

Mesure de l'absorption stratosphérique du rayonnement solaire de 3,05 à 3,70 microns

par M. ACKERMAN et D. FRIMOUT (*)
Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique

Abstract. — Solar spectra have been recorded from 3.05 to 3.70 μm by means of a balloon borne monochromator at an altitude of 35 km and for solar zenith distances from 75° to 95°. Absorptions due to CH₄ and H₂O are identified as well as O₃ bands observed for the first time in the atmosphere.

Upper limits for the stratospheric mixing ratios of NO₂ and HCHO are deduced.

1. INTRODUCTION

La mesure de l'absorption du rayonnement infrarouge solaire peut être considérée comme un des moyens adéquats d'analyse des constituants minoritaires de l'atmosphère [1]. Elle est évidemment limitée au niveau du sol par l'absorption presque complète dans certains domaines de longueur d'onde et par l'impossibilité de l'appliquer aux très grandes distances zénithales du soleil par suite de la pollution des couches basses de l'atmosphère. Les observations effectuées à l'aide d'instruments automatiques emportés par ballon permettent d'avoir accès à des domaines de longueurs d'onde beaucoup plus étendus et à des épaisseurs optiques maximales. Dans ces conditions, il est possible de mettre en évidence des constituants atmosphériques très peu abondants ou présentant une absorption relativement faible [2].

Nous décrivons dans cette note les résultats obtenus par l'enregistrement entre 3,05 et 3,70 microns du spectre du soleil couchant à

(*) Présentés par M. M. NICOLET.

des distances zénithales comprises entre 75° et 95° , au moyen d'un monochromateur pointé automatiquement vers le soleil à partir d'une nacelle stratosphérique qui a plafonné à 35 km d'altitude.

2. TECHNIQUE EXPÉRIMENTALE

L'instrument qui sera décrit en détail ailleurs [3] consiste en un monochromateur Fastie-Ebert de 40 cm de distance focale équipé d'un réseau Bausch and Lomb, de 64×64 mm de surface gravée de 300 traits par mm, renforcé à 3 microns et utilisés dans le premier ordre. Le détecteur au sélénure de plomb est connecté à un préamplificateur suivi de trois amplificateurs dont les gains sont adaptés au système de télémessure. L'image du soleil, d'un diamètre de 0,9 mm est envoyée au moyen d'une lentille en As_2S_3 sur la fente d'entrée horizontale d'une largeur de 0,3 mm qui délimite un angle de 10 minutes d'arc. Le faisceau lumineux est modulé à 400 herz au moyen d'un diapason entretenu par un oscillateur.

La pivotation du réseau est engendrée par une came au moyen d'un moteur électrique. Ce dernier entraîne simultanément un disque ajouré qui, pendant le retour de la came, fait intercepter le faisceau lumineux par un filtre transparent de 0,4 à $2,9 \mu\text{m}$ afin de définir le zéro optique.

Le monochromateur est solidaire d'une plateforme stabilisée fabriquée par la Compagnie des Compteurs à Montrouge. La précision du pointage au cours de cette expérience était meilleure que 30 secondes d'arc. Le poids total de la nacelle était de 180 kgs. Le lancement a été effectué au Centre National d'Études Spatiales français à Aire sur l'Adour (Landes), le 24 avril 1969. Une vingtaine de spectres ont été enregistrés au sol pendant deux heures à l'altitude de 35 km.

3. RÉSULTATS

Les spectres obtenus à des distances zénithales, χ , comprises entre 75° et 85° sont tous identiques au bruit de fond près. Des absorptions à la longueur d'onde de $3,3 \mu\text{m}$ apparaissent distinctement à la distance zénithale $\chi = 88^\circ$. Les figures 1, 2 et 3 représentent le dernier spectre complet obtenu avant l'occultation, le monochromateur enregistrant

la longueur d'onde $3,3 \mu\text{m}$ à $\chi = 94^{\circ}10'$. Dans ces conditions, les rayons solaires atteignant le récepteur infrarouge passent par une altitude minimum $h_{\text{min}} = 16 \text{ km}$ à une distance horizontale de la nacelle de 470 km . A une telle distance, la résolution spatiale liée à l'optique utilisée est de l'ordre du kilomètre. Dans les figures 1, 2 et 3, le signal produit par le détecteur est porté en ordonnée en unités arbitraires. Les valeurs de χ en degré et de h_{min} en kilomètres indiquées à la partie supérieure des figures ont été déduites de l'altitude du ballon et des données reprises des tables de Lugeon [4]. Le spectre obtenu à $\chi = 85^{\circ}$, le monochromateur enregistrant la longueur d'onde à $3,3 \mu\text{m}$ est représenté en pointillé. Les diminutions d'intensité par rapport à ce spectre peuvent être considérées comme des absorptions atmosphériques à l'exclusion de tout effet de pollution liée au dégazage du ballon ou d'instrumentation.

