

AÉRONOMIE. — *Photométrie simultanée à deux niveaux de 21 et 6 mb du ciel crépusculaire.* Note (*) de MM. **MICHEL FEHRENBACH**, **DIRK FRIMOUT**, **FRANTIŠEK LINK**, **CARLOS LIPPENS** et **GILBERT WEILL**, transmise par M. Jean-Claude Pecker.

Les mesures photométriques simultanées du ciel crépusculaire effectuées à deux niveaux différents permettent, d'une part, d'obtenir le rapport de la composante basse et élevée et, d'autre part, de déceler la présence d'aérosols dans la haute atmosphère.

Toute mesure du ciel crépusculaire se rapporte à un mélange de la lumière diffusée dans la haute atmosphère encore directement éclairée par le Soleil et de celle diffusée dans la basse atmosphère plongée déjà dans l'ombre et éclairée principalement par le ciel crépusculaire au couchant.

Seule la première composante nous intéresse dans l'exploration de la haute atmosphère et la seconde composante constitue, en quelque sorte, la lumière parasite dont il faut tenir compte ou s'en débarrasser, ce qui n'est pas toujours facile. Pour séparer les deux composantes, différentes méthodes peuvent être utilisées dont les plus efficaces paraissent être la variation de l'altitude du point d'observation et la variation de l'azimut de la direction d'observation ⁽¹⁾.

Dans la présente Note, nous donnerons les résultats obtenus par ces deux méthodes d'après les mesures effectuées à deux niveaux de 27 et 35 km correspondants aux pressions de 21 et 6 mb.

On s'est servi des nacelles photométriques de la campagne MOAM-1 ⁽²⁾, lancées au Centre de Lancement de ballons du C. N. E. S. à Gap-Tallard, le 24 juin 1971 au soir. Les mesures simultanées du crépuscule permettent d'éviter les objections relatives à la comparabilité des mesures en relation avec les variations de la nébulosité troposphérique ou de la contamination par les aérosols météoriques.

On a ainsi obtenu les courbes crépusculaires qui donnent pour les deux vols la luminance du ciel crépusculaire exprimée en unités de 10^{-14} de la luminance moyenne solaire dans l'intervalle des dépressions de 8° à 15° . Un extrait des mesures pendant la phase intéressante du crépuscule des données dans le tableau I, où l'angle U représente la dépression solaire.

On peut alors écrire la luminance observée b comme la somme de la composante élevée R et de la composante basse r , c'est-à-dire

$$b = R + r.$$

Ce qui donne pour les différences entre les deux vols :

$$(1) \quad \begin{cases} \Delta = b_B - b_H = R_B - R_H + r_B - r_H & \text{dans la direction du Soleil,} \\ \Delta' = b'_B - b'_H = R'_B - R'_H + r'_B - r'_H & \text{à l'opposé du Soleil.} \end{cases}$$

Pour des raisons géométriques évidentes on a

$$R_{\text{B}} - R_{\text{H}} > 0 > R'_{\text{B}} - R'_{\text{H}}$$

et comme $r_{\text{B}} - r_{\text{H}} \approx r'_{\text{B}} - r'_{\text{H}}$ on aura aussi $\Delta > \Delta'$ ce qui effectivement a lieu d'après le tableau ci-dessous.

Autrement dit, tant que la dernière inégalité se manifeste clairement parmi les nombres du tableau I, la participation de la composante élevée à la luminance observée n'est pas négligeable. Ce n'est qu'à la fin, quand $\Delta = \Delta'$, que la composante basse devient absolument prépondérante dans les limites de précision de nos mesures.

