# Évolution de l'extinction atmospherique à La Silla

Autor(en): **Rufener, F.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **44 (1986)**

Heft 215

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-899147

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

**Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

**http://www.e-periodica.ch**

# Evolution de l'extinction atmosphérique à La Silla

F. RUFENER

## 1. Introduction

Les observations destinées à la photométrie photoélectrique en sept couleurs de l'Observatoire de Genève sont conduites de manière très systématique et avec des équipements définissant les bandes passantes de façon précise et stable. Depuis bientôt dix ans, les observateurs genevois ont eu la chance d'utiliser en permanence un petit télescope installé à La Silla au sein de l'ESO (European Southern Observatory, 2400 m d'altitude, latitude -29°). Ces circonstances ont permis d'accomplir plusieurs programmes que nous avons déjà présentés ici (Orion, no 156, 1976). Rétrospectivement, cette suite d'observations a été réexaminée en vue d'en extraire une appréciation précise de l'extinction atmosphérique pour chaque bande passante et son évolution au cours du temps. En fait, pour environ quatre nuits sur cinq nous ne mesurons pas la valeur de l'extinction atmosphérique et pour la réduction hors de l'atmosphère des mesures nous n'utilisons alors que des valeurs moyennes de celle-ci. En simplifiant le problème, on peut résumer le calcul des magnitudes hors atmosphère par la formule suivante:

$$m_{o,\lambda} = m_{z,\lambda} - k_\lambda F_z + C_\lambda \qquad (1)$$

où $m_{o,\lambda}$ : magnitude réduite hors de l'atmosphère pour la longueur d'onde moyenne $\lambda$.

$m_{z,\lambda}$ : magnitude pour la même longueur d'onde mesurée au sol.

$k_\lambda$ : coefficient d'extinction atmosphérique par unité de masse d'air.

$F_z$ : masse d'air exprimée en nombre d'épaisseurs zénithales d'atmosphère, traversées par le rayon de visée ($3 > F_z \geqslant 1$).

$C_\lambda$ : constante permettant l'ajustement de l'échelle des magnitudes.

L'inconvénient de la méconnaissance du coefficient exact d'extinction ($k_\lambda$) et son remplacement par un coefficient moyen ($\overline{k_\lambda}$) est limité si les observations sont planifiées de telle sorte que la masse d'air ($F_z$) traversée soit très voisine d'une mesure à l'autre. De cette façon, le principal de l'erreur sur $k_\lambda$ peut être compensé par un ajustement correspondant de l'origine de l'échelle de magnitude ($C_\lambda$).

Environ une nuit sur cinq, une procédure particulière est mise en oeuvre qui permet d'estimer avec précision l'extinction même si celle-ci n'est pas absolument stable durant la nuit. C'est la méthode M et D dont la description, les avantages et particularités ont été présentés par RUFENER (1964, 1984). Elle se distingue de la méthode classique de BOUGUER qui applique directement la relation (1). Dans ce dernier cas, il suffit de choisir une étoile et de la mesurer à plusieurs masses d'air pour que sur un graphique ou par le calcul on obtienne une appréciation de l'extinction $k_\lambda$. Cette méthode de BOUGUER admet implicitement que l'extinction est stable pendant tout le temps nécessaire à sa mesure (4 à 6 heures). Cette hypothèse n'est que rarement bien vérifiée. Sans entrer dans les détails décrits par RUFENER (1964, 1984) il est possible avec la méthode M et D qui utilise des paires d'observations quasi simultanées de deux étoiles choisies, l'une montante (M), l'autre descendante (D), d'estimer a posteriori l'extinction instantannée à l'heure de mesure de chaque paire. Si cette méthode accepte que l'extinction puisse être lentement variable durant la nuit, elle admet par contre qu'à un instant donné celle-ci est isotrope. Cette situation est bien vérifiée les nuits claires dites photométriques. L'application de la méthode M et D conduit à particulariser l'extinction en fonction de l'heure dans la nuit en interpolant entre les heures auxquelles les 4 à 6 paires de mesures M et D sont faites.

Au cours de la période écoulée entre novembre 1975 et mars 1985 nous disposons de 452 nuits M et D. Pour chacune d'elles et pour chacune des sept couleurs nous avons calculé les extinctions monochromatiques correspondant à la longueur d'onde moyenne ($\lambda_o$) de chaque bande passante. L'extinction $k_{\lambda o}$ retenue est une moyenne des 8 à 12 estimations issues de la méthode M et D. Nous obtenons aussi pour chaque nuit et chaque couleur un écart-type ($\sigma_{k\lambda}$) [Rho] qui donne une appréciation de la fluctuation de l'extinction nocturne. La figure 1 montre l'évolution chronologique de cette estimation de l'extinction atmosphérique pour trois longueurs d'ondes correspondant aux filtres

[U] : $\lambda_o$ = 3456 A
[B] : $\lambda_o$ = 4245 A
[V] : $\lambda_o$ = 5500 A

Avant novembre 1975, on remarque quelques points; ils correspondent à des nuits M et D enregistrées à l'aide de télescopes de l'ESO équipés de photomètres sur lesquels les filtres de la photométrie de Genève avaient été montés. Plusieurs faits saillants se remarquent sur la figure 1:

1. Une importante dispersion des valeurs journalières avec une tendance saisonnière marquée.
2. Une décroissance lente avant l'événement d'El Chichón et plus rapide après cette discontinuité.
3. Une discontinuité très marquée en octobre 1982. C'est la conséquence de l'éruption du volcan El Chichón qui se produisit dans l'état de Chiapas au Mexique les 23 mars et 4 avril 1982.

