

AUTRES COMMUNICATIONS

AÉRONOMIE

Nouvelles mesures de l'ultraviolet solaire dans la stratosphère

par P. SIMON (*)

Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique

Abstract. — New measurements of the solar flux in the wavelength bands 196-230 nm and 284-354 nm have been made in the stratosphere with an Ebert-Fastie spectrometer of focal length 25 cm with a pass-band of 0.6 nm. The instrument was on a stabilized stratospheric gondola and was directed towards the sun. The ultra-violet solar spectra obtained with various solar zenith angles lead, by extrapolation to zero air-mass, to the determination of the magnitude of the extraterrestrial solar flux. Below 225 nm the newly measured values are lower than those generally adopted, the apparent temperature of the sun being of the order of 4700 K at 200 nm. Between 225 nm and 310 nm they are in good agreement with Broadfoot (1971) and for wavelengths greater than 310 nm they agree with Arvesen *et al.* (1969).

INTRODUCTION

La quantité d'énergie dans le domaine ultraviolet du spectre solaire pénétrant dans les atmosphères planétaires et provoquant la photodissociation de leurs constituants est l'un des paramètres expérimentaux absolument indispensable à toute étude aéronomique.

C'est pour cette raison que Ackerman (1971) a publié une étude critique des données expérimentales disponibles à ce moment pour

(*) Présenté par M. M. NICOLET.

le rayonnement solaire compris entre 110 et 760 nm. Depuis lors, le travail de Broadfoot (1972) entre 210 et 320 nm constitue la contribution la plus importante dans le domaine spectral plus particulièrement intéressant pour l'aéronomie stratosphérique. Les valeurs de flux solaire proposées par Ackerman (1971) sont d'ailleurs en accord raisonnable entre 210,5 et 227,8 nm avec celles publiées par Broadfoot (1972), (Ackerman, 1974).

Toutefois, il existe une incertitude entre 180 et 210 nm car les seules données couvrant entièrement cet intervalle de longueur d'onde sont celles obtenues par Widing *et al* (1970). Or, il existe un écart important, de l'ordre d'un facteur 2, entre ces mesures et celles de Parkinson et Reeves (1969) effectuées à des longueurs d'onde inférieures à 187,5 nm et qui ont été récemment confirmées par Ackerman et Simon (1973), par Heath (1973) et par Rottman (1975).

Il nous est donc apparu opportun de faire de nouvelles mesures dans la fenêtre optique de l'atmosphère aux environs de 200 nm pour essayer de lever partiellement l'incertitude qui subsiste au-dessous de 210 nm. D'autre part, comme l'instrument utilisé permettait des observations jusque 350 nm, il était intéressant d'acquérir de nouvelles données entre 300 et 320 nm vu l'existence d'un léger désaccord entre les mesures de Broadfoot (1972) et celles d'Aversen *et al* (1969) dans ce domaine de longueur d'onde particulièrement important pour la production de l'oxygène excité $O(^1D)$ par photodissociation de l'ozone à 310 nm.

Ce travail reprend les résultats obtenus entre 196 et 230 nm déjà présentés auparavant (Simon, 1974b) et ceux obtenus entre 284 et 354 nm à l'aide d'un spectromètre emporté par ballon stratosphérique.

INSTRUMENTATION

L'instrument, un spectromètre Ebert-Fastie de 25 cm de distance focale a déjà fait l'objet d'une description détaillée (Simon, 1974a). Une fenêtre en quartz dépoli placé devant la fente d'entrée permet de mesurer le rayonnement intégré sur toute la surface du soleil. La bande passante de l'appareil est de 0,6 nm.

Le spectromètre a été étalonné de manière absolue dans l'échelle pyréliométrique internationale de 1956 au moyen d'une thermopile Reeder utilisée comme détecteur de transfert. Celui-ci permet de

déterminer l'éclairement d'une lampe à basse pression de vapeur de mercure pour la raie de résonance à 253,7 nm. Cette lampe, extrêmement stable et régulièrement contrôlée, est utilisée pour l'étalonnage absolu du spectromètre avant et après chaque vol. L'étalonnage relatif de l'instrument entre 180 et 260 nm est réalisé par comparaison d'un même faisceau lumineux monochromatique avec un tube photomultiplicateur placé derrière une fenêtre en salicylate de sodium. A cet effet, un monochromateur McPherson (modèle 218) de 30 cm de focale permet d'isoler les raies émises par une lampe à décharge sans électrode, contenant du SiCl_4 , et excitée par micro-ondes.

