

**OBSERVATIONS PHOTOGRAPHIQUES DE JUPITER ET SES
SATELLITES EFFECTUEES EN 1980 AU GPO DE L'EUROPEAN
SOUTHERN OBSERVATORY (ESO) LA SILLA. CONSIDÉRATIONS SUR
DES THÉORIES PLUS MODERNES DE LA RÉDUCTION DES CLICHÉS
ASTROGRAPHIQUES**

H. Debehogne

Observatoire Royal de Belgique

and

R.R. de Freitas Mourão, M.R. Nunes, and O.C. Tavares

Observatório Nacional, Rio de Janeiro, Brasil

Received 1984 May 14

RESUMEN

En 1980 se obtuvieron observaciones fotográficas de Júpiter y sus satélites en el GPO del Observatorio Europeo Austral (ESO). Las mediciones se llevaron a cabo en el Observatorio de Valongo y las reducciones han sido efectuadas en el Laboratorio de Computación Científica (LCC/CNPq).

ABSTRACT

In 1980, we have observed Jupiter and its satellites at the GPO ($f = 4$ m, $D = 40$ cm) of the European Southern Observatory (ESO) La Silla. Measurements were performed at the Observatório de Valongo with the Ascorecord measuring machine ($0, 1 \mu$) and reductions by means of five reference stars at the Laboratório de Computação Científica (LCC/CNPq).

Key words: JUPITER-SATELLITES – OBSERVATIONS-REFERENCE STARS

I. INTRODUCTION

Cet article contient des observations photographiques de Jupiter et de ses satellites obtenues à l'instrument dénommé Grand Prisme Objectif ($f = 4$ m, $D = 40$ cm), de l'Observatoire ESO, à La Silla, pendant mai et juin 1980. Il resume l'utilisation de la théorie des ensembles, la substitution de la théorie algébrique des équations à celle des "moindres carrés", la détermination de la précision au moyen d'étoiles tests (Debehogne 1977 et articles divers, parus de 1968 à 1980 dans *Astronomy and Astrophysics* et *Bull. Acad. Royale de Belgique, Classe des Sciences*, notamment), dans le problème des réductions des clichés.

II. METHODE

Toutes les plaques ont été mesurées sur la machine Ascorecord de l'Observatoire du Valongo, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Les mesures ont été effectuées au dixième de micron, la dernière décimale étant peu significative en elle-même et aussi dans l'optique du calcul général. Les étoiles de référence sont prises au millième de seconde de temps en ascension droite et au centième de seconde d'arc en déclinaison (Catalogue SAO 1966).

La méthode de réduction utilise cinq étoiles de référence. Par cette méthode, on calcule les dépendances D_i ; X_i , Y_i , x_i , y_i , étant les coordonnées standard et mesurées des étoiles et X_p , Y_p , x_p , y_p celles de l'objet; on a $X_p = \sum d_i X_i$; $Y_p = \sum D_i Y_i$ avec $x_p = \sum D_i x_i$, $y_p = \sum D_i y_i$, $\sum D_i x_i$, résolues par multiplicateurs de Lagrange et condition $\sum D_i^2 = \min$ (Debehogne 1977).

On passe des X_p , Y_p aux α_p , δ_p par les formules classiques (Smart 1944), origine au centre du cliché puis au centre de gravité des X_i , Y_i . On résout, aussi, les deux systèmes d'équations de condition

$$a(x_i - x_o) + b(y_i - y_o) = X_i - X_o \quad (1)$$

$$a'(x_i - x_o) + b'(y_i - y_o) = Y_i - Y_o \quad (2)$$

par moindres carrés ou, d'une façon équivalente mais plus moderne, plus rigoureusement mathématique et plus simple par la théorie de la solution des systèmes algébriques à nombre d'équations supérieur au nombre d'inconnues a , b (ou a' , b'), ou i vaut successivement $1, 2, \dots, n$ (une équation par étoile de base ou de référence).

