

DETERMINATION DES DIAMETRES STELLAIRES PAR OCCULTATIONS. TECHNIQUE DE REDUCTION.

Michel Froeschlé

C. E. R. G. A.

Georges Helmer

Nice Observatory

Claude Meyer

C. E. R. G. A.

ABSTRACT. Lunar occultations provide measurements of stellar angular diameters, leading thus to a determination of their effective temperatures. Basically, the data reduction process relies on two methods: model fitting and deconvolution. "Integrated deconvolution", presented here, is a derived method of deconvolution and its results can compare with the two methods. The purpose is to determine the variation of the uncovered surface of the source throughout the occultation instead of extracting the brightness profile of the source. The main advantage provided is that computing the signal derivative is no longer necessary. In addition to saving a lot of computing time, the method affords a good estimate of the apparent speed, precise dating, and the angular separation of double stars down to 0.002 arcsec. After being tested against the usual methods, "integrated deconvolution" is now currently used. Some results are presented here.

1. INTRODUCTION

Lorsque l'on observe l'occultation d'une étoile par la Lune, on constate au voisinage de l'ombre géométrique la présence de franges de diffraction, parallèles au bord lunaire. L'aspect de ces franges dépend de nombreux paramètres.

Les paramètres physiques tels que l'angle de position de l'occultation, la vitesse apparente de la Lune, le diamètre angulaire de l'étoile ou son éventuelle duplicité, le relief lunaire et la scintillation atmosphérique, ont été étudiés par de nombreux auteurs (Nather et Evans, 1970 ;

447

D. S. Hayes et al. (eds.), Calibration of Fundamental Stellar Quantities, 447-453.
© 1985 by the IAU.

Knoechel et von der Heide, 1978).

Les effets des paramètres instrumentaux tels que le diamètre du télescope, l'échantillonnage temporel du phénomène observé ou la bande passante spectrale des filtres utilisés ont été souvent décrits (Ridgway, 1977).

Toutes les méthodes de réduction modélisent d'une façon ou d'une autre ces différents paramètres. Il existe essentiellement deux méthodes de réduction qui permettent de déterminer les instants d'occultations géométriques, les diamètres apparents d'étoiles et une composante de la séparation angulaire d'étoiles doubles. Ce sont la méthode par ajustement des paramètres et la méthode par déconvolution.

1.1. Méthode par ajustement des paramètres

C'est la plus ancienne. Elle consiste à ajuster le signal observé à un signal théorique. Cette méthode a surtout été développée par Nather et McCants (1970). Pour chacun des N points observés, on calcule la valeur du modèle et on exprime les résidus sous la forme de N équations que l'on traite par la méthode des moindres carrés pour obtenir les corrections aux valeurs initiales des paramètres de modélisation. On est amené à utiliser un processus itératif pour affiner la valeur de ces corrections. Dans le cas d'une étoile double, on recherche la séparation ρ et l'écart de magnitude Δm par la superposition de deux modèles du type précédent.

1.2. Méthode par déconvolution

Développée par les radioastronomes (Scheuer, 1962) pour déterminer le diamètre de radiosources, la méthode consiste à résoudre l'équation de convolution

$$I(x) = F(x) * O(x) \quad (1)$$

où $I(x)$ est l'intensité observée, $F(x)$ l'intensité correspondant à une source ponctuelle et $O(x)$ la fonction de distribution de luminosité de la source.

L'équation (1) peut encore s'écrire, par dérivation,

$$I'(x) = F'(x) * O(x) \quad (2)$$

et on peut en déduire le profil de la source par

$$O(x) = \overline{F'(-x)} * I'(x) \quad (3)$$

en utilisant la propriété $\overline{F'(x)} * F'(-x) = \delta(x)$, ce qui caractérise la fonction représentative de la diffraction.

Dans le domaine optique, l'équation (3) n'est pas facile à traiter.

Elle utilise la dérivée du signal observé et, compte tenu du bruit, il faut obligatoirement filtrer.

2. METHODE DE DECONVOLUTION INTEGREE

Les difficultés liées à la dérivation du signal observé nous ont conduits à développer une solution qui consiste à intégrer l'équation (3), ce qui nous fait calculer non plus le profil $O(x)$ de la source mais la variation de sa surface pendant l'occultation, c'est à dire à chaque instant l'aire $S(x)$ délimitée par le profil de la source et le bord de l'écran, en l'occurrence le bord lunaire (Froeschlé, Meyer, 1983).