L'étalonnage relatif jusque 360 nm est obtenu par comparaison avec la thermopile Reeder du faisceau de sortie d'un double monochromateur à prismes de marque Zeiss (modèle MM 12), éclairé par une lampe au deutérium. Ce dispositif expérimental permet l'étalonnage jusqu'à des longueurs d'onde de 220 nm et l'accord entre les deux méthodes entre 220 et 260 nm est très satisfaisant comme le montre les résultats d'étalonnage repris sur la figure 1. La précision finale sur l'étalonnage absolu du spectromètre de vol a été estimée à $\pm 10\%$.

L'instrument a été intégré dans une nacelle stabilisée Astrolabe qui pointe le soleil avec une précision supérieure à 30 secondes d'arc.

CONDITIONS D'OBSERVATIONS

Un premier vol eut lieu le 23 septembre 1972 depuis le centre de lancements des ballons stratosphériques du CNES situé à Aire sur l'Adour. La nacelle de 220 kg était emportée par un ballon Raven de 300.000 m³ et a atteint l'altitude de 41,5 km. Le premier spectre a été obtenu pour une distance zénithale de 78° (16 h 40 T.U.) et l'observation s'est poursuivie jusqu'à une distance zénithale de 87° aux environs de 200 nm et de 92° pour la région des 300 nm (17 h 53 T.U.). Ce premier vol était plus particulièrement consacré à l'observation des absorptions dans la stratosphère du rayonnement ultraviolet solaire. C'est pourquoi il s'est déroulé pour des distances zénithales relativement grandes. Un deuxième vol eut lieu le 16 mai 1973. La nacelle a atteint une altitude de 39 km, emportée par un ballon Winzen de 300.000 m³. Le but principal de cette expérience était la mesure du flux solaire dans l'ultraviolet. Pour cette raison, les obser-

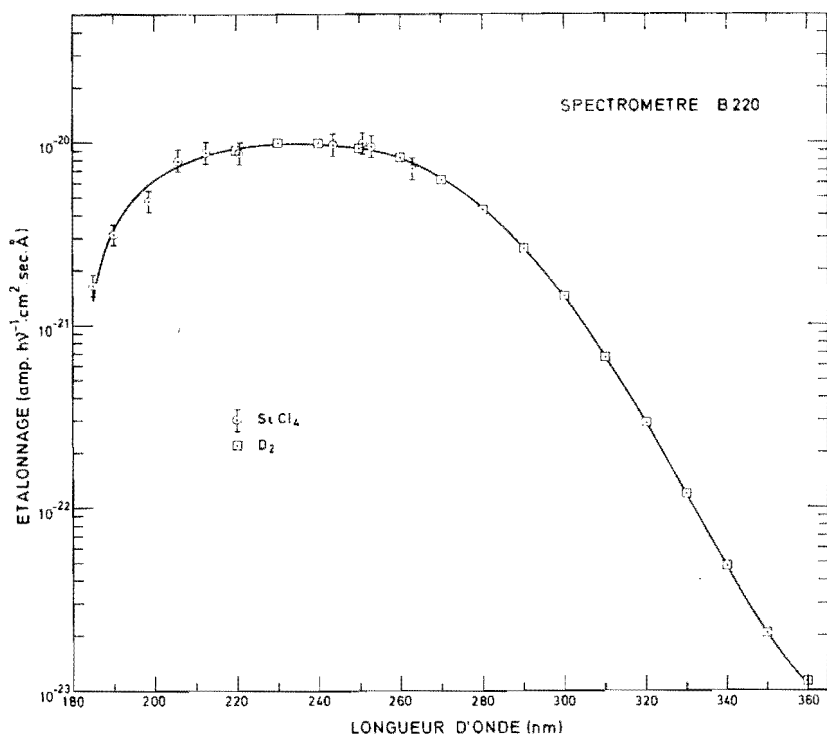


FIG. 1. — Courbe d'étalonnage absolu du spectromètre en fonction de la longueur d'onde.