TABLEAU 1

POSITIONS TOPOCENTRIQUES

No. Objet	Cliché	1980 TU		1950		O - C	
		Mois	Jour	α	δ	α	δ
1	Jupiter	3995	5	20.967290	10 ^h 12 ^m 49 ^s .400	12 ^h 18 ^m 59 ^s .702	-1.6 9.
2	Jupiter	3995	5	20.971446	10 12 49.394	12 18 58.88	-1.6 9.
3	Jupiter	3995	5	20.976293	10 12 49.449	12 18 58.83	-1.6 9.
4	Jupiter	3995	5	20.980449	10 12 49.555	12 18 57.78	-1.6 9.
5	Jupiter	4014	5	22.008889	10 13 6.526	12 17 12.88	-1.6 9.
6	Jupiter	4014	5	22.013045	10 13 6.568	12 17 11.70	-1.6 9.
7	Jupiter	4014	5	22.017200	10 13 6.696	12 17 11.21	-1.6 9.
8	Jupiter	4014	5	22.021355	10 13 6.770	12 17 11.21	-1.6 9.
9	Jupiter	4032	5	22.990225	10 13 23.411	12 15 29.95	-1.6 9.
10	Jupiter	4032	5	22.996458	10 13 23.532	12 15 29.59	-1.6 9.
11	Jupiter	4032	5	23.000613	10 13 23.625	12 15 28.61	-1.6 9.
12	Jupiter	4032	5	23.004769	10 13 23.703	12 15 28.45	-1.6 9.
13	Jupiter	4054	5	23.993734	10 13 41.471	12 13 40.69	-1.6 9.
14	Jupiter	4054	5	23.997889	10 13 41.501	12 13 40.11	-1.6 9.
15	Jupiter	4054	5	24.002045	10 13 41.547	12 13 39.13	-1.6 9.
16	Jupiter	4054	5	24.006200	10 13 41.607	12 13 38.62	-1.6 9.
17	Jupiter	4074	5	24.990998	10 13 59.669	12 11 47.02	-1.6 9.
18	Jupiter	4074	5	24.995154	10 13 59.805	12 11 46.82	-1.6 9.
19	Jupiter	4074	5	24.999309	10 13 59.864	12 11 46.58	-1.6 9.
20	Jupiter	4074	5	25.003464	10 13 59.910	12 11 46.14	-1.6 9.
21	Jupiter	4091	5	26.035368	10 14 19.557	12 9 45.64	-1.6 9.
22	Jupiter	4091	5	26.039523	10 14 19.651	12 9 46.10	-1.6 9.
23	Io	3995	5	20.967290	10 12 44.635	12 19 28.04	-1.7 10.
24	Io	3995	5	20.971446	10 12 44.779	12 19 26.84	-1.7 9.
25	Io	3995	5	20.976293	10 12 44.948	12 19 26.23	-1.7 9.
26	Io	3995	5	20.980449	10 12 45.094	12 19 24.60	-1.7 9.
27	Io	4054	5	23.993734	10 13 37.679	12 14 4.04	-1.7 9.
28	Io	4054	5	23.997889	10 13 37.671	12 14 4.01	-1.7 9.
29	Io	4054	5	24.002045	10 13 37.733	12 14 3.73	-1.7 9.
30	Io	4054	5	24.006200	10 13 37.651	12 14 3.83	-1.7 9.
31	Io	4074	5	24.990998	10 14 5.345	12 11 10.35	-1.5 8.
32	Io	4074	5	24.995154	10 14 5.464	12 11 9.82	-1.5 8.
33	Io	4074	5	24.999309	10 14 5.604	12 11 9.62	-1.5 8.
34	Io	4074	5	25.003464	10 14 5.742	12 11 9.03	-1.5 8.
35	Io	4091	5	26.027057	10 14 12.615	12 10 28.91	-1.7 10.
36	Io	4091	5	26.031212	10 14 12.702	12 10 28.44	-1.7 10.
37	Io	4091	5	26.035368	10 14 12.785	12 10 27.99	-1.7 10.
38	Io	4091	5	26.039523	10 14 12.862	12 10 27.57	-1.7 10.
39	Europa	3995	5	20.967290	10 12 40.402	12 19 56.69	-1.8 10.
40	Europa	3995	5	20.971446	10 12 40.421	12 19 56.32	-1.8 10.
41	Europa	3995	5	20.976293	10 12 40.419	12 19 56.20	-1.8 10.
42	Europa	3995	5	20.980449	10 12 40.462	12 19 55.93	-1.8 10.
43	Europa	4014	5	22.008889	10 13 3.159	12 17 33.32	-1.7 9.
44	Europa	4014	5	22.013045	10 13 3.289	12 17 32.14	-1.7 9.
45	Europa	4014	5	22.017200	10 13 3.435	12 17 31.50	-1.7 9.
46	Europa	4014	5	22.021355	10 13 3.578	12 17 30.50	-1.7 9.
47	Europa	4032	5	22.990225	10 13 34.361	12 14 21.37	-1.4 8.
48	Europa	4032	5	22.996458	10 13 34.490	12 14 20.56	-1.4 8.
49	Europa	4032	5	23.000613	10 13 34.552	12 14 20.03	-1.4 8.
