons la variation diurne moyenne reproduite à la figure 2. L'intensité atteint son minimum à 0 h. 30, heure locale,

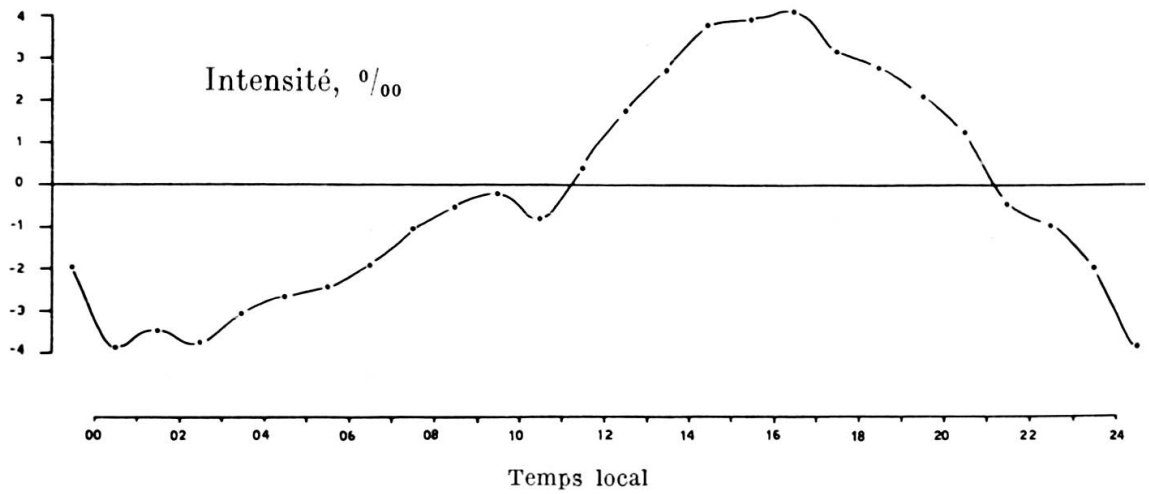

Fig. 2.

Variation diurne solaire de la composante nucléaire au Jungfraujoch d'octobre 1958 à juillet 1959.

et son maximum entre 14 h. 30 et 16 h. 30. L'accroissement de l'intensité passant par deux maxima secondaires à 1 h. 30 et 9 h. 30 est relativement plat comparé au décroissement du soir.

Pour obtenir des informations plus précises sur la périodicité diurne, L. I. Dorman [Do 1957] a analysé les amplitudes de variation diurne des différentes composantes pour plusieurs latitudes géomagnétiques. Ces mesures lui ont permis de déterminer le spectre des primaires responsables de la variation diurne. Les mesures de Dorman pour les années 1937-51 conduisent à poser

$$\frac{\delta D(E)}{D(E)} = \begin{cases} 0 & E < 6{,}6 \text{ BeV} \\ a E^{-1} & E \geqslant 6{,}6 \text{ BeV} \end{cases}$$

$$a = 0{,}14 \text{ BeV} .$$

où D (E) est le flux moyen des primaires d'énergie E, et δ D (E) le flux des primaires anisotropes provoquant la variation diurne.

En utilisant le spectre de Dorman pour l'analyse de nos mesures, nous avons pu localiser la source du rayonnement anisotrope provoquant la variation solaire diurne. Pour expliquer que pendant les dix mois de notre enregistrement les variations ont été minimes, il faut admettre que la source se meut avec le soleil dans le plan de l'écliptique. Il est donc désirable de s'en référer au système Terre-Soleil. En appelant χ la projection, dans le plan équatorial, de l'angle entre le soleil et la source, on trouve

$$\chi = 155{,}2°$$

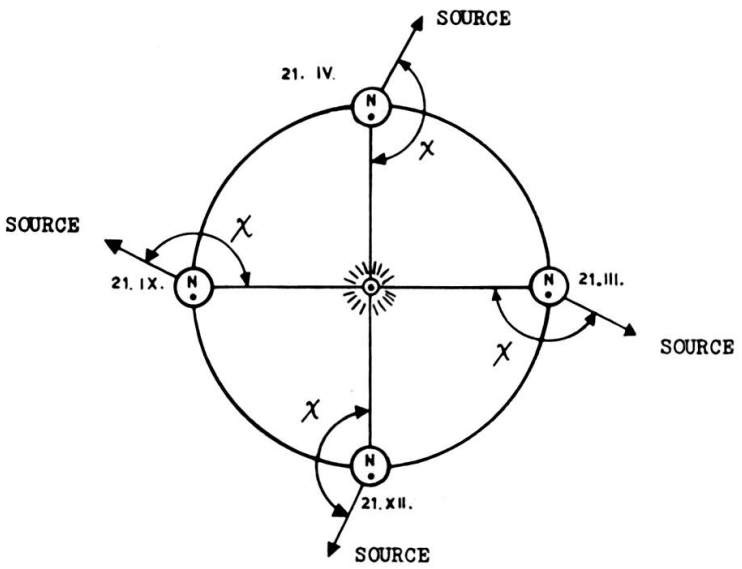

Fig. 3*a*.