Examinons un peu plus en détail ces trois constatations et leur signification.

## 2. Extinction moyenne et variation saisonnière

Nos observations des extinctions moyennes journalières présentent une dispersion $\sigma_{k\lambda}$ (écart-type) variable d'une nuit à l'autre. Une valeur typique de cette dispersion est 0.007, ceci implique des variations de l'extinction pointes à pointes de 0.02 à 0.03 par nuit. Il n'est pas rare (10% des nuits M et D) de constater des amplitudes de variations doubles. La dispersion qui s'observe sur la suite des valeurs journalières est grande,

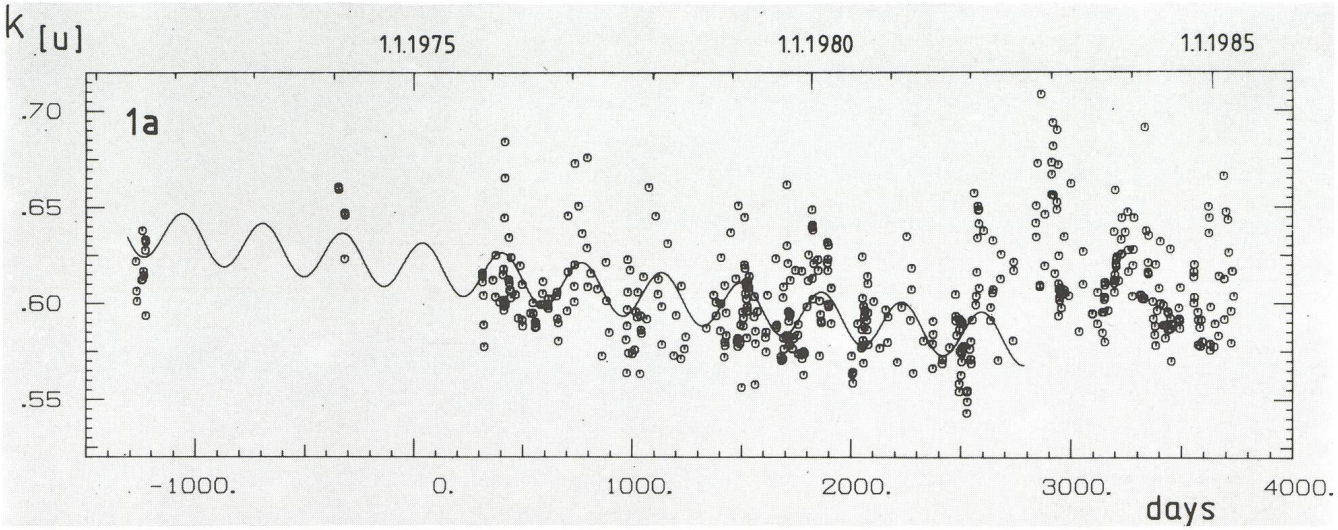



*Fig. 1a: Variation temporelle pour la couleur [U] du coefficient moyen d'extinction ($k_{\lambda o} = k_{[U]}$ calculé pour chaque nuit M et D (voir le texte pour plus de détails). La discontinuité à l'abscisse 2800 est due à l'éruption du volcan El Chichón. Une lente décroissance des valeurs minima et maxima est clairement visible au cours des nuits antérieures. Ceci est également vrai pour la valeur moyenne k(t) obtenue sur la figure 2a. Le site des observations est l'observatoire de l'ESO à La Silla (Chili). L'origine des abscisses correspond au 1.1.1975.*