50	Europa	4032	5	23.004769	10 13 34.624	12 14 19.70	-1.4 8.
51	Europa	4074	5	24.990998	10 13 49.250	12 12 52.10	-1.8 10.
52	Europa	4074	5	24.995154	10 13 49.334	12 12 51.59	-1.8 10.
53	Europa	4074	5	24.999309	10 13 49.425	12 12 51.05	-1.8 10.
54	Europa	4074	5	25.003464	10 13 49.518	12 12 50.29	-1.8 10.
55	Europa	4091	5	26.027057	10 14 24.601	12 9 12.17	-1.5 9.
56	Europa	4091	5	26.031212	10 14 24.746	12 9 11.66	-1.5 9.
57	Europa	4091	5	26.035368	10 14 24.917	12 9 11.18	-1.5 9.
58	Europa	4091	5	26.039523	10 14 25.078	12 9 10.71	-1.5 9.
59	Ganymede	3995	5	20.967290	10 12 32.377	12 20 43.41	-1.9 11.
60	Ganymede	3995	5	20.971446	10 12 32.446	12 20 42.92	-1.9 11.
61	Ganymede	3995	5	20.976293	10 12 32.543	12 20 42.28	-1.9 11.
62	Ganymede	3995	5	20.980449	10 12 32.634	12 20 41.77	-1.9 11.
63	Ganymede	4014	5	22.008889	10 12 59.767	12 17 50.75	-1.7 10.
64	Ganymede	4014	5	22.013045	10 12 59.906	12 17 50.26	-1.7 10.
65	Ganymede	4014	5	22.017200	10 13 0.031	12 17 49.93	-1.7 10.
66	Ganymede	4014	5	22.021355	10 13 0.134	12 17 49.49	-1.7 10.
67	Ganymede	4032	5	22.990225	10 13 31.195	12 14 37.97	-1.5 8.
68	Ganymede	4032	5	22.996458	10 13 31.375	12 14 36.75	-1.5 8.
69	Ganymede	4032	5	23.000613	10 13 31.501	12 14 35.89	-1.5 8.
70	Ganymede	4932	5	23.004769	10 13 31.623	12 14 35.35	-1.5 8.
71	Ganymede	4054	5	23.993734	10 13 58.358	12 11 53.89	-1.3 7.
72	Ganymede	4054	5	23.997889	10 13 58.358	12 11 53.57	-1.3 7.
73	Ganymede	4054	5	24.002045	10 13 58.457	12 11 52.88	-1.3 7.
74	Ganymede	4054	5	24.006200	10 13 58.528	12 11 52.41	-1.3 7.
75	Ganymede	4074	5	24.990998	10 14 13.589	12 10 24.18	-1.4 8.
76	Ganymede	4074	5	24.995154	10 14 13.638	12 10 23.70	-1.4 8.
77	Ganymede	4074	5	24.999309	10 14 13.672	12 10 23.44	-1.4 8.
78	Ganymede	4074	5	25.003464	10 14 13.719	12 10 22.65	-1.4 8.
79	Callisto	4014	5	22.008889	10 12 54.824	12 18 33.57	-1.8 10.
80	Callisto	4014	5	22.013045	10 12 54.861	12 18 33.04	-1.8 10.
81	Callisto	4014	5	22.017200	10 12 54.878	12 18 33.03	-1.8 10.
82	Callisto	4014	5	22.021355	10 12 54.886	12 18 32.76	-1.8 10.
83	Callisto	4032	5	22.990225	10 13 2.322	12 17 46.21	-2.0 11.
84	Callisto	4032	5	22.996458	10 13 2.354	12 17 45.60	-2.0 11.
85	Callisto	4032	5	23.000613	10 13 2.397	12 17 45.48	-2.0 11.
86	Callisto	4032	5	23.004769	10 13 2.424	12 17 45.01	-2.0 11.
87	Callisto	4054	5	23.993734	10 13 13.617	12 16 34.40	-2.1 12.
88	Callisto	4054	5	23.997889	10 13 13.690	12 16 34.09	-2.1 12.
89	Callisto	4054	5	24.002045	10 13 13.716	12 16 33.72	-2.1 12.
90	Callisto	4054	5	24.006200	10 13 13.782	12 16 33.39	-2.1 12.
91	Callisto	4074	5	24.990998	10 13 29.405	12 14 55.24	-2.1 12.
92	Callisto	4074	5	24.995154	10 13 29.449	12 14 54.56	-2.1 12.
93	Callisto	4074	5	24.999309	10 13 29.551	12 14 54.29	-2.1 12.
94	Callisto	4074	5	25.003464	10 13 29.629	12 14 53.68	-2.1 12.
95	Callisto	4091	5	26.027057	10 13 50.833	12 12 40.95	-2.1 12.
96	Callisto	4091	5	26.031212	10 13 50.936	12 12 40.30	-2.1 12.
97	Callisto	4091	5	26.035368	10 13 51.026	12 12 39.95	-2.1 12.
98	Callisto	4091	5	26.039523	10 13 51.133	12 12 39.48	-2.1 12.