Position de la source, du soleil et de la terre dans le plan de l'écliptique.

mesuré, dans le plan équatorial, à gauche de la direction Terre-Soleil, et la position de la source change conformément à la rotation de la Terre autour du Soleil (fig. 3*a*). Il s'agit donc d'une source virtuelle causée par la modulation solaire des primaires. Pour se l'expliquer, on peut admettre que les particules primaires perdent de leur énergie à proximité du Soleil, ce qui rend anisotrope le rayonnement cosmique au voisinage de la Terre: tout se passe alors comme s'il y avait une source à l'opposé du Soleil.

De son côté, en se référant à dix stations situées à une latitude magnétique allant de 0° à 80° et aux années 1937-51, Dorman a trouvé un angle de

$$\chi = 82^\circ \pm 8^\circ .$$

La divergence entre nos résultats et ceux de Dorman peut être due aux raisons suivantes:

1. Contrairement à Dorman, nous avons utilisé les coordonnées magnétiques de Simpson. Avec ces coordonnées, toutes les stations de l'U.S.S.R. sont situées plus au sud, et l'angle χ de Dorman est trop petit.
2. En calculant une moyenne pour une période de quinze ans touchant deux cycles solaires, Dorman n'a pu mettre en évidence l'influence de l'activité solaire. Par contre, nos mesures ont été faites dans un bref intervalle tombant dans une période d'activité solaire intense. La position de la source virtuelle semble donc dépendre de l'activité solaire. Il serait d'un grand intérêt de suivre cette variation de position de la source pendant un cycle solaire entier (vingt-deux ans).

Puisqu'on trouve la même valeur de χ pour les stations situées à différentes latitudes magnétiques, on peut conclure que cette source virtuelle n'est pas ponctuelle mais répartie sur tout un méridien. Dans la formule suivante du spectre d'énergie de la composante anisotrope:

$$\frac{\delta D(E)}{D(E)} = \begin{cases} 0 & E < 6{,}6 \text{ BeV} \\ a E^{-1} & E \geqq 6{,}6 \text{ BeV} \end{cases}$$

le facteur a avait été tout d'abord estimé grossièrement à la valeur

$$a = 0{,}14 \text{ BeV} .$$

En réalité, il varie d'une station à l'autre, dépendant surtout de la latitude géographique de la direction d'origine des particules cosmiques. Il est préférable d'exprimer a en fonction de la latitude écliptique α et non de la latitude géographique afin de tenir compte de la position de l'équateur solaire. Cela veut dire que nous supposons que la source virtuelle précède d'environ 157 jours (selon Dorman 83 jours) le mouvement du Soleil dans son plan écliptique. La fonction a (α) est donnée à la figure 3*b*. Le point correspondant à notre station s'y accorde bien avec la courbe donnée par Dorman.

La latitude écliptique au moment du maximum d'intensité journalière d'où nous recevons la composante anisotrope des primaires

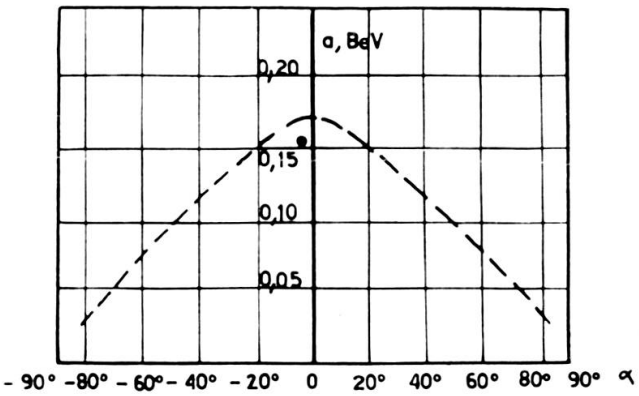

Fig. 3*b*.

a (α).

présente un cycle annuel. Nous pouvons donc nous attendre à un cycle annuel de la variation diurne, ce qui donne la relation suivante:

$$\alpha\,(d) = \bar{\alpha} - 23{,}5^\circ \cos\left(\frac{2\pi}{365}\,[d - \varphi]\right)$$

$\bar{\alpha}$: latitude écliptique moyenne d'où nous parvient la radiation anisotrope;

d: jours écoulés depuis le début de l'année;

$\varphi \begin{cases} 89, \text{ si l'on donne à } \chi \text{ la valeur de Dorman} \\ 15, \text{ si l'on donne à } \chi \text{ notre valeur.} \end{cases}$

Il s'en suit la relation suivante:

$$a\,(d) = a\left(\bar{\alpha} - 23{,}5^\circ \cos\left(\frac{2\pi}{365}\,[d - \varphi]\right)\right).$$