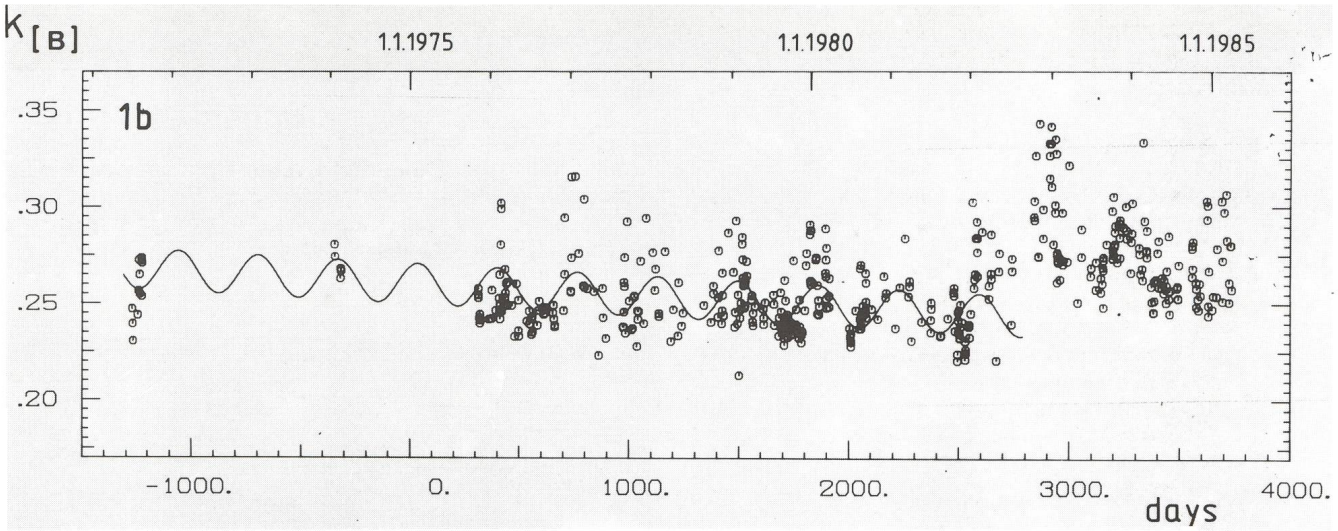



*Fig. 1b: Mêmes commentaires que Fig. 1a, pour la couleur [B].*

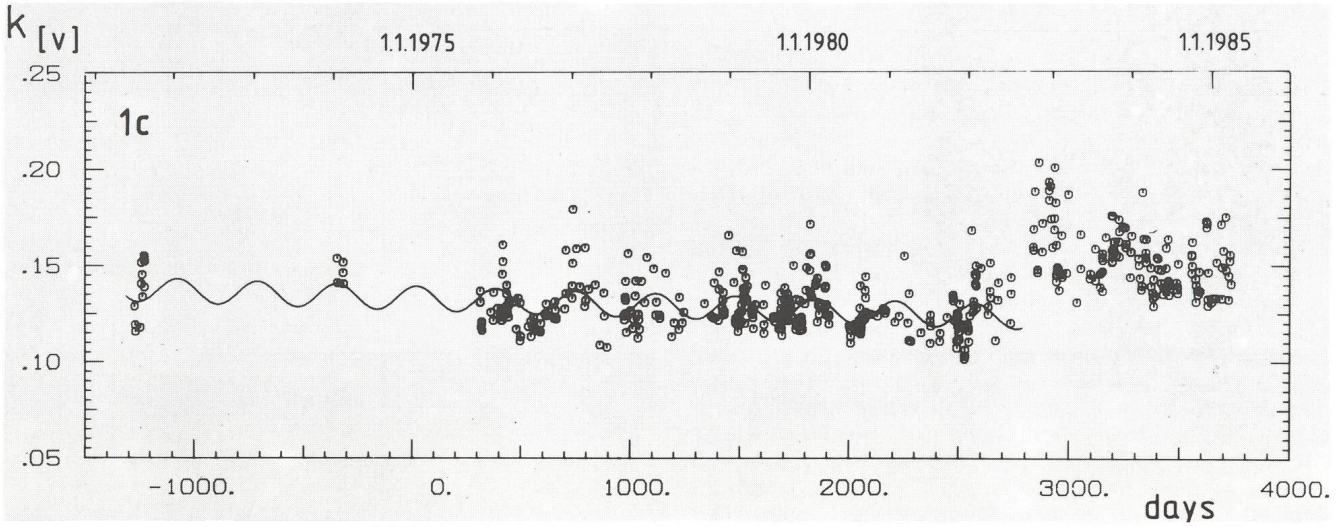



*Fig. 1c: Mêmes commentaires que Fig. 1a, pour la couleur [V].*

*Villarrica, volcan du Chili du sud en éruption, avec la Croix du Sud (Photo: Noël Cramer)*

nettement plus forte pour l'ultraviolet que pour le visible. La figure 1 montre des variations pointes à pointes de 0.05 pour $k_{[V]}$ à 0.10 pour $k_{[U]}$. On vérifie aisément que cette dispersion là est saisonnière. En considérant les 321 nuits M et D qui précèdent l'événement d'El Chichón et en retranchant l'effet de la décroissance lente on obtient la variation annuelle de l'extinction représentée sur la figure 2. La ligne continue résulte de l'ajustement d'une sinusoïde de période une année, cette même sinusoïde est dessinée sur la figure 1 en lui ayant ajouté la décroissance lente.

Il est généralement admis que l'extinction atmosphérique résulte de trois causes principales dont les effets s'ajoutent:

$$k(\lambda o) = k_{RC}(\lambda o) + k_{03}(\lambda o) + kp(\lambda o) \qquad (2)$$

$k_{RC}(\lambda o)$ pour la diffusion moléculaire de Rayleigh-Cabannes.

