

I N S T I T U T D ' A E R O N O M I E S P A T I A L E D E B E L G I O U E

3 - Avenue Circulaire  
B - 1180 BRUXELLES

## **AERONOMICA ACTA**

A - N° 179 - 1977

**Le rayonnement ultraviolet du soleil  
et ses relations avec l'aéronomie**

par

**P C. SIMON**

B E L G I S C H I N S T I T U U T V O O R R U I M T E - A E R O N O M I E

3 - Ringlaan  
B - 1180 BRUSSEL

## AVANT-PROPOS

Le travail intitulé "Le rayonnement ultraviolet du soleil et ses relations avec l'aéronomie" a été présenté aux "Journées sur l'atmosphère" organisées par le CNES les 27, 28 et 29 septembre 1976 à l'Observatoire de Meudon. Il sera publié dans les comptes-rendus de la réunion.

## FOREWORD

This paper entitled "Le rayonnement ultraviolet du soleil et ses relations avec l'aéronomie" has been presented at the "Journées sur l'atmosphère" organised by the CNES September 27, 28 and 29, 1976 at the Observatory of Meudon. It will be published in the meeting proceedings.

## VOORWOORD

De tekst getiteld "Le rayonnement ultraviolet du soleil et ses relations avec l'aéronomie" werd voorgedragen tijdens de "Journées sur l'atmosphère" georganiseerd door de CNES op 27, 28 en 29 september 1976 aan het Observatorium te Meudon. Het zal in de verslagen van de vergadering uitgegeven worden.

## VORWORT

Dieser Text "Le rayonnement ultraviolet du soleil et ses relations avec l'aéronomie" wurde zu die "Journées sur l'atmosphère" die bei CNES den 27, 28 und 29 September 1976, an der Sternwarte von Meudon, vorgestellt. Dieser Text wird in die Berichterstattung dieser Versammlung veröffentlicht.

# LE RAYONNEMENT ULTRAVIOLET DU SOLEIL ET SES RELATIONS AVEC L'AERONOMIE

par

Paul C. SIMON

## *Résumé*

Les mesures du flux solaire entre 30 et 350 nm sont brièvement revues et discutées. Les désaccords entre les observations récentes sont relevés montrant la nécessité de nouvelles mesures dans ce domaine de longueurs d'onde pour l'étude aéronomique des atmosphères planétaires et plus spécialement pour l'étude des effets sur ces atmosphères de la variabilité du soleil pendant son cycle undécennal. Les avantages de l'utilisation de la navette spatiale pour les nouvelles observations sont soulignés.

## *Abstract*

The solar irradiation fluxes between 30 and 350 nm are briefly reviewed and discussed. The disagreements between the recent observations are pointed out, showing the urgent need of new measurements in this wavelength range for aeronomic purposes, especially to study the atmospheric effect of solar variability during the eleven year cycle. The use of the "Spacelab" to solve these problems is emphasized.

### *Samenvatting*

De metingen van de zonneflux tussen 30 en 350 nm worden in het kort weergegeven en besproken. Het gebrek aan overeenstemming tussen de recente waarnemingen wordt belicht en toont de noodzakelijkheid aan van nieuwe metingen in dit golflengtegebied voor aeronomische doeleinden in het bijzonder wat betreft de studie van de invloed van de elfjarige zonnecyclus op de atmosfeer. De voordelen van het gebruik van een ruimtependel voor nieuwe waarnemingen worden onderlijnd.

### *Zusammenfassung*

Die Messungen der Sonnenstrahlung zwischen 30 und 350 nm sind kurz untersucht und besprochen worden. Die Nichtübereinstimmungen zwischen die neuesten Beobachtungen sind beschrieben worden. Es wird gezeigt dass neue Messungen in dieser Wellenlängen verlangt sind für die Aeronomie, z.b. für die atmospherische Effekte der veränderlichen elfjähriches Sonnenaktivität. Mit "Spacelab" könnten diese Probleme aufgelösst werden

## *I. INTRODUCTION*

Les conditions aéronomiques des atmosphères planétaires sont directement liées à la distribution spectrale du rayonnement électromagnétique du soleil ainsi qu'à ses variations temporelles. En effet, le rayonnement solaire est absorbé par ces atmosphères à des altitudes qui dépendent directement de leur composition chimique. Il initie toute la chimie aéronomique en photoionisant et photodissociant les constituants atmosphériques et détermine également le bilan thermique du milieu. La mesure de la distribution spectrale de l'énergie associée au rayonnement solaire est donc fondamentale pour l'étude de l'environnement atmosphérique de notre planète.

Le flux énergétique émis par le soleil peut être observé sous deux aspects correspondant au point de vue de la physique solaire qui est associée à la détermination de la composition et de la constitution de l'atmosphère du soleil et au point de vue des processus aéronomiques de atmosphères planétaires qui requièrent la connaissance de la quantité d'énergie reçue en tout point. Dans le premier cas, on demande généralement des mesures à haute résolution spectrale et spatiale sur le disque solaire tandis que dans le second cas, on exige des mesures de flux émis par l'entièreté du disque solaire avec une résolution spectrale dépendant directement de la structure du spectre d'absorption des constituants à étudier. Seules les mesures relatives à l'aéronomie des atmosphères planétaires seront considérées dans ce travail. Elles seront comparées suivant des intervalles de longueurs d'onde déterminés par la structure de l'atmosphère terrestre. Ces comparaisons exclueront donc les mesures faites, par exemple, au centre du disque solaire car elles ne sont pas représentatives du flux émis par l'entièreté du disque étant donné que les variations centre-bord du flux dépendent de la longueur d'onde (Samain et Simon, 1976). De plus, les comparaisons des mesures effectuées à différentes résolutions spectrales doivent faire l'objet d'un examen critique par suite de l'existence de raies d'émission et d'absorption très intenses dans l'ultraviolet. Toutefois, la variabilité du flux ultraviolet du soleil au cours d'un cycle d'activité undécennale (dont la mesure est absolument nécessaire pour comprendre les variations à long terme des atmosphères) ne pourra être comprise que grâce à une observation du fond continu du soleil ce qui requiert une résolution spatiale sur le disque (Bonnet, 1977). Ce problème particulier intéresse donc à la fois l'aéronomie et la physique solaire et ne doit pas être négligé dans les observations futures.

## II. DONNEES EXPERIMENTALES

La pénétration du rayonnement ultraviolet du soleil dans l'atmosphère terrestre est illustré à la figure 1 qui donne l'altitude correspondant à une épaisseur optique unitaire en fonction de la longueur d'onde. Il apparaît que le rayonnement solaire inférieur à 120 nm est absorbé dans la haute thermosphère et l'ionosphère (régions E et F) exception faite du rayonnement X qui pénètre plus profondément dans l'atmosphère. La basse thermosphère est liée au rayonnement solaire compris entre 120 et 175 nm, exception faite de la raie d'émission du soleil Ly  $\alpha$  (121.6 nm) qui pénètre dans la mésosphère et qui est la cause principale de la formation de la région D de l'ionosphère. Les observations de cette raie d'émission dont l'énergie équivaut celle du flux total du soleil en-dessous de 150 nm, ont été récemment revues et discutées par Vidal-Madjar (1976) et ne seront pas reprises dans ce travail. Dans la mésosphère, l'oxygène moléculaire absorbe le rayonnement solaire compris entre 175 et 200 nm quoique le rayonnement solaire de longueur d'onde supérieur à 180 nm puisse atteindre la stratosphère supérieure pour certains intervalles de longueurs d'onde déterminés par le spectre d'absorption de l'oxygène moléculaire dans les bandes de Schumann-Runge de O<sub>2</sub>. Au-delà de 210 nm, le rayonnement solaire est principalement absorbé par l'ozone dans la stratosphère et pénètre dans la troposphère pour les longueurs d'onde supérieures à 300 nm.