vations furent effectuées à des distances zénithales comprises entre 54° et 70° (16 h 00 et 17 h 22 T.U.).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les flux solaires sont déterminés par l'extrapolation à masse d'air nulle des flux mesurés en fonction de l'angle zénithal du soleil (méthode de Langley). Les détails de cette méthode et des exemples d'extrapolation à différentes longueurs d'onde sont présentés ailleurs (Simon, 1974a et 1974b). Outre les flux solaires extraterrestres, cette méthode de travail donne également une mesure de l'épaisseur optique de l'atmosphère au-dessus de l'instrument d'observation. Les valeurs expé-

rimentales déduites des deux vols sont en accord raisonnable avec les épaisseurs optiques calculées pour une atmosphère d'ozone et d'oxygène, tenant compte de l'extinction due à la diffusion moléculaire de la lumière. Les résultats concernant les épaisseurs optiques sont discutés en détail par Simon (1974a).

La méthode de Langley n'a pas été appliquée pour les spectres obtenus lors du deuxième vol aux longueurs d'onde supérieures à 330 nm. En effet, les épaisseurs optiques à mesurer sont inférieures à 0,01 ce qui correspond à une atténuation de flux solaire extraterrestre inférieure à 1 %. Il est donc raisonnable de considérer les spectres obtenus comme étant une mesure directe du flux solaire extraterrestre, compte tenu de la précision des mesures et de l'étalonnage absolu de l'instrument.

Ces flux solaires mesurés sont repris aux figures 2 et 3. Ils sont comparés aux valeurs mesurées par d'autres auteurs aux figures 4 et 5. Pour l'intervalle de longueurs d'onde comprises entre 170 et 240 nm (figure 4), il apparaît que les nouvelles mesures sont 40 %

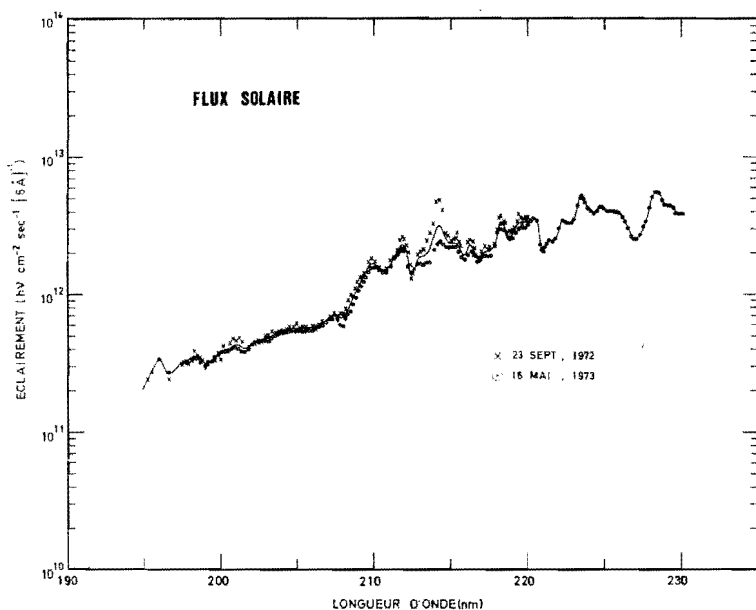


FIG. 2. — Valeurs expérimentales des flux solaires mesurés entre 196 et 230 nm.