$k_{03}(\lambda o)$ pour l'absorption sélective par des bandes moléculaires qui pour nos observations se résument à celles de l'ozone.

$k_p(\lambda o)$ pour l'extinction provoquée par les aerosols (poussières et condensations diverses)

Chacune de ces trois composantes varie en fonction de nombreux paramètres, citons les principaux. Pour $k_{RC}(\lambda o)$ ce sont la pression et la température de l'atmosphère, pour $k_{03}(\lambda o)$ c'est la hauteur réduite d'ozone et pour $k_p(\lambda o)$ la quantité d'aerosols dont la distribution verticale et l'origine peuvent être variables. Les valeurs moyennes et minima montrées par la figure 2 sont caractéristiques de la période qui précède l'éruption d'El Chichón; elles sont données dans la table 1. L'interprétation de ces valeurs permet une appréciation de l'effet des aerosols proche du minimum possible à La Silla. En effet, en soustrayant des estimations probables pour $k_{RC}(\lambda o)$ et $k_{03}(\lambda o)$ tirées de PENNDORF (1957), VAN ALLEN (1976), GAST (1960) on obtient pour $k_p(\lambda o)$ les valeurs figurant dans la table 1. L'extinction moyenne minimum des aerosols peut alors se caractériser par:

$$k_p(\lambda o) = b\lambda_o^{-\alpha} = 0.006\,\lambda_o^{-1.3} \qquad (3)$$

($k_p$ en magnitude par unité de masse d'air, $\lambda_o$ en $\mu$ m).

La valeur du coefficient b = 0.006 est exceptionnellement petite si l'on se réfère aux travaux de SIEDENTOPF (1948). Les importantes fluctuations des extinctions observées, qu'elles soient saisonnières ou non, résultent d'une part de la variation des paramètres physiques qui contrôlent la diffusion moléculaire et d'autre part des variations saisonnières de l'épaisseur

Table

| Filtres | U | $B_1$ | B | $B_2$ | $V_1$ | V | G |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\lambda_o$[n m] | 345.6 | 402.4 | 424.5 | 448.0 | 540.5 | 550.0 | 580.5 |
| $k_{RC}(\lambda o)$ [magn. masse d'air$^{-1}$] | .550 | .289 | .230 | .185 | .085 | .080 | .065 |
| $k_{03}(\lambda o)$ [magn. masse d'air$^{-1}$] | .016 | .000 | .000 | .001 | .025 | .030 | .039 |
| $<k>$ [magn. masse d'air$^{-1}$] | .589 | .308 | .246 | .206 | .126 | .124 | .114 |
| $k_0(\lambda o)$ [magn. masse d'air$^{-1}$] | .023 | .019 | .016 | .020 | .016 | .014 | .010 |
| Pente $d_{\lambda o}$ [magn/2500 j] | .034 | .012 | .015 | .013 | .008 | .009 | .010 |
| El Chichón disc. due à $\epsilon_{\lambda o}$ [magn.] | .070 | .053 | .055 | .050 | .048 | .048 | .040 |