### a) Haute thermosphère et ionosphère.

Le rayonnement solaire de longueur d'onde inférieure à 120 nm est la source principale d'énergie dans la haute thermosphère, et est de ce fait responsable de l'augmentation de la température du milieu tant par son absorption que par la production de photoélectrons à haute énergie cinétique qui régissent avec les constituants neutres et ionisés, contribuant ainsi au chauffage de la thermosphère aux altitudes supérieures à 130 km par exemple (Stolarski, 1976). Il provoque l'ionisation des constituants atmosphériques tels que O<sub>2</sub>, O et N<sub>2</sub> dans les limites de photodissociation se situant respectivement à 102.7, 91.1 et 79.6 nm. Le rayonnement solaire compris entre 120 et 91.1 nm est principalement absorbé par l'oxygène moléculaire et contribue, pour les longueurs inférieures à 102.7 nm à la formation

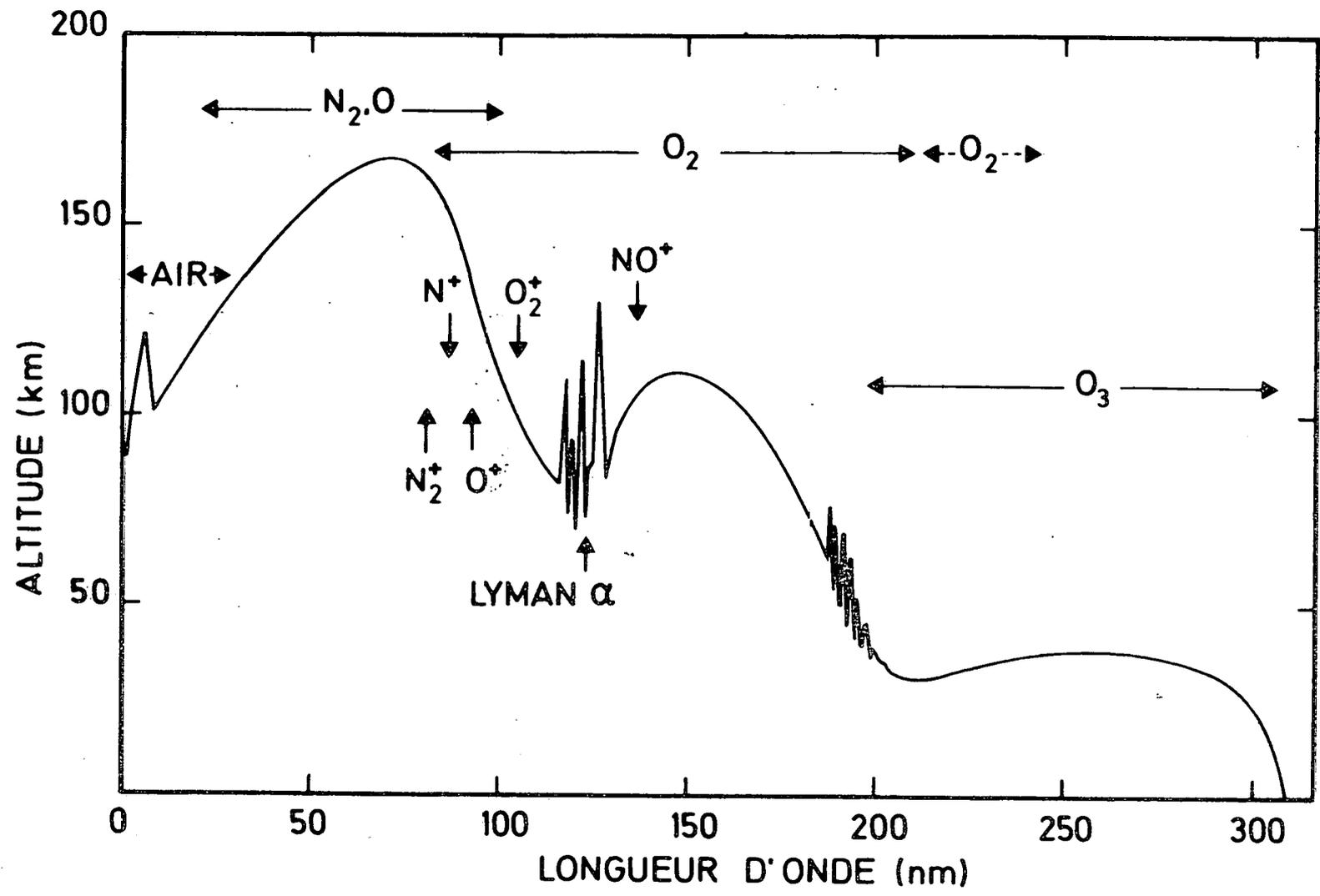


Fig. 1.- Altitudes correspondant à une épaisseur optique unitaire dans l'atmosphère terrestre en fonction de la longueur d'onde du flux solaire (d'après Herzberg, 1965).

de la région E de l'ionosphère qui se situe entre 90 et 130 km. Pour les longueurs d'onde comprises entre 91.1 et 30 nm, l'absorption du rayonnement solaire par l'azote moléculaire et par l'oxygène atomique devient prédominant et contribue à la formation de la région F de l'ionosphère au-dessus de 150km.

Les mesures du flux solaire compatibles avec l'étude aéronomique de la haute thermosphère et de l'ionosphère ne sont pas très nombreuses et présentent des désaccords qui dépassent parfois les limites d'erreurs indiquées par les expérimentateurs; ils peuvent atteindre un facteur 3 dans certains domaines de longueurs d'onde (figure 2).

Parmi les observations relativement moins récentes, les valeurs proposées par Hinteregger (1970) et qui correspondent à une activité moyenne du soleil ( $F_{10,7} = 144$ ) devraient, selon plusieurs auteurs (Roble et Dickinson, 1973; Swartz et Nisbet, 1973), être multipliées par un facteur 2 pour expliquer les résultats théoriques basés sur les modèles photochimiques et thermiques de la thermosphère. Depuis lors, plusieurs mesures ont été réalisées par Timothy et al. (1972), Heroux et al. (1974), Higgins (1976), Hinteregger (1976) et Schmidke (1976). La comparaison entre toutes les données récentes et anciennes n'est pas aisée. En effet, d'une part les données publiées par Hinteregger (1970) sont basées sur le rendement quantique d'un détecteur à cathode de W qui présentait, pour les longueurs d'ondes inférieures à 58,4 nm, certaines erreurs d'extrapolation. Sur base des mesures obtenues en fusée et publiées par Heroux et al. (1974), Hinteregger (1976) a proposé d'augmenter ses valeurs publiées en 1970 de 30 à 60% entre 63 et 28 nm. D'autre part, ces mesures ont été effectuées sous des conditions différentes de l'activité du soleil. Leur comparaison devrait donc tenir compte des effets liés aux variations dues à la rotation du soleil et à son cycle d'activité undécennale. A cela s'ajoute les erreurs de mesure liées aux problèmes instrumentaux. Il est donc difficile de conclure quant à l'influence relative de la variabilité du flux avec le cycle solaire sur les mesures actuelles (figure 3). Timothy (1976) proclame très prudemment que cette variabilité pourrait atteindre un facteur 2 quoique les résultats obtenus pour différentes conditions de l'activité solaire par le groupe de l'AFCLR (Air Force Cambridge Research Laboratory) soient consistants entre eux et de ce fait infirment cette conclusion. De plus, l'utilisation des flux à 2800 MHz ( $F_{10,7}$  cm) ne semble