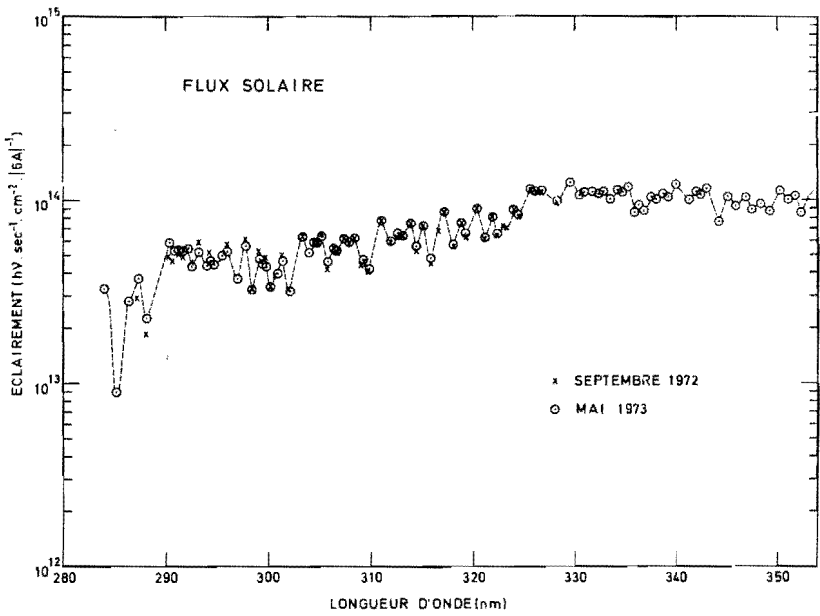


FIG. 3. — Valeurs expérimentales des flux solaires mesurés entre 284 et 354 nm.

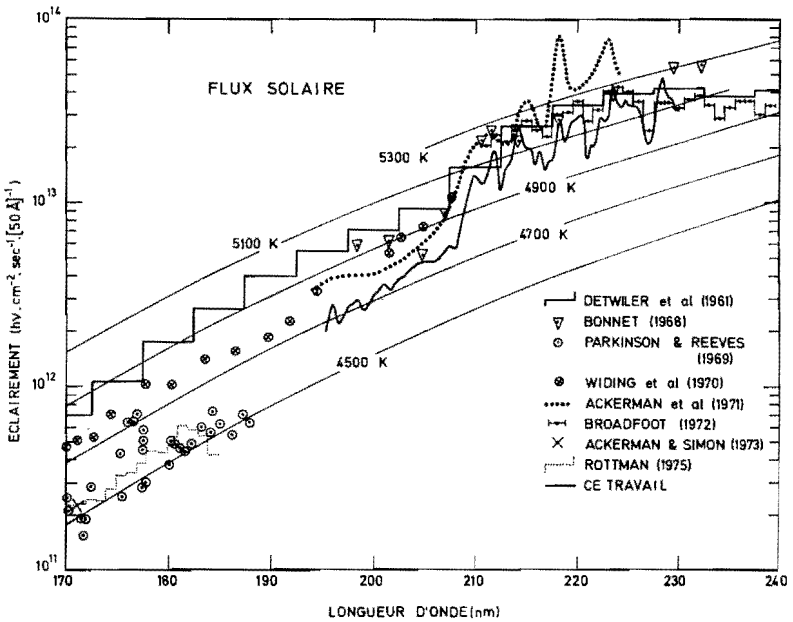


FIG. 4. — Comparaison des flux solaires mesurés par différents auteurs entre 170 et 240 nm. Les flux pour différentes températures du corps noir sont également indiqués.

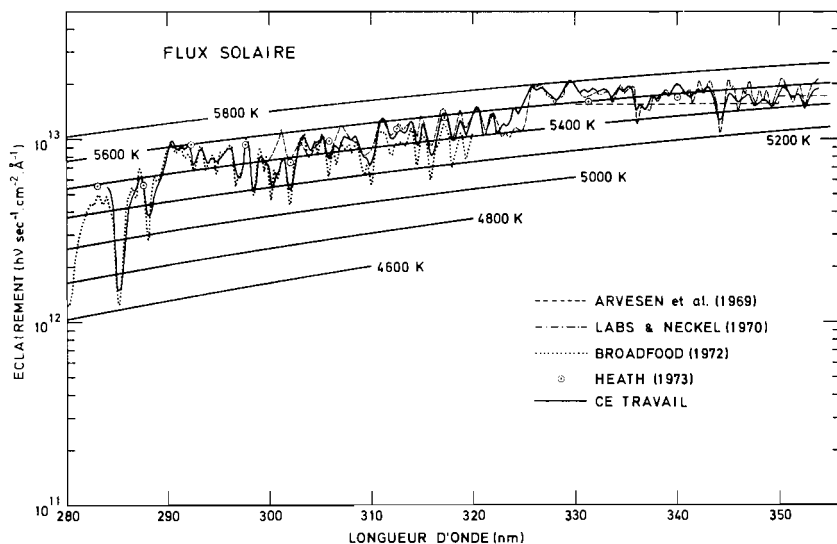


FIG. 5. — Comparaison des flux solaires mesurés par différents auteurs entre 280 et 360 nm. Les flux pour différentes températures du corps noir sont également indiqués