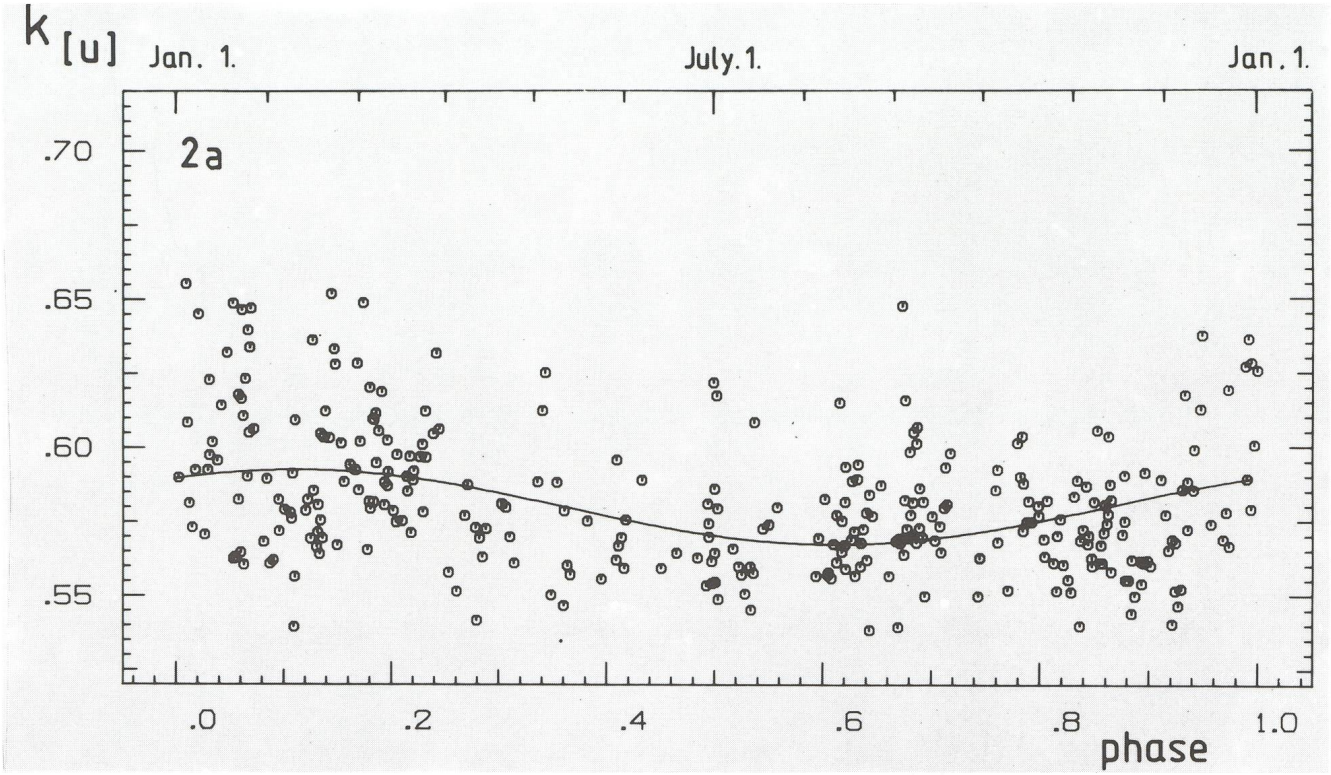



*Fig. 2a: Variation annuelle pour la couleur [U] du coefficient d'extinction ($k_{\lambda o} = k_{[U]}$ observée durant les 321 nuits M et D antérieures à l'éruption du volcan El Chichón (abscisses positives de la fig. 1a) La décroissance lente a été soustraite. L'échelle des ordonnées correspond donc à la période 2800 en abscisse de la fig. 1a. La ligne continue est la sinusoïde ajustée.*