4. DISCUSSION

La région spectrale s'étendant de $3,05$ à $3,3 \mu\text{m}$ (Fig. 1) est caractérisée par des absorptions dues à la vapeur d'eau, au méthane et à l'ozone. La bande de 0_3 à $3\,042 \text{ cm}^{-1}$, qui est détectée ici pour la première fois dans l'atmosphère, a été observée depuis longtemps au laboratoire [5]. Son maximum d'absorption apparaît à $3,274 \mu\text{m}$ et on doit s'attendre à ce que cette absorption s'étende avec une faible intensité de $3,4$ à $3,15 \mu\text{m}$ avant de rejoindre la bande à 3181 cm^{-1} . Une absorption sous-jacente intensifie donc l'absorption de la branche R de la bande de 3020 cm^{-1} de CH_4 dont de nombreux éléments sont identifiables à la figure 1. On s'attend à ce qu'une faible absorption due à la vapeur d'eau se manifeste également dans ce domaine spectral car on reconnaît aisément à $3,106$ et à $3,130 \mu\text{m}$ deux maxima d'absorption de la bande $2\nu_2$ de H_2O centrée à $3,17 \mu\text{m}$ pour lesquels on peut admettre des intensités non modifiées par l'absorption d'un autre constituant.

De $3,30$ à $3,50 \mu\text{m}$ les branches Q et P de la bande de 3020 cm^{-1} de CH_4 apparaissent sans ambiguïté à la figure 2. On note que l'intensité des composantes 11 et 12 de la branche P est anormalement grande; ainsi on est conduit à admettre la présence à cet endroit du spectre d'une absorption très localisée due à un autre constituant. Ce caractère particulier en même temps que les longueurs d'onde correspondent

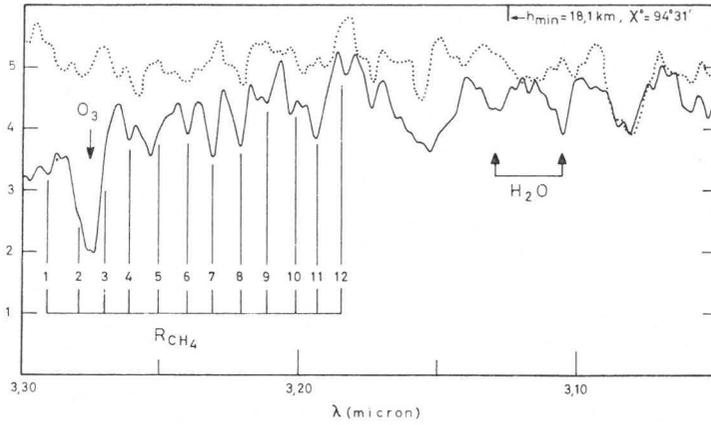


FIG. 1. — Branche R du méthane avec superposition d'une bande de l'ozone.

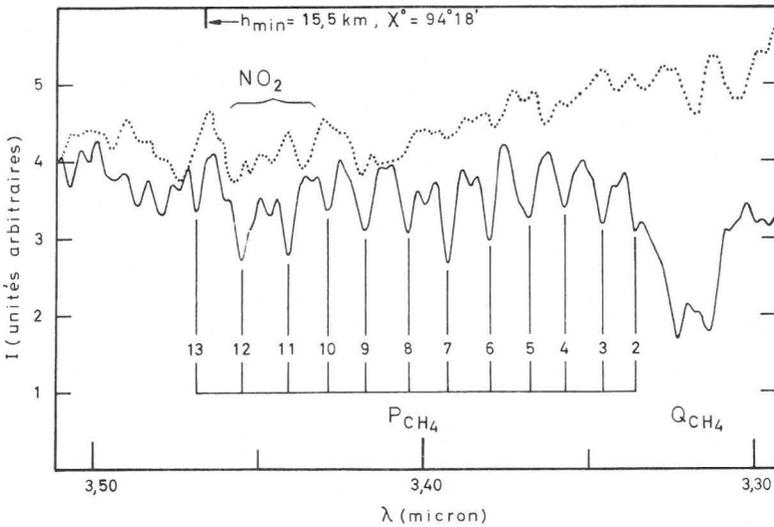


FIG. 2. — Branche Q et P du méthane avec superposition du peroxide d'azote.

aux branches P et R de la bande $1 - 0 - 1$ de NO_2 qui devraient apparaître très étroites aux basses températures stratosphériques comme on peut le vérifier à l'aide des données de Olman et Hause [6]. La seule étude quantitative de l'absorption de NO_2 au laboratoire est celle de Pierson, Fletcher et St Clair Gantz [7]. Bien que celle-ci ait été effectuée à haute pression et à température normale, elle permet toutefois de fixer une limite supérieure à la quantité totale de NO_2 sur le trajet optique. Celle-ci impliquerait pour NO_2 un rapport de mélange compris entre 1 et 3×10^{-8} au moment et à l'endroit des mesures. La formation de NO_2 dans la stratosphère est due à la réaction de l'oxyde azotique avec l'ozone [8]; NO_2 à son tour peut réagir avec l'eau oxygénée suivant le processus [9].



pour former l'acide nitrique qui a d'ailleurs été observé récemment dans la stratosphère [10].