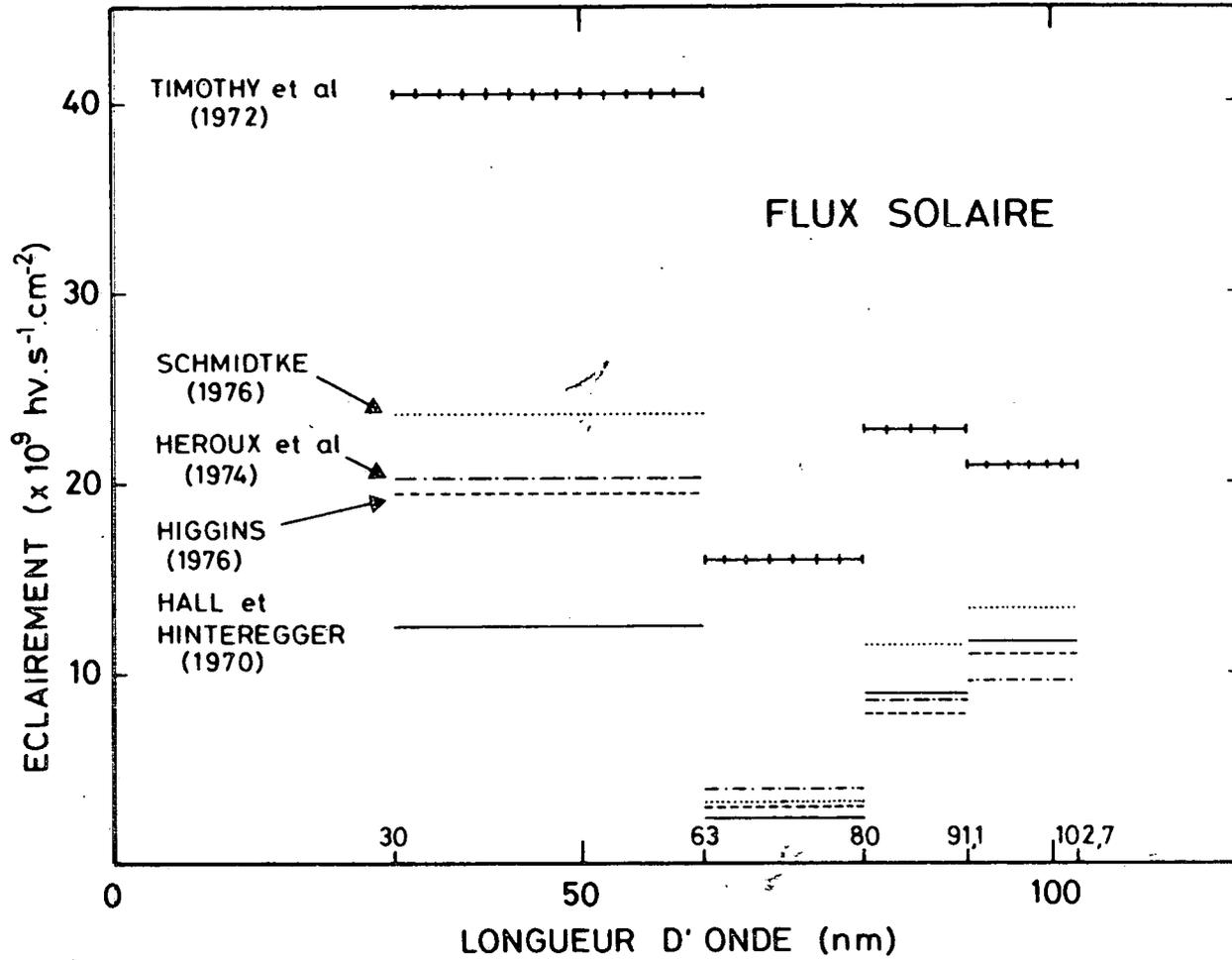


Fig. 2.- Comparaison des flux solaires mesurés par différents auteurs entre 30 et 102,7 nm.

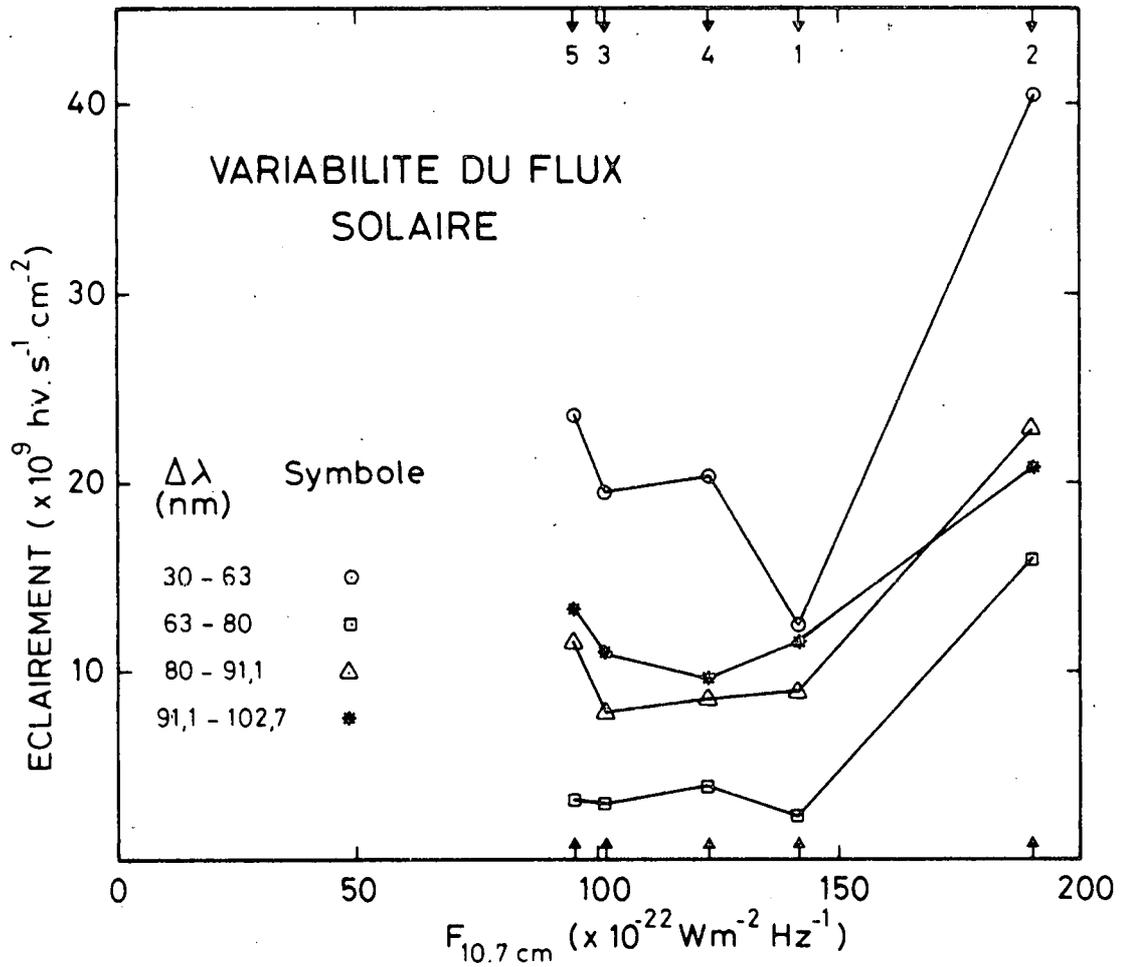


Fig. 3.- Comparaison des flux solaires entre 30 et 102,7 nm en fonction du flux à 10,7 cm. Les n° correspondent aux auteurs suivants : n° 1 Hall et Hinteregger, 1970; n° 2 Timothy et al., 1973; n° 3 Higgins, 1975; n° 4 Heroux et al., 1974; n° 5 Schmidtke, 1976.

pas adéquate pour expliquer tous les types de variation du flux solaire dans l'ultraviolet extrême (Schmidtke, 1976; Bonnet, 1977).

#### b) La basse thermosphère

En-dessous de 130 km, le chauffage de l'atmosphère terrestre dû à l'absorption du rayonnement solaire par l'oxygène moléculaire dans le continuum de Schumann-Runge devient prédominant et maximum vers 100 km. (Kockarts, 1973). Le rayonnement solaire de longueurs d'ondes comprises entre 130 et 175 nm est, dans la thermosphère, directement responsable de la production de l'oxygène atomique qui devient un constituant permanent de la haute atmosphère au-dessus de 85 km. La photodissociation de l'oxygène moléculaire est maximum pour les longueurs d'onde comprises entre 150 et 160 nm (Nicolet, 1977). Plusieurs mesures du flux solaire dans ce domaine de longueur d'onde ont été réalisées ces dernières années par Rottman (1974), Heroux et Swirbalus (1976) et Samain et Simon (1976). Elles conduisent à une température équivalente du soleil aux environs de 160 nm comprise entre 4400 et 4450 K (voir figure 4). Toutefois, les désaccords entre ces différentes mesures peuvent atteindre 40% aux environs de 155 nm sans tenir compte des raies d'émission aux environs de 130 nm qui présentent des différences encore plus grandes. Les imprécisions de ces mesures sont comprises entre 15 et 30% suivant les auteurs et sont supérieures aux variations dues à la rotation du soleil. Celles-ci sont de l'ordre de 10% entre 155 et 175 d'après Heath (1973) et Hinteregger (1976). La variation du flux solaire en fonction de son cycle d'activité undécennale est inconnue à ce jour, bien que Heath (1976) ait indiqué récemment des variations supérieures à un facteur 2 à 177 nm sur base de ses mesures en satellite et en fusée. Il apparaît que cette conclusion n'est pas confirmée par une analyse des données d'observations actuellement publiées et notamment celles de Ackerman et Simon (1973), Rottman (1974) et Heroux et Swirbalus (1976) qui sont en parfait accord à 171 nm.