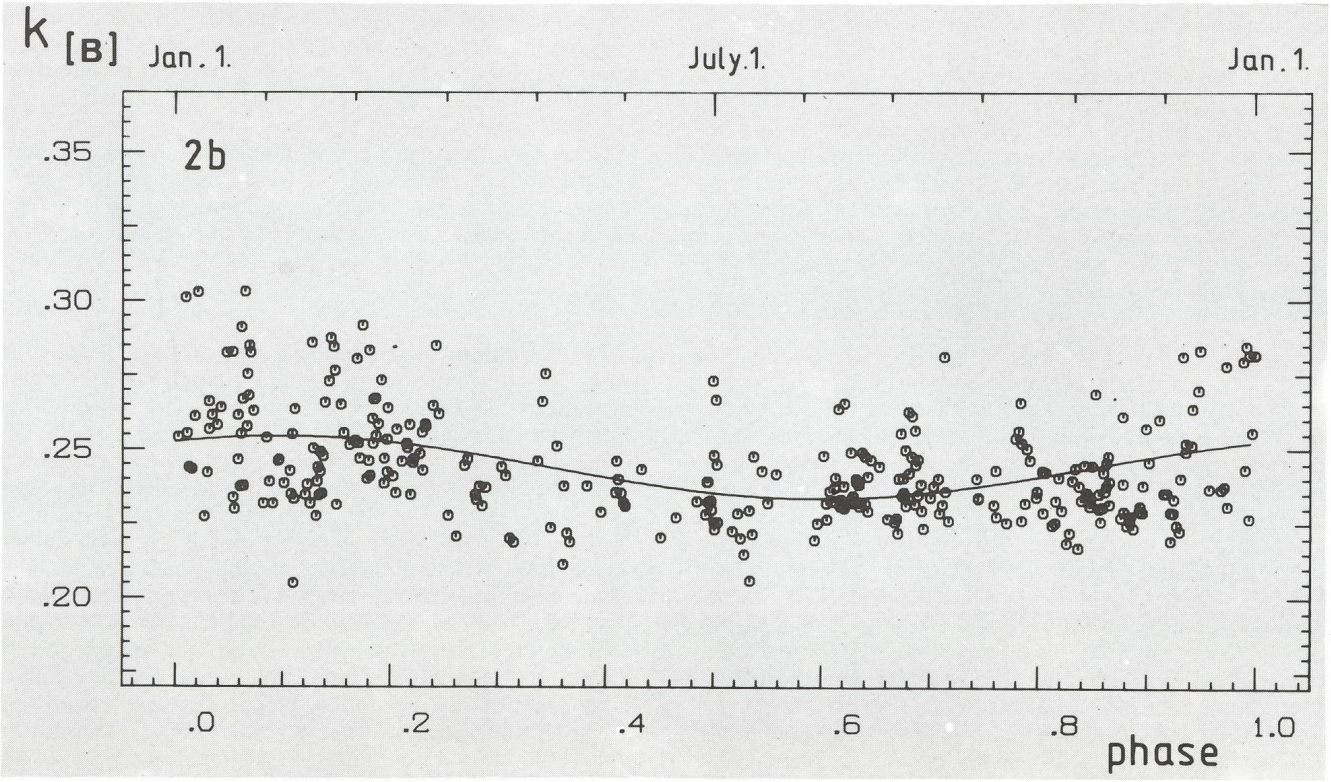



*Fig. 2b: Mêmes commentaires que Fig. 2a, pour la couleur [B].*

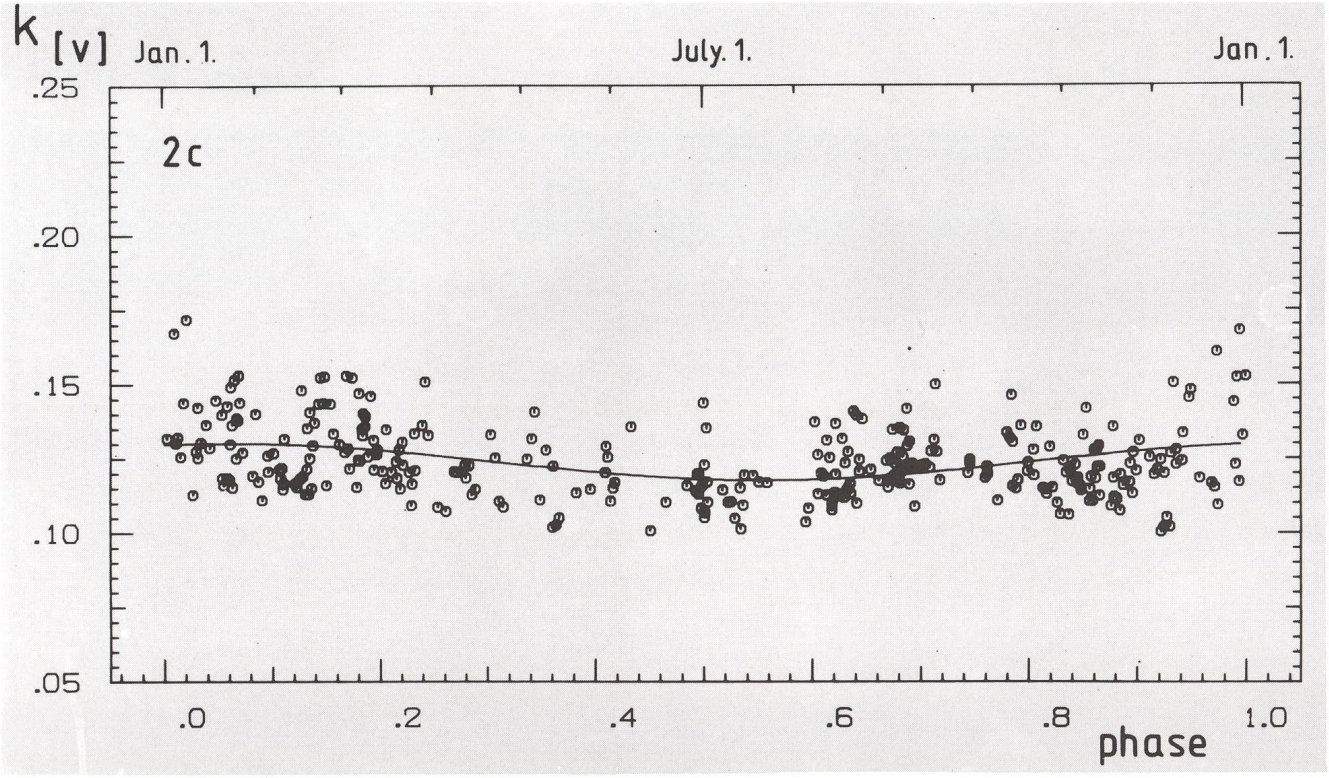



*Fig. 2c: Mêmes commentaires que Fig. 2a, pour la couleur [V].*

réduite d'ozone et des aerosols présents dans la couche inférieure. L'altitude atteinte par cette couche est nettement plus élevée durant l'été austral, sa limite supérieure peut être au-dessus de La Silla.

**3. Les variations lentes de l'extinction**

Considérant les 2500 jours précédant l'éruption d'El Chichón on constate, en dépit de la forte dispersion des points de la figure 1, une décroissance lente et régulière des valeurs moyennes aussi bien que des valeurs extrêmes (minima et maxima). Cette décroissance est fortement chromatique, plus marquée pour [U] que pour [V]. Au vu des valeurs observées pour les sept couleurs et en appelant $d\lambda_o$ cette décroissance sur 2500 jours on obtient la relation

$$d\lambda_o = 0.002\,\lambda_o^{-2.3}$$

($d\lambda_o$ en magnitude par unité de masse d'air, $\lambda_o$ en $\mu$ m)