TABLEAU I

Luminances crépusculaires observées à 30° du zénith en vert 5100 Å

a : azimut de la visée par rapport au Soleil

U.....	8,3°	8,5°	9,0°	9,5°	9,9°	
Vol bas (21 mb, 27 km) {	$a = 0^\circ \dots\dots$	747	545	232	113	80
	$a = 180^\circ \dots\dots$	410	313	156	95	71
Vol haut (6 mb, 35 km) {	$a = 0^\circ \dots\dots$	545	367	123	52	37
	$a = 180^\circ \dots\dots$	263	161	70	44	31
Δ :	$a = 0^\circ \dots\dots$	202	178	109	61	41
Δ' :	$a = 180^\circ \dots\dots$	147	152	86	51	40

Les profils azimuthaux permettent de pousser plus loin notre analyse. On peut écrire pour le profil azimuthal :

$$(2) \quad b(a) = R(0) F(a) + r(0) f(a),$$

où les fonctions $F(a)$ et $f(a)$ définissent en valeur relative les profils azimuthaux des composantes R et r dont les valeurs $R(0)$ et $r(0)$ pour $a = 0^\circ$ sont à déterminer. Il faut donc obtenir à partir des bases plausibles les fonctions $F(a)$ et $f(a)$.

Pour la fonction $F(a)$ nous ferons appel à la théorie de la diffusion primaire qui donne ses valeurs dans l'atmosphère de Rayleigh⁽³⁾ et qui restent valables avec une bonne approximation dans l'atmosphère réelle. Quant à la fonction $f(a)$, on arrive à fixer sa forme à partir de la scène simplifiée du crépuscule. La ligne de visée juste au-dessus du ballon est éclairée par le ciel crépusculaire lointain qui sera assimilé à une plage lumineuse de faibles dimensions située dans l'azimut du Soleil ($a = 0^\circ$) et à faible hauteur α au-dessus de l'horizon. Cette plage éclaire alors la masse d'air M le long de la ligne de visée et la valeur de cet éclairement E est peu variable avec l'azimut. La composante multiple r sera donc, d'après la loi de Rayleigh-Cabannes :

$$(3) \quad r = \text{Cte EM} (1 + 0,92 \cos^2 \gamma),$$

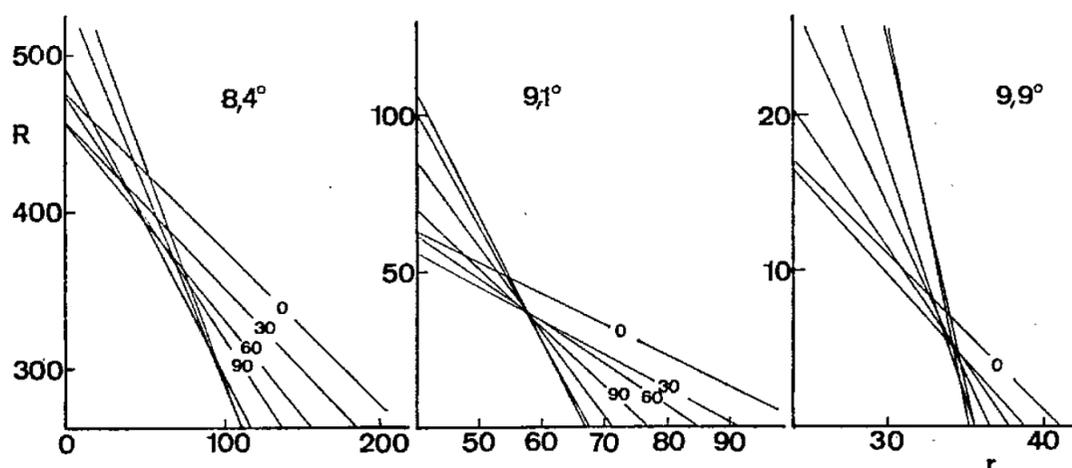
où l'angle de diffusion γ est défini dans le triangle sphérique plage $(0, \alpha)$ -direction de visée (a, ζ) -zénith :

$$(4) \quad \cos \gamma = \sin \alpha \cos \zeta + \cos \alpha \sin \zeta \cos (a).$$