#### c) La mésosphère et la stratosphère

La source principale de l'oxygène atomique dans la mésosphère et dans la haute stratosphère est la photodissociation de l'oxygène moléculaire entre 175 et 242 nm. Ce domaine

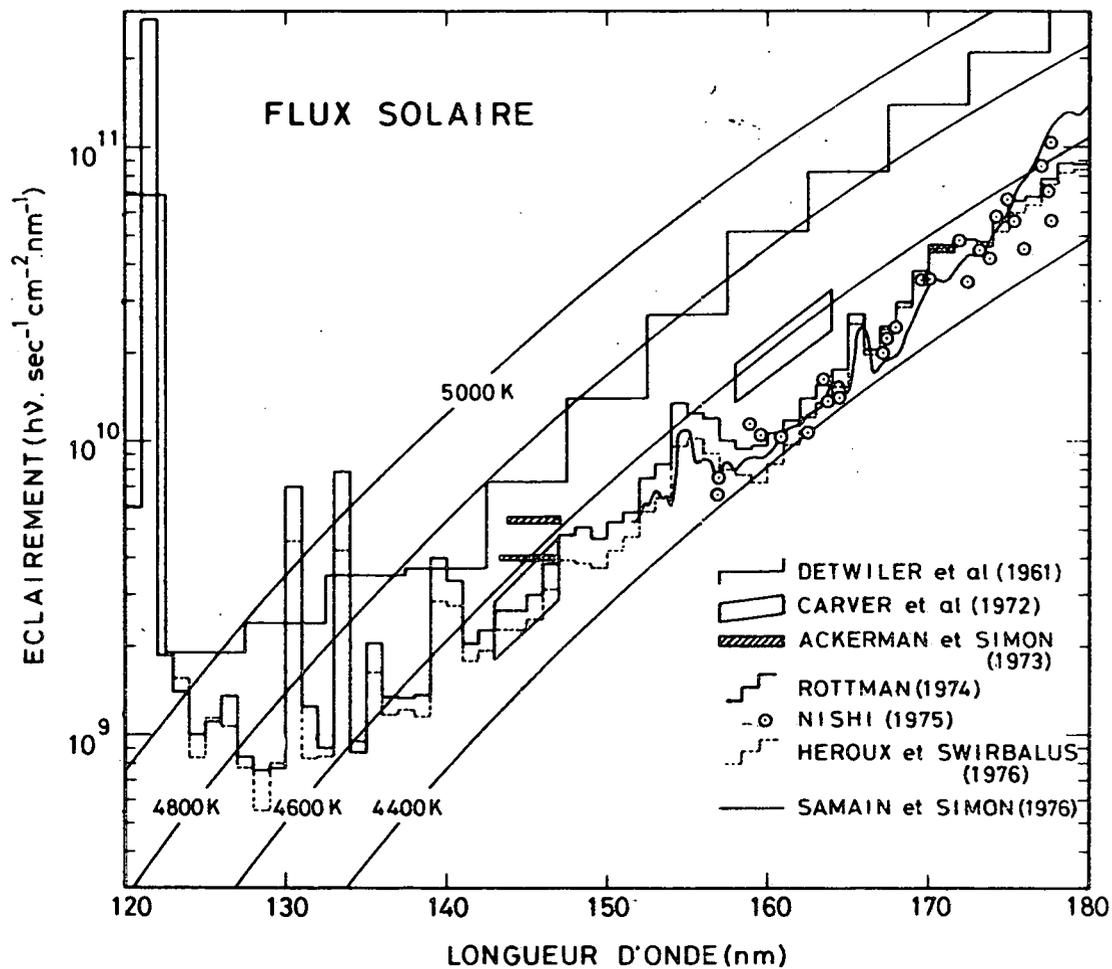


Fig. 4.- Comparaison des flux solaires mesurés par différents auteurs entre 120 et 180 nm. Les flux pour différentes températures du corps noir sont également indiqués.

de longueur d'onde est également de première importance pour la photodissociation de constituants minoritaires de la stratosphère tels que l'hémioxyde d'azote, le monoxyde d'azote, le dioxyde de carbone, la vapeur d'eau et les halocarbures, ces derniers étant directement responsables de la présence des atomes de chlore dans la stratosphère (Nicolet, 1977). Etant donné la structure des bandes d'absorption de Schumann-Runge de l'oxygène moléculaire entre 175 et 205 nm, il est indispensable pour calculer avec précision la photodissociation des constituants minoritaires qui absorbe dans le même domaine de longueur d'onde, de connaître le flux absolu du soleil avec une résolution de 0,002 nm. Les mesures de Samain et Simon (1976) obtenues avec une résolution de 0,04 nm ne répondent qu'imparfaitement au problème posé. De plus, des désaccords de l'ordre de 50% entre ces dernières mesures et celles de Heroux et Swirbalus (1976) subsistent entre 180 et 190 nm (voir figure 5). Par contre, entre 200 et 210 nm, les mesures de Simon (1974), de Samain et Simon (1976) et de Brueckner et al. (1976) sont en accord raisonnable.

Au-delà de 210 nm, le rayonnement solaire est principalement absorbé par l'ozone atmosphérique qui présente son maximum d'absorption vers 250 nm (bandes de Hartley) provoquant le réchauffement de la stratosphère jusqu'à la stratopause (50 km). A partir de 300 nm, les sections efficaces d'absorption de l'ozone sont suffisamment basses pour permettre la pénétration du rayonnement dans la troposphère. Toute l'aéronomie de la stratosphère est directement liée à la photodissociation de l'ozone qui, pour des longueurs d'onde inférieures à 310 nm, produit des atomes d'oxygène excité  $O(^1D)$  (Nicolet, 1975). Ceux-ci sont directement responsables des réactions d'oxydation avec les composés minoritaires tels que  $H_2O$ ,  $CH_4$ , les halocarbures et  $N_2O$ , ce dernier étant par cette réaction avec  $O(^1D)$  la source principale de NO dans la stratosphère (Nicolet, 1970). La connaissance du flux solaire entre 210 et 320 est donc fondamentale pour l'étude de la stratosphère. La seule mesure couvrant tout ce domaine de longueur d'onde est celle publiée par Broadfoot (1972). Toutefois elle semble sujette à discussion si l'on considère les mesures de Simon (1974) au-dessous de 230 nm (figure 6) et celles d'Arvesen et al. (1969) au-dessus de 300 nm (figure 7). Il faut noter, toutefois, que les mesures publiées par Simon (1975) entre 285 et 355 nm permettent de lever l'incertitude liée au désaccord entre Broadfoot (1972) et Arvesen et al. (1969) entre 300 et 320 nm (voir figure 7). L'ensemble de ces mesures avec