Cette décroissance ne peut pas être mise en relation avec une dérive des paramètres qui contrôlent la diffusion moléculaire ou l'absorption par l'ozone; aucune variation de cette nature n'étant connue. Par contre, en comparant nos observations à celles de MORENO & STOCK (1964) ainsi qu'à celles de GUTIÉRREZ-MORENO et al. (1982) on peut se convaincre que cette décroissance reflète la suite de la diminution des effets diffusants et absorbants provoqués par les aerosols émis en mars 1963 par le volcan du Mt. Agung (Bali, latitude -8°). En effet, ce volcan a été responsable d'une charge exceptionnelle de la stratosphère, avec prépondérance probable dans l'hémisphère sud. D'après LAMB (1970), la contamination de la stratosphère aurait atteint une altitude proche de 50 km. Les éruptions du Mt. Agung et d'El Chichón se distinguent par leur très forte émission de gaz sulfureux tel le dioxyde de soufre. En présence de vapeur d'eau, ce gaz peut se condenser en fines goutelettes d'acide sulfurique (ROBOCK, 1983; KEEN, 1983). L'altitude atteinte par ces goutelettes et leur petitesse peut expliquer la très lente décantation de la stratosphère. Des durées de 10 à 20 ans sont estimées possibles par LAMB (1970). Par ailleurs, le fait que ces goutelettes étaient encore en suspension plus de 12 ans après l'événement du Mt. Agung est cohérent avec la forte chromaticité de la lente diminution observée. En effet, la dépendance chromatique de ce type de diffusion est d'autant plus prononcée que les dimensions des goutelettes sont inférieures à la longueur d'onde d'observation. Un ordre de grandeur pour la dimension typique de ces aerosols résiduels est $< 0.1\ \mu$ m. En tout état de cause, on peut conclure que pour les latitudes négatives, la période 1978-1982 fut la plus transparente de ces 20 dernières années.

**4. La discontinuité consécutive à l'éruption d'El Chichón**

On ne remarque aucune augmentation notable de l'extinction jusqu'au 2 juillet 1982, soit trois mois après l'éruption d'El Chichón. Une différence de latitude de 46° sépare le volcan du lieu d'observation. L'extinction la plus forte est enregistrée le 3 novembre 1982, soit après un délai de 7 mois. Ces décalages sont plus longs que ceux enregistrés à Cerro Tololo (latitude -30°) par MORENO et STOCK (1964) suite à l'éruption du Mt. Agung. En effet, ils n'attendent que 6 semaines avant de détecter une augmentation significative et c'est après 5 mois qu'ils mesurent la plus forte extinction. La différence de latitude entre le Mt. Agung et Cerro Tololo n'est que de 22°. L'amplitude de la discontinuité était aussi nettement plus forte (environ 5 fois!). L'augmentation du temps de propagation est assurément dépendante du plus grand écart de latitude tandis que la discontinuité plus faible faisant suite à El Chichón peut refléter la conjugaison d'une différence intrinsèque de la charge stratosphérique injectée par chacun des volcans avec l'effet de la différence

de latitude voire d'hémisphère. La grandeur de la discontinuité que nous avons appréciée ($\epsilon\lambda o$) sur l'extinction mesurée dans chaque couleur s'observe aussi bien sur les valeurs moyennes que sur les minima et maxima. Il est remarquable que l'amplitude des dispersions calculées chaque nuit ($\sigma_{k\lambda}$) ainsi que la dispersion de nuit à nuit ne soient pas significativement augmentées après la discontinuité. Cette constatation tend à prouver qu'à la latitude -29° la charge stratosphérique était déjà bien répartie et suffisamment isotrope pour ne pas altérer ces estimateurs. Des valeurs $\epsilon\lambda o$ de la discontinuité rapportées dans la table 1 on peut déduire une dépendance chromatique caractérisée par

$$\epsilon_{\lambda o} = 0.024\,\lambda^{-1}$$

($\epsilon_{\lambda o}$ magnitude, $\lambda$ en $\mu$).

L'exposant de la longuer d'onde dans cette relation suggère que la distribution de la taille des particules supplémentaires présente une valeur modale nettement plus grande (0.5 $\mu$ m) que celle des particules occasionnant la décroissance lente du § 3. Cette remarque est cohérente avec le fait que cette charge stratosphérique supplémentaire régresse assez rapidement pendant les deux premières années. Ce sont les grosses particules qui subissent la décantation la plus rapide.