La fonction du profil $f(a)$ sera donc :

$$(5) \quad f(a) = \frac{r(a)}{r(0)} = \frac{1 + 0,92 \cos^2 \gamma}{1 + 0,92 \sin^2 (\alpha + \zeta)}.$$

Sur un profil donné ($U = 9,1^\circ$) du vol haut (6 mb) nous avons donc déterminé les valeurs de $b(a)$ dans les sept azimuts $a = 0, 30, 60, \dots, 150$ et 180° , qui fournissent les sept équations de la forme (2) où $R(0)$ et $r(0)$ figurent comme inconnues. La solution graphique dans le plan des coor-



Différentes solutions graphiques de l'équation (2) pour les dépressions $U = 8,4, 9,1$ et $9,9^\circ$.
Les cotes des droites indiquent les azimuts a .

données rectangulaires R et r donne sept droites qui, suivant le choix de l'angle α convergent plus ou moins bien vers le point $R(0), r(0)$. Par des essais systématiques nous avons choisi $\alpha = 1^\circ$ qui donne la meilleure convergence au point $R(0) = 37$ et $r(0) = 58$ à condition toutefois de ne pas tenir compte de la première droite pour $a = 0^\circ$. Pour que la première équation

$$(6) \quad 103 = 37 F(0) + 58 f(0)$$

soit satisfaite, il faudrait que $F(0) > 1$ ou $f(0) > 1$.

Cette anomalie signale la présence des aérosols dont l'indicatrice de diffusion est généralement allongée par rapport à celle de Rayleigh dans le sens de la propagation de la lumière, c'est-à-dire pour $a \rightarrow 0^\circ$.

Pour se décider entre les deux possibilités ci-dessus, nous avons traité de la même façon les profils à $U = 8,4$ et $9,9^\circ$.

Dans le premier cas la composante haute doit être prépondérante. Si donc l'anomalie vers $a = 0^\circ$ prend naissance dans la haute atmosphère, elle doit renforcée à $8,4^\circ$ et affaiblie à $9,9^\circ$ par rapport à son apparence à $9,1^\circ$.

Si au contraire son origine était à chercher dans la basse atmosphère, l'anomalie devrait augmenter avec la dépression croissante.

D'après la figure c'est la première explication qui doit être retenue. Cette explication est en plus corroborée par le fait que, pendant le vol bas à $U = 8,45^\circ$, l'anomalie est à peine indiquée alors qu'elle est très forte au même moment pendant le vol haut.

De cette façon nous avons obtenu les valeurs suivantes des composantes $R(0)$ et $r(0)$:

TABLEAU II

Composantes de la luminance crépusculaire à 30° du zénith dans la direction du Soleil ($\alpha = 0^\circ$) en unités 10^{-14} de la luminance solaire pour $\lambda = 5100 \text{ \AA}$

	U.....	8,4°	9,1°	9,9°
Vol bas (21 mb, 27 km)	{ R.....	350	50	—
	{ r.....	250	135	—
Vol haut (6 mb, 35 km)	{ R.....	300	37	5
	{ r.....	100	57	35

En conclusion, il apparaît donc que pendant la phase moyenne du crépuscule ($U = 9^\circ$), quand les régions au-dessus de 80 km de la haute atmosphère sont directement éclairées par le Soleil, les composantes basses et élevées de la lumière diffusée sont du même ordre de grandeur et que la présence des aérosols dans ces régions ressort clairement de nos mesures.

(*) Séance du 10 juillet 1972.

(1) F. LINK, *Atti della Fondazione G. Ronchi*, 24, 1970, p. 671.

(2) M. FEHRENBACH, D. FRIMOUT, F. LINK et C. LIPPENS, *Comptes rendus*, 272, série B, 1971, p. 913.

(3) F. LINK et G. WEILL, *Ann. Géophys.* (sous presse).

*Institut d'Astrophysique,
98 bis, boulevard Arago,
75014 Paris*

et

*Institut d'Aéronomie Spatiale
de Belgique,
3, avenue Circulaire, Bruxelles,
Belgique.*