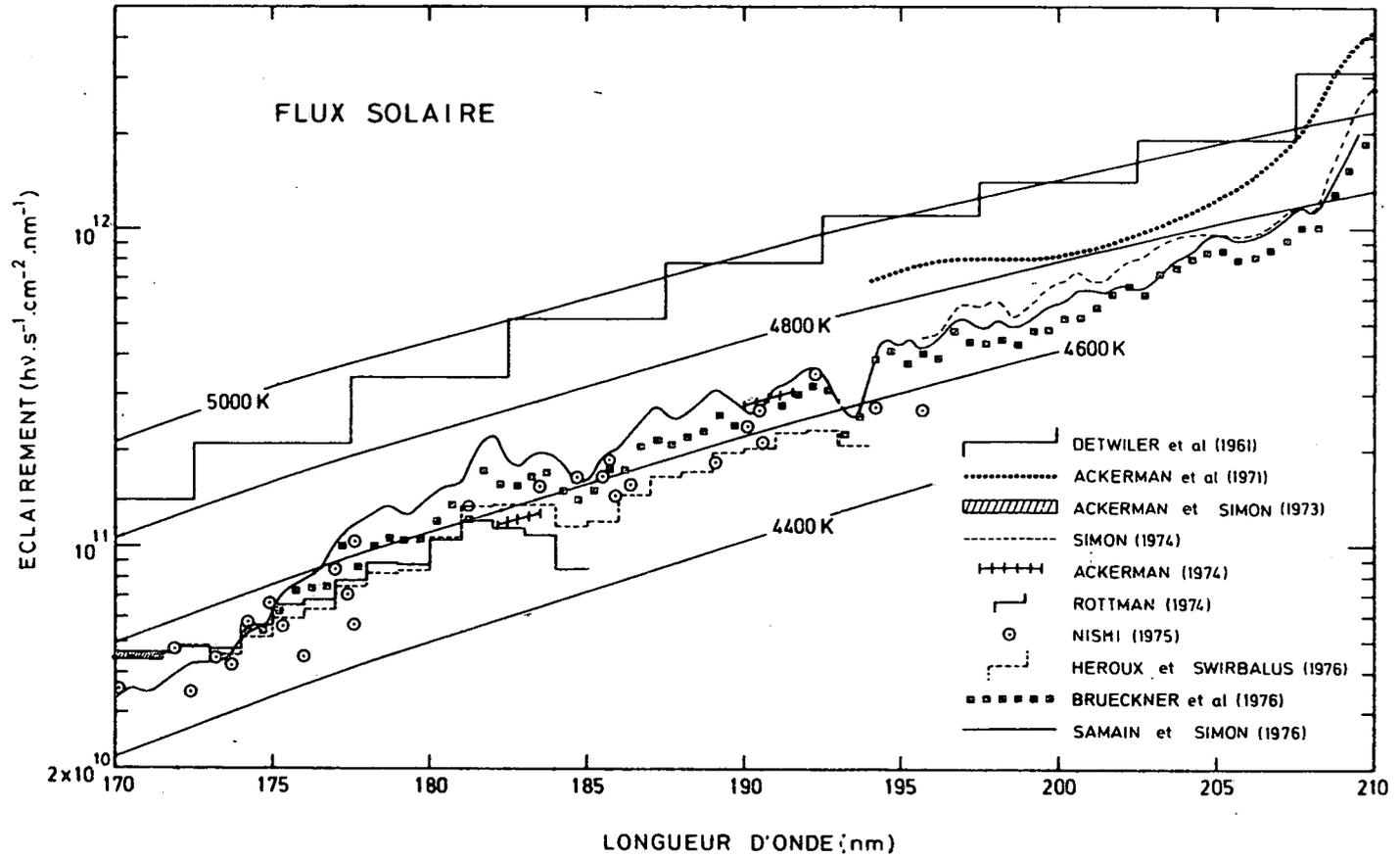


Fig. 5.- Comparaison des flux solaires mesurés par différents auteurs entre 170 et 210 nm. Les flux pour différentes températures du corps noir sont également indiqués.

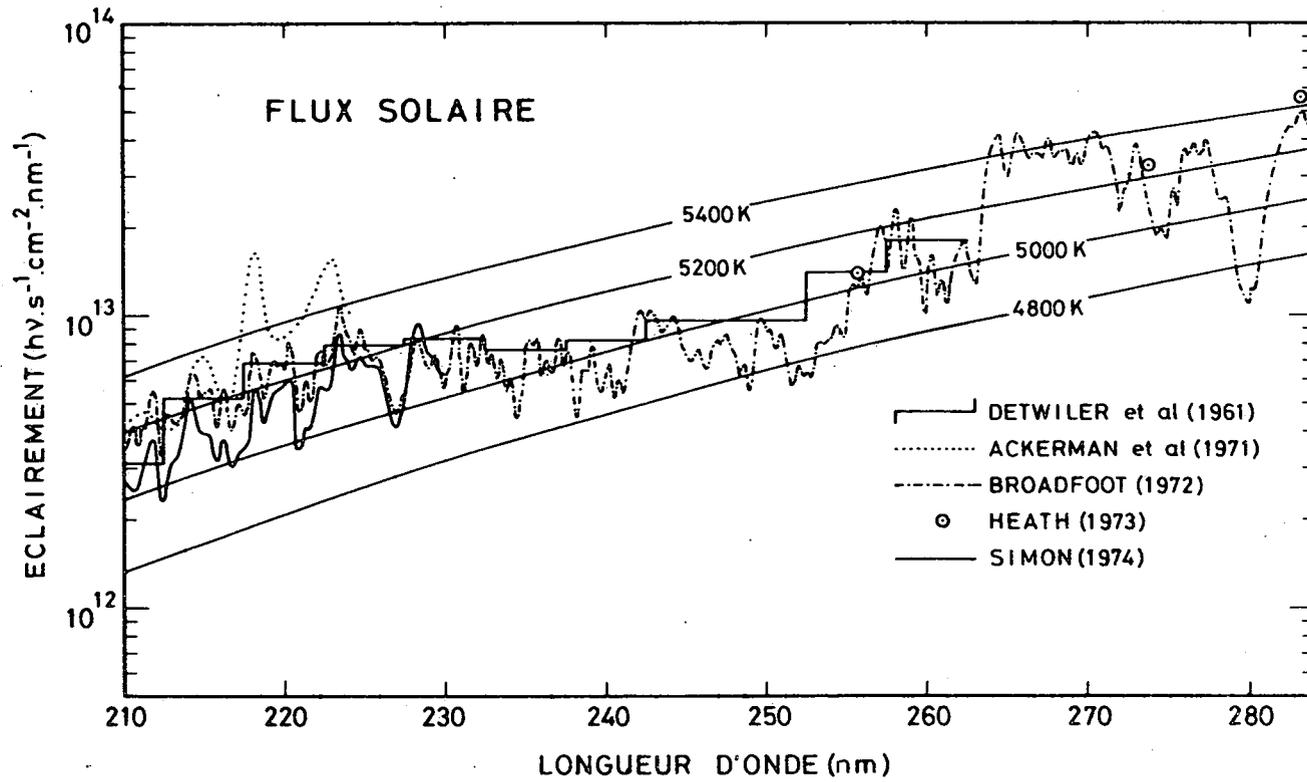


Fig. 6.- Comparaison des flux solaires mesurés par différents auteurs entre 210 et 284 nm. Les flux pour différentes températures du corps noir sont également indiqués.

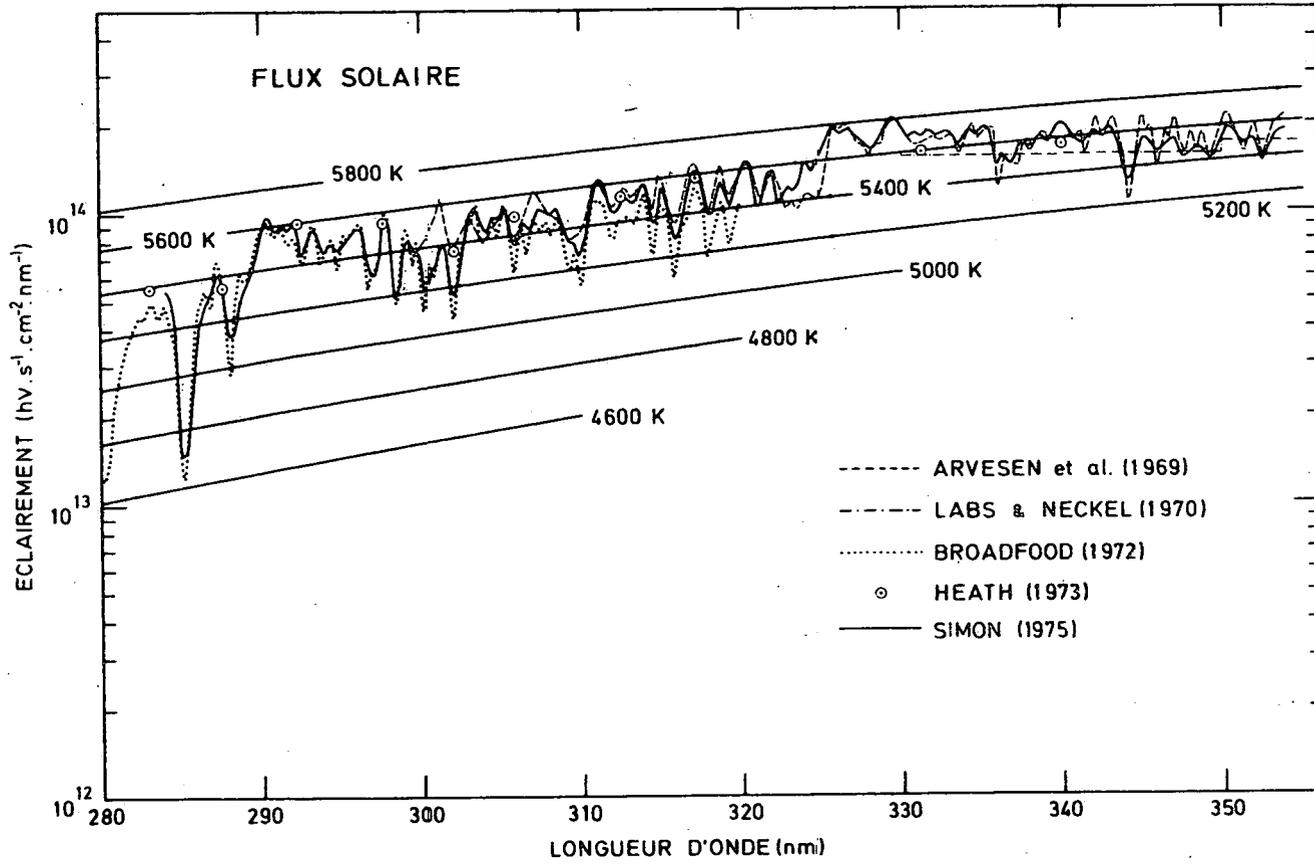


Fig. 7.- Comparaison des flux solaires mesurés par différents auteurs entre 280 et 354 nm. Les flux pour différentes températures du corps noir sont également indiqués.

celles de Thekaekara (1974) et de Labs et Neckel (1971) qui s'étendent jusque dans l'infrarouge et celles de De Luisi (1975) permettent une estimation des flux solaires dans le proche ultraviolet avec une précision de l'ordre de 10%. La question de la variabilité du flux solaire depuis 180 nm jusqu'au visible est encore toutefois non résolue quoique Heath (1976) ait annoncé qu'elle pourrait être de l'ordre de 20% à 300 nm et atteindre un facteur 2 à 200 nm (figure 8). De telles conclusions doivent cependant être considérées avec circonspection car le manque manifeste de données expérimentales suffisamment précises ne permet pas encore une analyse non équivoque des résultats d'observation obtenus sous différentes conditions d'activité solaire (figure 9).