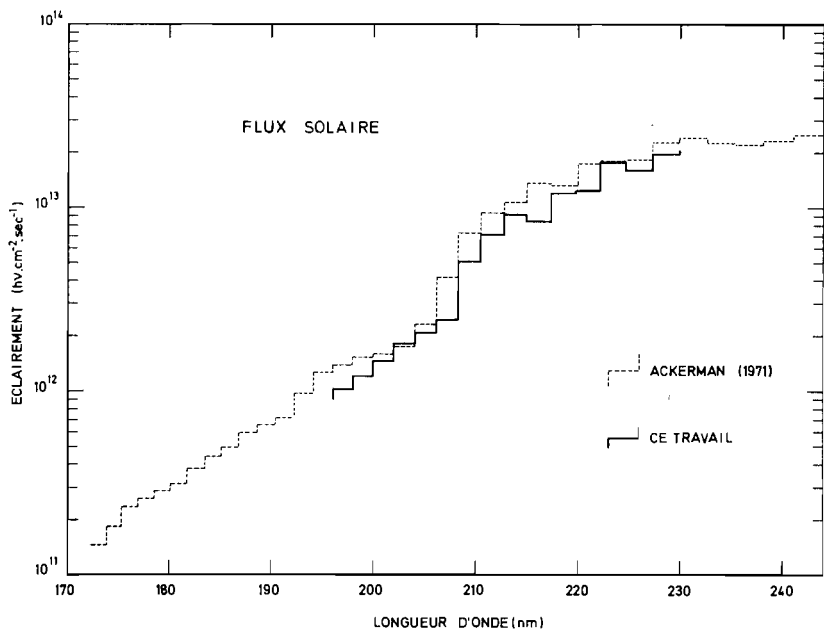


FIG. 6. — Comparaison des mesures de flux solaires rapportées dans ce travail avec les valeurs publiées par Ackerman (1971) entre 196,1 et 229,9 nm. Les intervalles de longueurs d'onde sont définis dans le tableau 1.

plus basses que celles réalisées par Ackerman *et al* (1971). Elles sont également moins élevées que celles de Broadfoot (1972) excepté pour les longueurs d'onde supérieures à 225 nm où l'accord est relativement bon.

De plus, les nouvelles mesures indiquent une température équivalente du soleil de 4700 K à 200 nm. Étant donné que les mesures de Parkinson et Reeves (1969) qui ont été récemment confirmées par Ackerman et Simon (1973), Heath (1973) et Rottman (1975) donnent une température équivalente du soleil de l'ordre de 4550 K à 187,5 nm, l'écart en température serait seulement de 150 K entre 190 et 200 nm. D'autre part, la décroissance du flux solaire entre 208 et 185 nm pourrait être quasi exponentielle comme l'ont d'ailleurs suggéré Donnelly et Pope (1973).

Pour l'intervalle des longueurs d'onde comprises entre 284 et 354 nm, (figure 5) il apparaît que l'accord avec les mesures de Broadfoot (1972) est très bon jusqu'à 310 nm. Il faut évidemment tenir