Une absorption due à O_3 et non encore mise en évidence dans l'atmosphère apparaît à la figure 3. Elle est due à la bande de 2779 cm^{-1} de O_3 connue au laboratoire [5]. L'absorption intégrée mesurée sur ce spectre comparée à des données expérimentales de laboratoire [11] conduit à une quantité totale de O_3 sur le trajet optique égale à $4,5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-2}$. Celle-ci peut être ramenée à la quantité correspondant à une distance zénithale nulle de $4,5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-2}$ en utilisant pour une hauteur d'échelle de 4 km les valeurs d'épaisseurs optiques données par Swider [12]. Étant donné que la hauteur d'échelle de O_3 au-dessus de l'altitude h_{min} considérée dans ce cas est essentiellement variable la valeur obtenue peut être considérée comme étant en bon accord avec les valeurs couramment mesurées par d'autres méthodes.

Enfin, l'absorption centrée sur $3,65 \mu\text{m}$ n'a pu être identifiée. La longueur d'onde correspond à la bande classiquement liée à la vibration de « stretching » du groupe $\text{H} - \text{C} = \text{O}$ des aldéhydes. En envisageant la formaldéhyde, dont la présence a déjà été observée dans la pluie [13], des données de Pierson et coll. permettent dans ce cas également d'évaluer une limite supérieure de la concentration de ce composé lié à la chimie de l'oxydation du méthane. Elle serait de l'ordre de 5 à 10×10^{-10} au moment et à l'endroit des mesures.

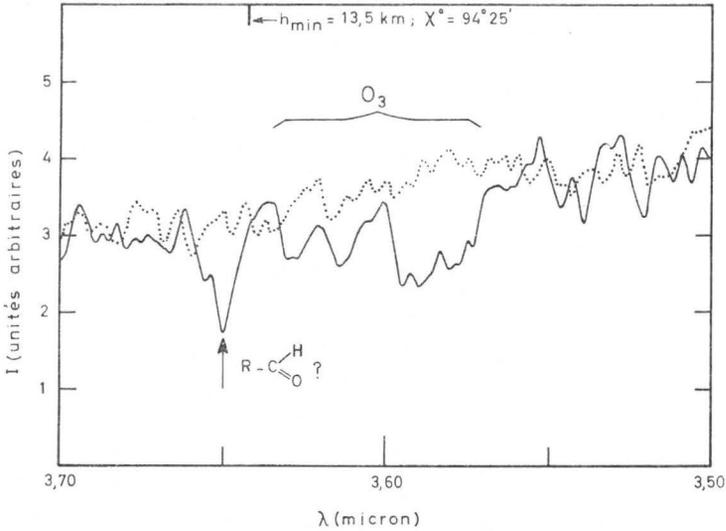


FIG. 3. — Absorption de l'ozone et d'un constituant pouvant être le formaldéhyde.

5. CONCLUSION

Si la réalisation de cette expérience a indiqué l'intérêt que présente l'étude par ballon de l'absorption atmosphérique du rayonnement solaire à de grandes distances zénithales, elle a surtout permis de mettre en évidence la présence de bandes d'absorption qui n'étaient pas encore connues dans les spectres atmosphériques. De plus, ce travail montre également la nécessité d'effectuer au laboratoire des mesures d'absorption aux pressions et températures adéquates pour un grand nombre de composés auxquels on peut attribuer éventuellement un rôle aéronomique.

Nous remercions le Professeur Nicolet pour l'intérêt qu'il a manifesté à ce travail et pour l'aide qu'il nous a apportée.

REFERENCES

- [1] J. N. HOWARD and J. S. GARING, *Infr. Phys.*, **2**, 155 (1962).
- [2] M. ACKERMAN, *Aeronomica Acta B* n° 1, Bruxelles (1963).
- [3] M. ACKERMAN et D. FRIMOUT, à paraître.
- [4] J. LUGEON, Tables Crépusculaires. *Académie polonaise des Sciences*, 2° éd., Varsovie (1957).
- [5] G. HETTNER, R. POHLMAN et H. J. SCHUMACKER, *Z. Physik*, **91**, 372 (1934).
- [6] M. D. OLMAN et C. D. HAUSE, *J. Mol. Spectry.*, **26**, 241 (1968).
- [7] R. H. PIERSON, A. N. FLETCHER et E. St CLAIR GANTZ, *Analyt. Chem.*, **28**, 1218 (1956).
- [8] M. NICOLET, *J. Atm. Terr. Phys.*, **7**, 297 (1955).
- [9] M. NICOLET, *Ann. Géophys.*, **25** (1970).
- [10] D. G. MURCRAY, T. G. KYLE, F. M. MURCRAY et W. J. WILLIAMS, *Nature*, **218**, 78 (1968).
- [11] D. J. MCCAA et J. H. SHAW, Scientific Report No 2, Contract N° AF 19 (628)-3806, A.F.C.R.L. Bedford-Mass. USA (1967).
- [12] W. SWIDER, *Planet. Space Sci.*, **12**, 761 (1964).
- [13] N. R. DHAR et A. RAM, *J. Indian Chem. Soc.*, **10**, 287 (1939).