### *III. CONCLUSIONS*

Cette brève description des mesures récentes du flux ultraviolet du soleil montre clairement que des désaccords trop importants apparaissent entre les diverses observations. Ils peuvent atteindre un facteur de l'ordre de 2 dans l'ultraviolet lointain ( $\lambda < 100$  nm), 40% dans certains intervalles spectraux entre 120 et 190 nm et diminuent jusqu'à 10% au-delà de 300 nm. Ces désaccords sont principalement liés aux problèmes des techniques instrumentales et des méthodes d'étalonnage qui diffèrent suivant les domaines spectraux considérés. De plus, il n'existe pas encore des observations suffisamment précises pendant de longues périodes qui permettent d'estimer avec certitude les variations en fonction de la longueur d'onde du rayonnement solaire en relation avec les différents types d'activité solaire. Un programme d'observation à long terme est donc nécessaire pour résoudre les incertitudes sur les valeurs du flux ultraviolet du soleil et sur sa variabilité. La navette spatiale (Spacelab) constitue à cet égard un outil idéal. En effet, outre le fait qu'elle permet de s'affranchir des absorptions atmosphériques dans tout l'ultraviolet elle offre la possibilité de vérifier les étalonnages des instruments après les observations ainsi que de réaliser en milieu spatial des étalonnages absolus des instruments embarqués, comme l'a d'ailleurs suggéré Schmidtke (1975) pour l'ultraviolet extrême. De plus, par suite de la répétition des vols de ce type de véhicule, il serait également possible d'améliorer d'une observation à l'autre les techniques instrumentales et les méthodes d'étalonnage. Enfin, la navette spatiale permettrait des

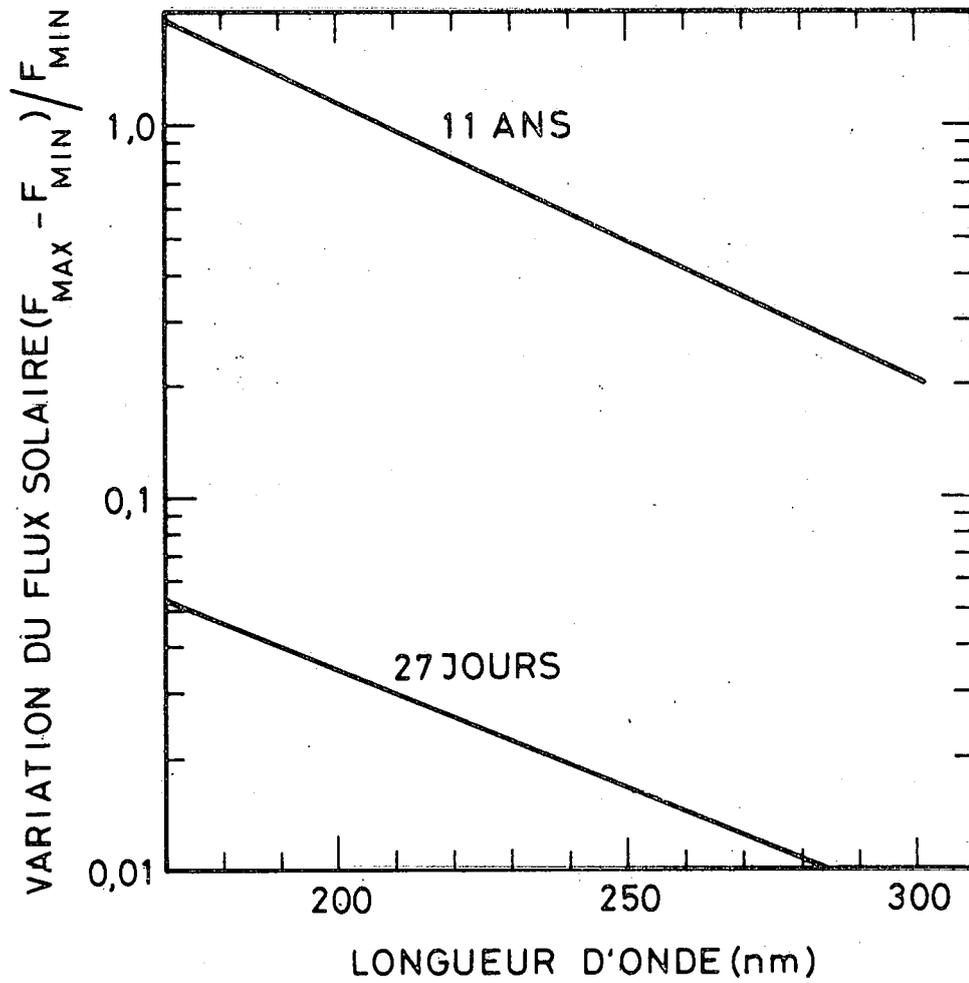


Fig. 8.- Variabilité du flux solaire pour les périodes de 27 jours et de 11 ans entre 170 et 300 nm (d'après Heath, 1976).

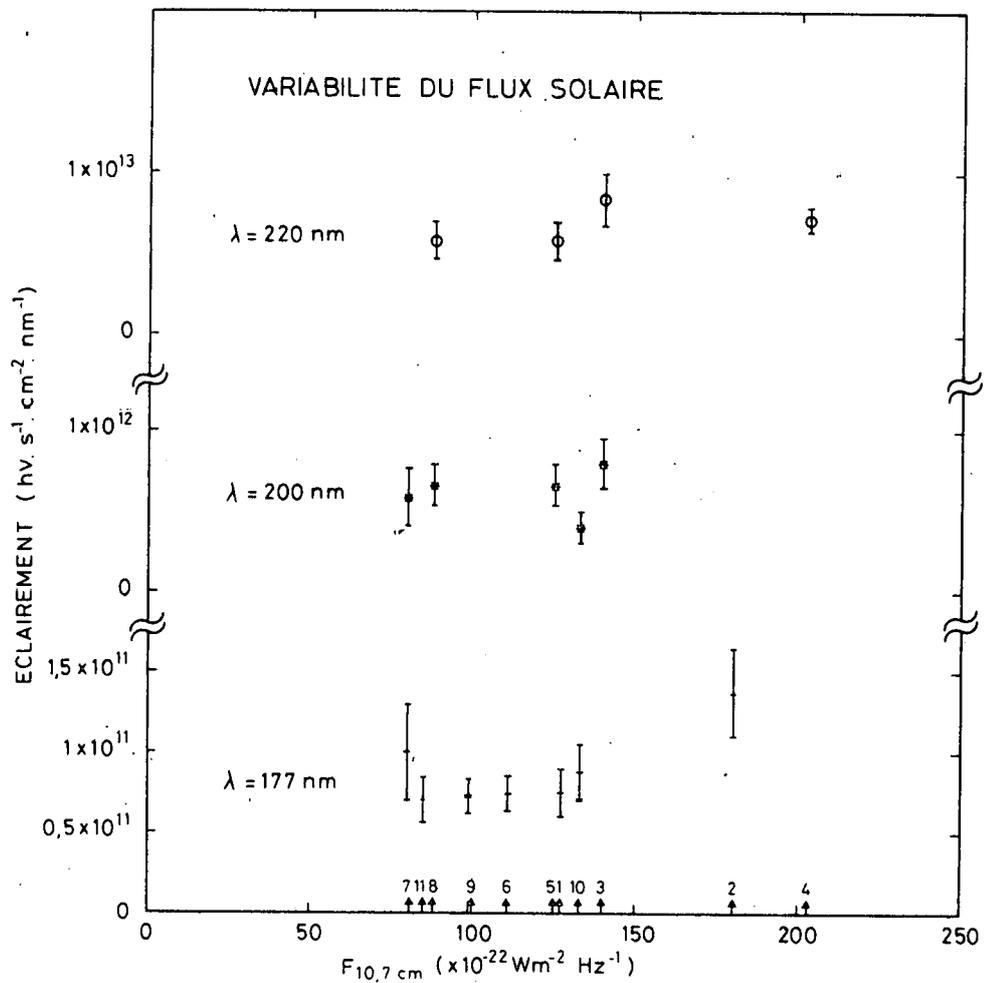


Fig. 9.- Comparaison du flux solaire à 177, 200 et 220 nm en fonction du flux à 10,7 cm. Les n<sup>o</sup> correspondent aux auteurs suivants : n<sup>o</sup> 1 et 2 Heath, 1976; n<sup>o</sup> 3 Ackerman et al., 1971; n<sup>o</sup> 4 Broadfoot, 1972; n<sup>o</sup> 5 et 8 Simon, 1974; n<sup>o</sup> 6 et 9 Rottman, 1974; n<sup>o</sup> 7 Samain et Simon, 1976; n<sup>o</sup> 10 Brueckner et al., 1976, n<sup>o</sup> 11 Heroux et Swirbalus, 1976.