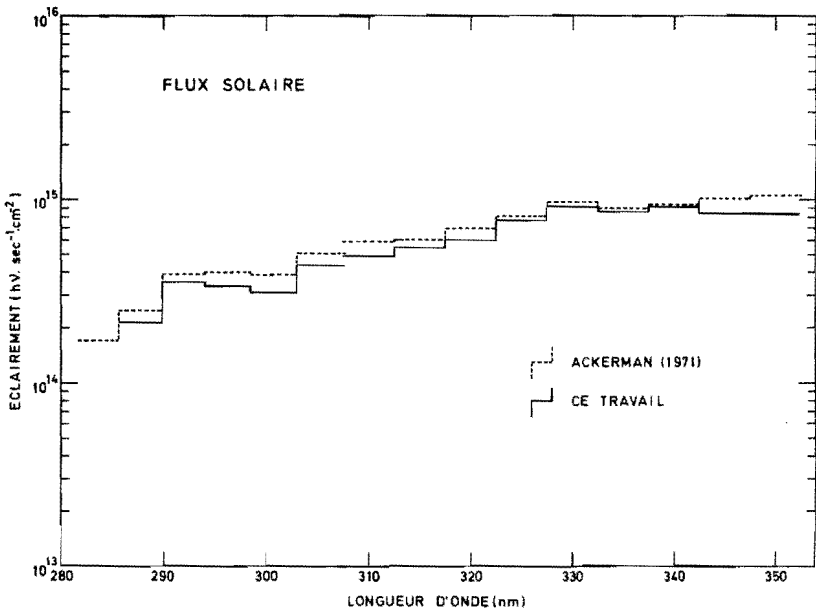


Fig. 7. — Comparaison des mesures de flux solaires rapportées dans ce travail avec les valeurs publiées par Ackerman (1971) entre 285,7 et 352,5 nm. Les intervalles de longueurs d'onde sont définis dans le tableau 1.

compte de la meilleure résolution de l'instrument de Broadfoot (0,3 nm de bande passante) par rapport à celle du spectromètre utilisé dans ce travail (0,6 nm de bande passante). Au-delà de 310 nm, les nouvelles mesures se rapprochent de celles d'Arvesen *et al* (1969) obtenues avec un double spectromètre de bande passante de 0,1 nm. Il faut noter que les longueurs d'onde des flux solaires publiés par Arvesen *et al.* ont été corrigées en se basant sur les atlas solaires de Brückner (1960) et Minnaert *et al* (1940). Elles ont été diminuées de 0,4 nm de 300 à 351,4 nm, de 0,2 nm entre 351,4 et 352,3 nm et de 0,1 nm entre 352,4 et 356,6 nm.

TABLEAU I. — Comparaison entre les mesures de flux solaires rapportées dans ce travail et les valeurs publiées par Ackerman (1971).

Intervalle de longueur d'onde (nm)	Flux (ce travail) $\text{hv.cm}^{-2}.\text{sec}^{-1}$	Flux (1) $\text{hv.cm}^{-2}.\text{sec}^{-1}$	Rapport entre (1) et (ce travail)
196,1-198,0	$1,01 \times 10^{12}$	$1,39 \times 10^{12}$	1,38
198,0-200,0	1,20	1,53	1,27
200,0-202,0	1,44	1,60	1,11
202,0-204,1	1,80	1,74	0,97
204,1-206,2	2,08	2,31	1,11
206,2-208,3	2,45	4,20	1,71
208,3-210,5	5,09	7,30	1,43
210,5-212,8	7,12	9,42	1,32
212,8-215,0	9,23	$1,06 \times 10^{13}$	1,15
215,0-217,4	8,42	1,34	1,59
217,4-219,8	$1,20 \times 10^{13}$	1,32	1,10
219,8-222,2	1,22	1,73	1,42
222,2-224,7	1,77	1,80	1,02
224,7-227,3	1,60	1,82	1,14
227,3-229,9	1,96	2,26	1,15
285,7-289,9	$2,12 \times 10^{14}$	$2,46 \times 10^{14}$	1,16
289,9-294,1	3,56	3,90	1,10
294,1-298,5	3,33	3,99	1,20
298,5-303,0	3,08	3,86	1,25
303,0-307,7	4,39	5,09	1,16
307,5-312,5	4,91	5,92	1,21
312,5-317,5	5,53	6,05	1,09
317,5-322,5	6,04	6,94	1,15
322,5-327,5	7,68	8,12	1,06
327,5-332,5	9,20	9,71	1,06
332,5-337,5	8,64	8,97	1,04
337,5-342,5	8,97	9,44	1,05
342,5-347,5	8,32	$1,01 \times 10^{15}$	1,21
347,5-352,5	8,22	1,03	1,25

C'est à cause d'un écart variable entre les longueurs d'onde du spectre solaire publié par Thekaekara (1974) et celles présentées dans ce travail que leur comparaison n'a pas été faite, une simple translation de l'échelle des longueurs d'onde étant impossible.