Dans le cas monochromatique, on écrira à la longueur d'onde λ_0

$$S_{\lambda_0}(x) = \int_{-\infty}^x O_{\lambda_0}(u) du$$

ou $S_{\lambda_0}(x) = C_{\lambda_0}(x) * H(x)$

En utilisant l'équation (3), on obtient finalement

$$S_{\lambda_0}(x) = I_{\lambda_0}(x) * \overline{F'_{\lambda_0}(-x)}$$

C'est la convolution du signal observé par la transposée de la dérivée du signal théorique d'une source ponctuelle.

La méthode s'applique aussi bien au cas d'étoiles simples qu'au cas d'étoiles doubles. Les figures (1) et (2) montrent respectivement le signal simulé et la déconvolution intégrée correspondante dans chacun de ces cas.

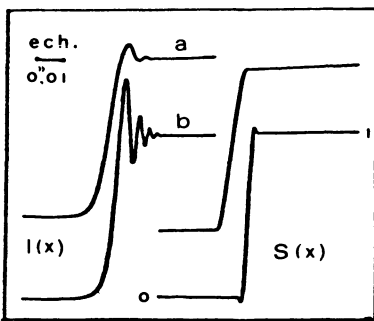


Fig. 1. Simulation étoile simple
 (a) diamètre apparent 0".01
 (b) diamètre apparent 0".002
 I(x) : signal simulé
 S(x) : déconvolution

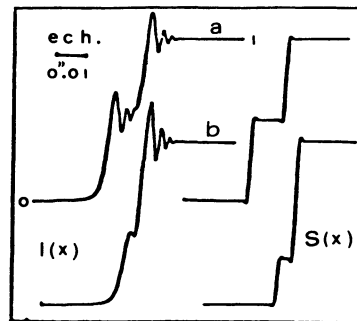


Fig. 2. Simulation étoile double
 (a) séparation $\rho = 0".01$; $\Delta m = 0$
 (b) séparation $\rho = 0".005$; $\Delta m = 1$
 I(x):signal simulé
 S(x):déconvolution

Le problème est devenu un simple problème géométrique car, si la source a un profil circulaire de rayon r , on peut représenter l'aire par une forme analytique

$$A(x) = \frac{1}{\pi} \left(\frac{x}{r} \left(1 - \frac{x^2}{r^2} \right)^{1/2} + \arcsin \frac{x}{r} + \frac{\pi}{2} \right) \quad \text{pour } -r \leq x \leq r$$

A partir d'une valeur initiale r_0 du rayon, on peut linéariser l'équation précédente pour déterminer des corrections Δr à r_0 . On calcule Δr par moindres carrés en comparant $S(x)$ obtenu par convolution à $A(x)$ théorique.

3. RESULTATS

Le tableau I donne les diamètres angulaires obtenus lors de six observations effectuées d'une part à l'aide d'une instrumentation prototype de l'observatoire de Nice avec un télescope de 40 cm et, d'autre part, à l'aide d'une instrumentation en cours de développement sur le site du CERGA et qui utilise le télescope de 150 cm de diamètre affecté à la télémétrie laser-Lune.

Tableau I. Diamètres mesurés au CERGA et à l'observatoire de Nice.

SAO	m	Sp	date	diamètre télescope (m)	λ (μm)	bande passante (μm)	diamètre $\times 10^{-3}$ arcsec (disque uniforme)
78297	3,2	MO	09.10.82	1.50	0,77	0.05	14.89 \pm 1.14
93954	3,6	KO	24.01.83	1.50	0,77	0.04	3.35 \pm 0.30
94027	1,1	K5	30.09.80	0.40	0,52	0.04	18.77 \pm 0.70
94027	1,1	K5	30.09.80	0.40	0,433	0.05	19.51 \pm 0.78
119035	4,2	MO	31.01.83	1.50	0,77	0.04	7.03 \pm 0.56
158427	4,3	KO	17.07.83	1.50	0,77	0.05	3.15 \pm 0.22

La figure (3) montre, à titre d'exemple, le signal observé au CERGA le 24/01/83 ainsi que la déconvolution intégrée correspondante.