Les matrices des systèmes (1) et (2) ont donc pour dimensions 2 et n, n étant suffisamment grand par rapport à 2 (Debehogne 1977 et divers articles dans *Astrophysics*, 1970 à 1977 et *Bull. Acad. Royale de Belgique, Classe des Sciences*, 1968 à 1980).

On rend les systèmes carrés en multipliant "à droite" les 2 ensembles des systèmes (le deuxième membre est un vecteur),

a) en langage "Cracovien" (multiplication colonne par colonne) par le tableau des coefficients du premier membre, ce qui revient au même calcul pratique que pour le moindres carrés mais avec justification théorique beaucoup plus immédiate, b) en langage matriciel (multiplication ligne par colonne) par l'inverse de ce tableau.

Signalons que les inconnues a, b (ou a', b') matricielles les bijections (transformations "dans les deux sens") qui permettent de passer (mise en concordance de l'ensemble des points du ciel à l'ensemble des points du cliché photographique quand on utilise la théorie moderne des ensembles pour expliquer plus simplement et plus rigoureusement les problèmes de la réduction de clichés astrographiques. Les étoiles de base constituent des sous-ensembles.

Les systèmes (1) et (2) se réduisent à un seul, quand on choisit de donner à la transformation (bijection) l'forme d'une homographie (Debehogne 1977). Les inconnues a, b, a', b' (coefficients de transformations) servent à déterminer X_p, Y_p . Les résultats des deux méthodes équivalentes diffèrent rarement de 0".001 et 0".01 c qui mesurent la précision de l'ordinateur. La précision étudiée sur les résidus des étoiles de référence d'une réduction à l'autre oscille de 0".1 à 0".3, quand on utilise la méthode des étoiles tests (Debehogne 1977 et articles divers).

G. Roman (ESO, La Silla) était assistant de nuit à l'European Southern Observatory financé complètement la mission de H. Debehogne (Observatoire Royal de Belgique) et en partie celle de R.R. de Freitas Mourão qui a reçu une aide financière du CNPq du Brésil.

BIBLIOGRAPHIE

- Debehogne, H. 1977, Cours à l'Université Fédérale de Rio de Janeiro.
 Smart, W.M. 1944, *Spherical Astronomy* (Cambridge: The University Press).
 Smithsonian Astrophysical Observatory, 1966, *Star Catalog* (Washington: Smithsonian Institution).

H. Debehogne: Observatoire Royal de Belgique, 3 Av. Circulaire, Uccle-Brussels 18, Belgium.

R.R. de Freitas Mourão, M.R. Nunes et O.C. Tavares: Observatório Nacional, Rua General Bruce -586, São Cristóvão 20921 Rio de Janeiro, RJ Brasil.