**5. Conclusion**

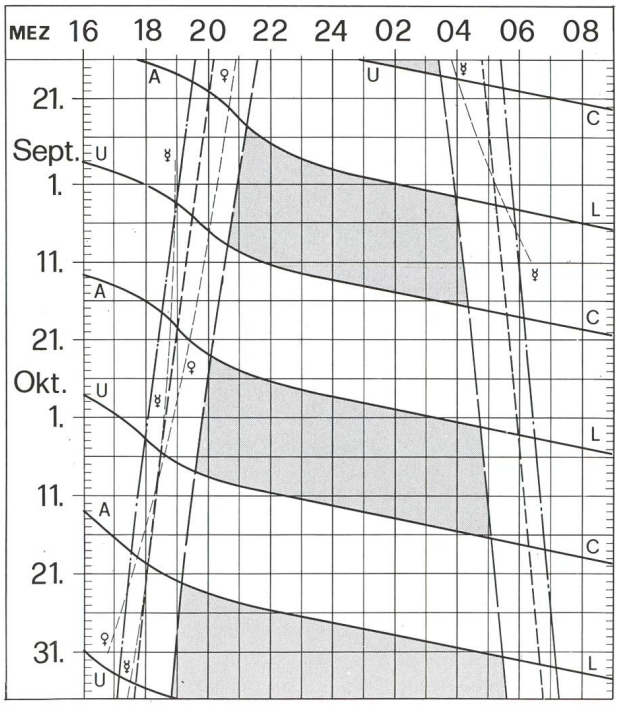
Cet examen rétrospectif de dix ans d'observation de l'extinction à La Silla permet de mieux connaître la nature de ses variations. On a pu chiffrer la grandeur des fluctuations qu'elle présente à court, moyen et long terme. On confirme l'utilité de prendre les précautions nécesssaires pour maîtriser ce paramètre indispensable à la réduction précise hors atmosphère des observations photométriques faites au sol. Des événements tels El Chichón induisent des variations de l'extinction qui sont localement quasi isotropes mais néanmoins variables au cours de temps. Par le nombre restreint de ses hypothèses, la méthode M et D est très utile pour l'estimation correcte de l'extinction atmosphérique. L'analyse des valeurs mesurées met en évidence la haute qualité de la transparence des meilleures nuits de La Silla et la fréquence élevée des nuits pendant lesquelles des mesures photométriques sont praticables.

*Bibliographie*

*ALLEN, C. W., 1976, «Astrophysical quantities» third ed. Athlone Press, London.*
*GAST, P. R., 1960, in «Handbook of Geophysics», U.S.Air Force, Cambridge Research Center. Mac. Millan Cp. New York.*
*GUITÉRREZ-MORENO, A., et al., 1982, Publ. Astr. Soc. Pac. 94, 722*
*KEEN, R. A., 1983, Science 222, 1011*
*LAMB, H. H., 1970, Phil. Trans. Roy. Soc. London 266, 425*
*MORENO, H., STOCK, J., 1964, Publ, Astr. Soc. Pac. 76, 55*
*PENNDORF, R., 1957, Jour. Opt. Soc. Amer. 47, 176*
*ROBOCK, A., 1983, Nature 301, 373*
*RUFENER, F., 1964, Publ. Obs. Genève, A, 66, 413*
*RUFENER, F., 1984, Reduction to outside the atmosphere and statistical tests used in Geneva photometry. In «NASA sponsored Workshop on improvements in photometry», San Diego State University. NASA Conference Publication 2350, 108*
*SIEDENTOPF, H., 1948, Naturwiss, 35, 289*

*Adresse de l'auteur:*
*F. RUFENER, Observatoire de Genève, Ch. des Maillettes 51, CH-1290 Sauverny*

## Sonne, Mond und innere Planeten




## Soleil, Lune et planètes intérieures

Aus dieser Grafik können Auf- und Untergangszeiten von Sonne, Mond, Merkur und Venus abgelesen werden.

Die Daten am linken Rand gelten für die Zeiten vor Mitternacht. Auf derselben waagrechten Linie ist nach 00 Uhr der Beginn des nächsten Tages aufgezeichnet. Die Zeiten (MEZ) gelten für 47° nördl. Breite und 8°30′ östl. Länge.

Bei Beginn der bürgerlichen Dämmerung am Abend sind erst die hellsten Sterne — bestenfalls bis etwa 2. Grösse — von blossem Auge sichtbar. Nur zwischen Ende und Beginn der astronomischen Dämmerung wird der Himmel von der Sonne nicht mehr aufgehellt.

Les heures du lever et du coucher du soleil, de la lune, de Mercure et de Vénus peuvent être lues directement du graphique.

Les dates indiquées au bord gauche sont valables pour les heures avant minuit. Sur la même ligne horizontale est indiqué, après minuit, le début du prochain jour. Les heures indiquées (HEC) sont valables pour 47° de latitude nord et 8°30′ de longitude est.

Au début du crépuscule civil, le soir, les premières étoiles claires — dans le meilleur des cas jusqu'à la magnitude 2 — sont visibles à l'œil nu. C'est seulement entre le début et la fin du crépuscule astronomique que le ciel n'est plus éclairé par le soleil.

Sonnenaufgang und Sonnenuntergang
Lever et coucher du soleil
Bürgerliche Dämmerung (Sonnenhöhe —6°)
Crépuscule civil (hauteur du soleil —6°)
Astronomische Dämmerung (Sonnenhöhe —18°)
Crépuscule astronomique (hauteur du soleil —18°)

A L
U C
Mondaufgang / Lever de la lune
Monduntergang / Coucher de la lune

Kein Mondschein, Himmel vollständig dunkel
Pas de clair de lune, ciel totalement sombre