mesures de comparaison avec des spectromètres plus légers, embarqués à bord de satellites, ce qui permettrait de juger les erreurs de mesures liées aux problèmes de vieillissement à long terme des instruments en milieu spatial. Les mesures de surveillance devraient être réalisées avec des spectromètres ayant une résolution comprise entre 0,1 et 1 nm sauf peut-être dans le domaine de longueurs d'onde correspondant aux bandes de Schumann-Runge de l'oxygène moléculaire où la résolution devrait être supérieure. Il faut noter que le MAPP (Middle Atmosphere Program Planning) conseille également des observations entre 215 et 305 nm avec une résolution de 0,01 nm. Ces données seraient utiles pour les mesures d'occultation. Le tableau I résume la situation actuelle concernant ces flux solaires entre 30 et 400 nm et présente les besoins immédiats pour l'aéronomie de l'atmosphère terrestre. D'autre part les mesures du flux solaire à partir de la navette spatiale pourraient être couplés avec des observations effectuées in situ en ballon stratosphérique afin de mesurer la pénétration du rayonnement solaire au sein de la stratosphère.

TABLEAU I.-

	Thermosphère Ionosphère	Ionosphère Thermosphère Haute mésosphère	Basse Thermosphère	Mésosphère Haute stratosphère	Stratosphère
Intervalle de longueur d'onde (nm)	30 - 120	Ly $\alpha$ (121,6)	120 - 175	175 - 240	240 - 350
Précision	$\pm 20$ à $\pm 50\%$	$\pm 30\%$	$\pm 15$ à $\pm 30\%$	$\pm 15$ à $\pm 30\%$	$\pm 10\%$
Désaccord	100%	50%	40%	40 à 25%	1 seule mesure de 230 à 285 nm
Précision demandée	10%	5%	4%	2%	1%
Variabilité 27 jours	100%	30%	15%	5 à 1%	< 1%
Variabilité 11 ans	100% ?	40 - 60%	100% ?	100% ?	50 à 20% ?

## REFERENCES

- ACKERMAN, M., *Canad. J. Chem.*, **52**, 1505, 1974.
- ACKERMAN, M. et P.C. SIMON, *Solar Phys.*, **30**, 345, 1973.
- ACKERMAN, M., D. FRIMOUT et R. PASTIELS, in Labuhn and Lüst (eds.), *New Techniques in Space Astronomy*, D. Reidel Publ. Company, Dordrecht, Pays-Bas, p251, 1971.
- ARVESEN, J.C., R.N. GRIFFIN et B.D. PEARSON, Jr., *Appl. Optics*, **8**, 2215, 1969.
- BONNET, R.M., *Ann. Geophys.*, à paraître, 1977.
- BROADFOOT, A.L., *Astrophys. J.*, **173**, 681, 1972.
- BRUECKNER, G.E., J.-D.F. BARTOE, O.K. MOE et M.R. VAN HOSIER, *Astrophys. J.*, **209**, 935, 1976.
- CARVER, J.M., B.H. HORTON, G.W.A. LOCKEY et B. ROFE, *Solar Phys.*, **27**, 347, 1972.
- DE LUISI, J.J., *J. Geophys. Res.*, **80**, 345, 1975.
- DETWILER, C.R., D.L. GARRETT, J.D. PURCELL et R. TOUSEY, *Ann. Geophys.*, **17**, 9, 1961.
- HALL, L.A. et H.E. HINTEREGGER, *J. Geophys. Res.*, **75**, 6959, 1970.
- HEATH, D.F., *J. Geophys. Res.*, **78**, 2779, 1973.
- HEATH, D.F., *International Symposium on Solar-Terrestrial Physics*, Boulder, June 1976.
- HEROUX, L. et R.A. SWIRBALUS, *J. Geophys. R.*, **81**, 436, 1976.
- HEROUX, L., M. COHEN et J.E. HIGGINS, *J. Geophys. R.*, **79**, 5237, 1974.
- HERZBERG, L., in Hines, Paghis, Hartz et Fejer (eds.), *Physics of the Earth's Upper Atmosphere*, Englewood Cliffs, N.Y., p. 31, 1965.
- HIGGINS, J.E., *J. Geophys. Res.*, **81**, 1301, 1976.
- HINTEREGGER, H.E., *Ann. Geophys.*, **26**, 547, 1970.
- HINTEREGGER, H.E., *J. Atm. Terr. Phys.*, **38**, 791, 1976.
- KOCKARTS, G., in B.M. McCormac (eds.), *Physics and Chemistry of Upper Atmospheres*. D. Reidel Publ. Company, Dordrecht, Pays-Bas, p. 54, 1973.
- LABS, D. et H. NECKEL, *Solar Phys.*, **15**, 79, 1970.
- NICOLET, M., *Planet. Space Sci.*, **18**, 1111, 1970.
- NICOLET, M., *Rev. Geophys. Space Phys.*, **13**, 593, 1975.
- NICOLET, M., à paraître, 1977.

- NISHI, K., *Solar Phys.*, 42, 37, 1975.
- ROBLE, R.G. et R.E. DICKINSON, *J. Geophys. Res.*, 78, 249, 1973.
- ROTTMAN, G.L., *Trans. Am. Geophys. Union*, 56, 1157., 1974.
- SAMAIN, D. et P.C. SIMON, *Solar Phys.*, 49, 33, 1976.
- SCHMIDTKE, G., XVIIIe réunion du COSPAR, Varna, Mai-juin 1975.
- SCHMIDTKE, G., *Geophys. Res. Let.*, 3, 573, 1976.
- SIMON, P.C., in Broderick and Hard (eds.), *Proceedings of the Third Conference on the Climatic Impact Assessment Programs*. DOT-TSC-OST 74-14, p. 137, 1974.
- SIMON, P.C., *Bull. Acad. Roy. Belgique, Cl. Sci.*, 61, 399, 1975.
- STOLARSKI, R.S., *J. Atm. Phys.*, 38, 863, 1976.
- SWARTZ, W.E. et J.G. NISBET, *J. Geophys. Res.*, 78, 5641, 1970.
- THEKAEKARA, M.P., *Appl. Optics*, 13, 518, 1974.
- TIMOTHY, J.G. in *The solar output and its variation*, sous presse, 1976.
- TIMOTHY, A.F., J.G. TIMOTHY, A.P. WILLMORE et J.H. WAGER, *J. Atm. Terr. Phys.*, 34, 969, 1972.
- VIDAL MADJAR, A., in *The solar output and its variation*, sous presse, 1976.