Finalement le tableau I et les figures 6 et 7 comparent les valeurs de flux publiés par Ackerman (1971) aux résultats présentés dans ce travail.

RÉFÉRENCES

- [1] ACKERMAN, M., « Ultraviolet solar radiation related to mesospheric processes », in *Mesospheric Models and related Experiments*, ed. G. Fiocco, D. Reidel Publishing, Dordrecht, Holland 1971, p. 149.
- [2] ACKERMAN, M., « Solar ultraviolet flux below 50 kilometer », *Can. J. Chem.*, **52**, 1505, 1974.
- [3] ACKERMAN, M., FRIMOUT, D. and PASTIELS, R., « New ultraviolet solar flux measurements at 2000 Å using a balloon borne instrument », in *New Techniques in Space Astronomy*, eds. Labuhn and Lüst, D. Reidel Publishing, Dordrecht, Holland, 1971, p. 251.
- [4] ACKERMAN, M. and SIMON, P., « Rocket measurement of solar fluxes at 1216 Å, 1450 Å and 1710 Å », *Solar Phys.*, **30**, 345, 1973.
- [5] ARVESEN, J.C., GRIFFIN, R.N., Jr. and PEARSON, B.D., Jr., « Determination of extraterrestrial solar spectral irradiance from a research aircraft », *Appl. Optics*, **8**, 2215, 1969.
- [6] BONNET, R.M., « Stigmatic Spectra of the Sun between 1800 Å and 2800 Å », *Space Res.*, **8**, 458, 1968.
- [7] BROADFOOT, A.L., « The Solar Spectrum 2100-3200 Å », *Astrophys. J.*, **173**, 681, 1972.
- [8] BRUCKNER, G., « Photometrischer Atlas des Nohen ultravioletten Sonnenspektrums, 2988 Å-3629 Å », . Vandenhoeck et Ruprecht, Göttingen, RFA, 1960.
- [9] DETWILLER, C.R., GARRETT, D.L., PURCELL, J.D. and TOUSEY, R., « The Intensity Distribution in the Ultraviolet Solar Spectrum », *Ann. Geophys.*, **17**, 9, 1961.
- [10] DONNELLY, R.F. and POPE, J.H., « The 1-3000 Å Solar flux for a moderate level of solar activity for use in modeling the ionosphere and upper atmosphere », NOAA Technical Report ERL 276-SEL 25, 1973.
- [11] HEATH, D.F., « Space Observations of the Variability of Solar Irradiance in the Near and Far Ultraviolet », *J. Geophys. Res.*, **78**, 2779, 1973.
- [12] LABS, D. and NECKEL, H., « Transformation of the absolute solar radiation data into the international practical temperatures scale of 1968 », *Solar Phys.*, **15**, 79, 1970.

- [13] MINNAERT, M., MULDER, G.F.W. and HOUTGAST, J., « Photometric Atlas of the Solar Spectrum from λ 3612 to λ 8771 with an appendix from λ 3332 to λ 3637 », D. Schnabel, Amsterdam, Holland, 1940.
- [14] PARKINSON, W.H. and REEVES, E.M., « Measurements in the Solar Spectrum between 1400 and 1875 Å with a Rocket-Borne Spectrometer », *Solar Phys.* **10**, 342, 1969.
- [15] ROTTMAN, G.J., *J. Geophys. Res.*, à paraître, 1975.
- [16] SIMON, P., « Observation de l'absorption du rayonnement ultraviolet solaire par ballons stratosphériques », *Bull. Acad. Roy. Belgique, Cl. Sci.*, **60**, 617, 1974a.
- [17] SIMON, P., « Balloon measurements of solar fluxes between 1960 Å and 2300 Å » in *Proceedings of the third conference on the climatic impact assessment program*, eds. A.J. Broderick and T.M. Hard, DOT-TSC-OST-74-15, 1974b, p. 137.
- [18] THEKAEKARA, M.P., « Extraterrestrial solar spectrum, 3000-6100 Å at 1 Å intervals », *Appl. Optics*, **13**, 518, 1974.
- [19] WIDING, K.G., PURCELL, J.D. and SANDLIN, G.D., « The UV Continuum 1450-2100 Å and the Problem of the Solar Temperature Minimum » *Solar Phys.*, **12**, 52, 1970.