Les fonctions α (d) et a (d) sont représentées à la figure 4. En effectuant pour chaque mois une moyenne élargie calculée à l'aide du mois précédent, du mois présent et du mois prochain, on peut déterminer avec plus de précision le facteur a. Les points obtenus sont marqués dans la figure 4b. Malgré la faible statistique, les données expérimentales s'adaptent plus ou moins bien à la courbe déterminée théoriquement pour la valeur $\chi = 155{,}2°$. Quant aux maxima secon-

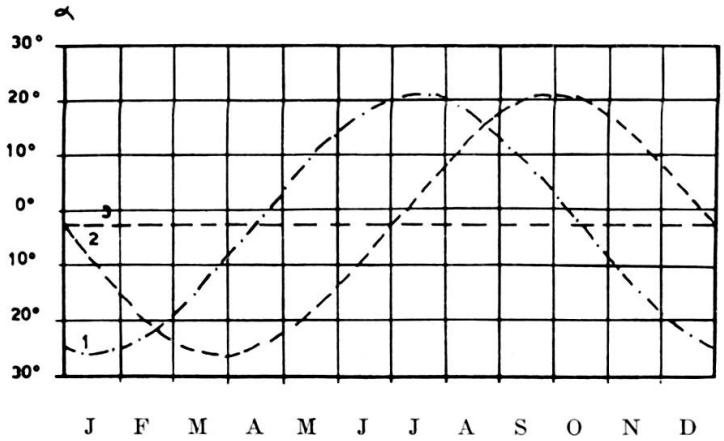

Fig. 4a.

α (d).

1) $\chi = 155°$ (Jungfraujoch, X.58-VII.59)
2) $\chi = 82°$ (Dorman, 1937-51)
3) $\bar{\alpha}$.

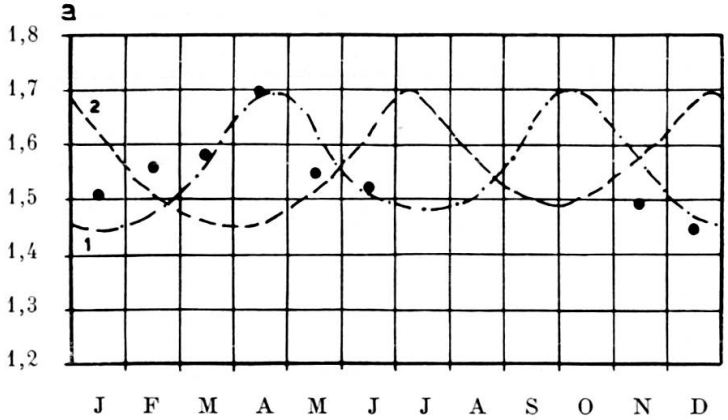

Fig. 4b.

a (d).

1) $\chi = 155°$ (calculé)
2) $\chi = 82°$ (calculé)
3) Mesures aux compteurs de neutrons B302.

daires à 1 h. 30 et 9 h. 30, dus à une composante anisotrope, on peut avec certitude exclure le Soleil comme leur source immédiate. On n'a pas encore de modèle théorique capable de rendre compte de tous les phénomènes expérimentaux et la poursuite des recherches sur la variation diurne s'impose. La corrélation entre la variation diurne et le cycle d'activité solaire pourrait fournir des informations précieuses. Nous pensons qu'un modèle magnéto-hydrodynamique expliquera les variations des primaires ainsi que la source virtuelle et nous renseignera sur la couronne solaire extérieure.

* * *

Nous remercions le Fonds national suisse, la Fondation pour la Station scientifique du Jungfraujoch et en particulier son président, le professeur A. von Muralt, ainsi que la Commission pour la Science atomique de leur aide financière, les professeurs G. von Salis et A. Mercier de leur aide dans nos travaux ainsi que MM. J. Geiss, W. Rutsch et Mlles T. Holenstein et C. Mühlemann de leur aide pratique. M. L. Delbouille, Mlle G. Roland et surtout M. H. Wiederkehr ont eu l'amabilité de surveiller nos appareils et ont contribué à réunir les résultats des mesures sur lesquels les considérations ci-dessus s'appuient.

Institut de Physique
et Séminaire de Physique théorique
de l'Université de Berne.

BIBLIOGRAPHIE

De 1960. DEBRUNNER, H., F. G. HOUTERMANS, Correlation between Forbush Decreases of Cosmic Radiation and Satellite Drag. *The First International Space Science Symposium Nice* (France), janvier 1960, nº 9.2.

Do 1957. DORMAN, L. I., Variatsii kosmicheskikh luchey. *State Publishing House for Technical and Theoretical Literature*, Moscow, 1957.

Fo 1938. FORBUSH, S. E., *Phys. Rev.*, *54*, 979, 1938.

Si 1955. SIMPSON, J. A., Cosmic Radiation, Neutron Intensity Monitor. *Special Report*, Institute of Nuclear Studies, University of Chicago, janvier 1955.

Si 1956. SIMPSON, J. A., K. B. FEUTON, J. KATZMAN, D. C. ROSE. *Phys. Rev.*, *102*, 1648, 1956.