- 111 - ACKERMAN, M. and P. SIMON, Rocket measurement of solar fluxes at 1216 Å, 1450 Å and 1710 Å, 1972.
- 112 - CIESLIK, S. and M. NICOLET, The aeronomic dissociation of nitric oxide, 1973.
- 113 - BRASSEUR, G. and M. NICOLET, Chemospheric processes of nitric oxide in the mesosphere and stratosphere, 1973.
- 114 - CIESLIK, S. et C. MULLER, Absorption raie par raie dans la bande fondamentale infrarouge du monoxyde d'azote, 1973.
- 115 - LEMAIRE, J. and M. SCHERER, Kinetic models of the solar and polar winds, 1973.
- 116 - NICOLET, M., La biosphère au service de l'atmosphère, 1973.
- 117 - BIAUME, F., Nitric acid vapor absorption cross section spectrum and its photodissociation in the stratosphere, 1973.
- 118 - BRASSEUR, G., Chemical kinetic in the stratosphere, 1973.
- 119 - KOCKARTS, G., Helium in the terrestrial atmosphere, 1973.
- 120 - ACKERMAN, M., J.C. FONTANELLA, D. FRIMOUT, A. GIRARD, L. GRAMONT, N. LOUISNARD, C. MULLER and D. NEVEJANS, Recent stratospheric spectra of NO and NO<sub>2</sub>, 1973.
- 121 - NICOLET, M., An overview of aeronomic processes in the stratosphere and mesosphere, 1973.
- 122 - LEMAIRE, J., The "Roche-Limit" of ionospheric plasma and the formation of the plasmopause, 1973.
- 123 - SIMON, P., Balloon measurements of solar fluxes between 1960 Å and 2300 Å, 1974.
- 124 - ARIJS, E., Effusion of ions through small holes, 1974.
- 125 - NICOLET, M., Aéronomie, 1974.
- 126 - SIMON, P., Observation de l'absorption du rayonnement ultraviolet solaire par ballons stratosphériques, 1974.
- 127 - VERCHEVAL, J., Contribution à l'étude de l'atmosphère terrestre supérieure à partir de l'analyse orbitale des satellites, 1973.
- 128 - LEMAIRE, J. and M. SCHERER, Exospheric models of the topside ionosphere, 1974.
- 129 - ACKERMAN, M., Stratospheric water vapor from high resolution infrared spectra, 1974.
- 130 - ROTH, M., Generalized invariant for a charged particle interacting with a linearly polarized hydromagnetic plane wave, 1974.
- 131 - BOLIN, R.C., D. FRIMOUT and C.F. LILLIE, Absolute flux measurements in the rocket ultraviolet, 1974.
- 132 - MAIGNAN, M. et C. MULLER, Méthodes de calcul de spectres stratosphériques d'absorption infrarouge, 1974.
- 133 - ACKERMAN, M., J.C. FONTANELLA, D. FRIMOUT, A. GIRARD, N. LOUISNARD and C. MULLER, Simultaneous measurements of NO and NO<sub>2</sub> in the stratosphere, 1974.
- 134 - NICOLET, M., On the production of nitric oxide by cosmic rays in the mesosphere and stratosphere, 1974.
- 135 - LEMAIRE, J. and M. SCHERER, Ionosphere-plasmasheet field aligned currents and parallel electric fields, 1974.
- 136 - ACKERMAN, M., P. SIMON, U. von ZAHN and U. LAUX, Simultaneous upper air composition measurements by means of UV monochromator and mass spectrometer, 1974.
- 137 - KOCKARTS, G., Neutral atmosphere modeling, 1974.
- 138 - BARLIER, F., P. BAUER, C. JAECK, G. THUILLIER and G. KOCKARTS, North-South asymmetries in the thermosphere during the last maximum of the solar cycle, 1974.
- 139 - ROTH, M., The effects of field aligned ionization models on the electron densities and total flux tubes contents deduced by the method of whistler analysis, 1974.
- 140 - DA MATA, L., La transition de l'homosphère à l'hétérosphère de l'atmosphère terrestre, 1974.
- 141 - LEMAIRE, J. and R.J. HOCH, Stable auroral red arcs and their importance for the physics of the plasmopause region, 1975.
- 142 - ACKERMAN, M., NO, NO<sub>2</sub> and HNO<sub>3</sub> below 35 km in the atmosphere, 1975.
- 143 - LEMAIRE, J., The mechanisms of formation of the plasmopause, 1975.
- 144 - SCIALOM, G., C. TAIEB and G. KOCKARTS, Daytime valley in the F1 region observed by incoherent scatter, 1975.
- 145 - SIMON, P., Nouvelles mesures de l'ultraviolet solaire dans la stratosphère, 1975.
- 146 - BRASSEUR, G. et M. BERTIN, Un modèle bi-dimensionnel de la stratosphère, 1975.

- 147 - LEMAIRE, J. et M. SCHERER, Contribution à l'étude des ions dans l'ionosphère polaire, 1975.
- 148 - DEBEHOGNE, H. et E. VAN HEMELRIJCK, Etude par étoiles-tests de la réduction des clichés pris au moyen de la caméra de triangulation IAS, 1975.
- 149 - DEBEHOGNE, H. et E. VAN HEMELRIJCK, Méthode des moindres carrés appliquée à la réduction des clichés astrométriques, 1975.
- 150 - DEBEHOGNE, H. et E. VAN HEMELRIJCK, Contribution au problème de l'aberration différentielle, 1975.
- 151 - MULLER, C. and A.J. SAUVAL, The CO fundamental bands in the solar spectrum, 1975.
- 152 - VERCHEVAL, J., Un effet géomagnétique dans la thermosphère moyenne, 1975.
- 153 - AMAYENC, P., D. ALCAYDE and G. KOCKARTS, Solar extreme ultraviolet heating and dynamical processes in the mid-latitude thermosphere, 1975.
- 154 - ARIJS, E. and D. NEVEJANS, A programmable control unit for a balloon borne quadrupole mass spectrometer, 1975.
- 155 - VERCHEVAL, J., Variations of exospheric temperature and atmospheric composition between 150 and 1100 km in relation to the semi-annual effect, 1975.
- 156 - NICOLET, M., Stratospheric Ozone : An introduction to its study, 1975.
- 157 - WEILL, G., J. CHRISTOPHE, C. LIPPENS, M. ACKERMAN and Y. SAHAI, Stratospheric balloon observations of the southern intertropical arc of airglow in the southern american aera, 1976.
- 158 - ACKERMAN, M., D. FRIMOUT, M. GOTTIGNIES, C. MULLER, Stratospheric HCl from infrared spectra, 1976.
- 159 - NICOLET, M., Conscience scientifique face à l'environnement atmosphérique, 1976.
- 160 - KOCKARTS, G., Absorption and photodissociation in the Schumann-Runge bands of molecular oxygen in the terrestrial atmosphere, 1976.
- 161 - LEMAIRE, J., Steady state plasmopause positions deduced from McIlwain's electric field models, 1976.
- 162 - ROTH, M., The plasmopause as a plasma sheath : A minimum thickness, 1976.
- 163 - FRIMOUT, D., C. LIPPENS, P.C. SIMON, E. VAN HEMELRIJCK, E. VAN RANSBEECK et A. REHRI, Lâchers de monoxyde d'azote entre 80 et 105 km d'altitude. Description des charges utiles et des moyens d'observation, 1976.
- 164 - LEMAIRE, J. and L.F. BURLAGA, Diamagnetic boundary layers : a kinetic theory, 1976.
- 165 - TURNER, J.M., L.F. BURLAGA, N.F. NESS and J. LEMAIRE, Magnetic holes in the solar wind, 1976.
- 166 - LEMAIRE, J. and M. ROTH, Penetration of solar wind plasma elements into the magnetosphere, 1976.
- 167 - VAN HEMELRIJCK, E. et H. DEBEHOGNE, Réduction de clichés de champs stellaires pris par télévision avec intensificateur d'image, 1976.
- 168 - BRASSEUR, G. and J. LEMAIRE, Fitting of hydrodynamic and kinetic solar wind models, 1976.
- 169 - LEMAIRE, J. and M. SCHERER, Field aligned distribution of plasma mantle and ionospheric plasmas, 1976.
- 170 - ROTH, M., Structure of tangential discontinuities at the magnetopause : the nose of the magnetopause, 1976.
- 171 - DEBEHOGNE, H., C. LIPPENS, E. VAN HEMELRIJCK et E. VAN RANSBEECK, La caméra de triangulation de l'IAS, 1976.
- 172 - LEMAIRE, J., Rotating ion-exospheres, 1976.
- 173 - BRASSEUR, G., L'action des oxydes d'azote sur l'ozone dans la stratosphère, 1976.
- 174 - MULLER, C., Détermination de l'abondance de constituants minoritaires de la stratosphère par spectrométrie d'absorption infrarouge, 1976.
- 175 - VANCLOOSTER, R., First and second order approximation of the first adiabatic invariant for a charged particle interacting with a linearly polarized hydromagnetic plane wave, 1976.
- 176 - VERCHEVAL, J., Détermination des conditions de lancement de Spacelab en vue de rencontrer les exigences d'un projet d'expérience par spectrométrie d'absorption, 1977.
- 177 - LEMAIRE, J., Impulsive penetration of filamentary plasma elements into the magnetospheres of the Earth and Jupiter, 1977.
- 178 - SIMON, P.C. and D. SAMAIN, Solar flux determination in the spectral range 150-210 nm, 1977.