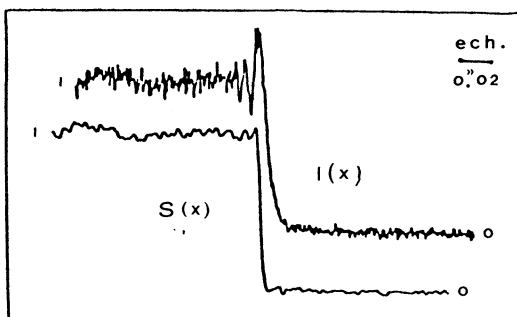


Fig. 3

$I(x)$: signal observé de
SAO 93954

$S(x)$: déconvolution
intégrée

La précision limite accessible par cette méthode est de l'ordre de 0".002. Si le bruit ne dépasse pas 5 % du signal, on peut atteindre les objectifs astrophysiques et astrométriques fixés. La datation précise des instants d'occultations permet de contribuer au rattachement des systèmes de référence géométriques et dynamiques (Froeschlé, Meyer, 1981). La haute résolution angulaire atteinte permet la mesure de la séparation d'étoiles doubles serrées avec un écart de magnitude important et, en association avec des mesures photométriques, la détermination du diamètre apparent des enveloppes stellaires et la mesure des températures effectives (Ridgway, 1980).

Remerciements : Nous remercions l'équipe du laser-Lune du CERGA qui a mis à notre disposition le télescope de 1,50 m, et en particulier J.F. Mangin et J.M. Torre qui ont participé activement aux observations.

REFERENCES

- Froeschlé, M. et Meyer, C. 1981, in IAU Colloquium No. 56: Reference Coordinate Systems for Earth Dynamics, ed. E. M. Gaposkin and B. Koźaczek (Reidel, Dordrecht), p. 317.
- Froeschlé, M. et Meyer, C. 1983, Astron. Astrophys., 121, 319.
- Knoechel, G. et von der Heide, K. 1978, Astron. Astrophys., 67, 209.
- Nather, R. E. et Evans, D. S. 1970, Astron. J., 75, 575.
- Nather, R. E. et McCants, M. M. 1970, Astron. J., 75, 963.
- Ridgway, S. T. 1977, Astron. J., 82, 511.
- Ridgway, S. T. 1980, Astrophys. J., 235, 126.
- Scheuer, P. A. G. 1962, Austr. J. Phys., 15, 333.

DETERMINATION OF STELLAR DIAMETERS BY OCCULTATIONS. REDUCTION TECHNIQUE

SUMMARY. This paper is concerned with a method of reduction of occultation measurements of stellar diameters which the authors call "integrated deconvolution". They briefly discuss two older methods: "parameter adjustment" and "deconvolution". The former is iterative, while the latter - devised by radio astronomers - is not easy to apply in the optical domain, because it is based on the derivative of the observed signal, which must be filtered to eliminate the noise.

The authors, therefore, devised their new method, which is based on an integration of equation 3 (see Section 1.2 of the French text) which enables them to obtain the convolution of the observed signal with the transform of the derivative of the theoretical signal from a point source (Section 2). The method can be applied either to single stars or to double stars. The method reduces the problem to a simple geometric one since the area of an occulted circular source may be represented by an analytic formula, and the radius of the source can be obtained from differential corrections determined by least squares.

Results for six stars are presented in the Table. They were obtained with an 0.4-m telescope at Nice and the 1.5-m telescope at CERGA normally used for lunar-laser telemetry. The limiting precision of the method is about $0''.002$. Precise timing of occultations permits the relation of the geometric and dynamic frames of reference, while the high angular resolution enables close double stars of large magnitude difference to be measured, or, in association with photometric measurements, the determination of the diameters of stellar envelopes and of effective temperatures.

DISCUSSION

EVANS: It is not true that all that matters is the sensitivity of the detector and not the size of the telescope. Larger telescopes produce lower seeing noise but in principle for a large telescope a correction must be applied because the event takes place at one time on one edge of the aperture and later at the other.

FROESCHLÉ: The choice of the telescope diameter is a compromise between the wish to average out the atmospheric effects and the wish not to diminish excessively the contrast between the diffraction fringe observed. On the other hand the diameter is taken into account in the data reduction method.

JASCHEK: I would like to encourage the specialists to compose a catalogue of all occultation measurements.

EVANS: I try to keep a catalogue of all photoelectric occultation observations. Please send me data.

JASCHEK: Is it on tape?

EVANS: No.

MEYER: A catalogue already exists in which the diameters of stars, obtained by direct and indirect methods, are compiled. It should be updated, because now the measures are scattered all through the literature.