

JUPITER ET SES SATELLITES

Cet article se décomposera en trois parties:

- A/ détermination de la période de révolution des satellites de Jupiter à partir de photographies.
- B/ mesure de la masse de Jupitersans balance!
- C/ mesure de la masse de Jupiteravec un chronomètre!

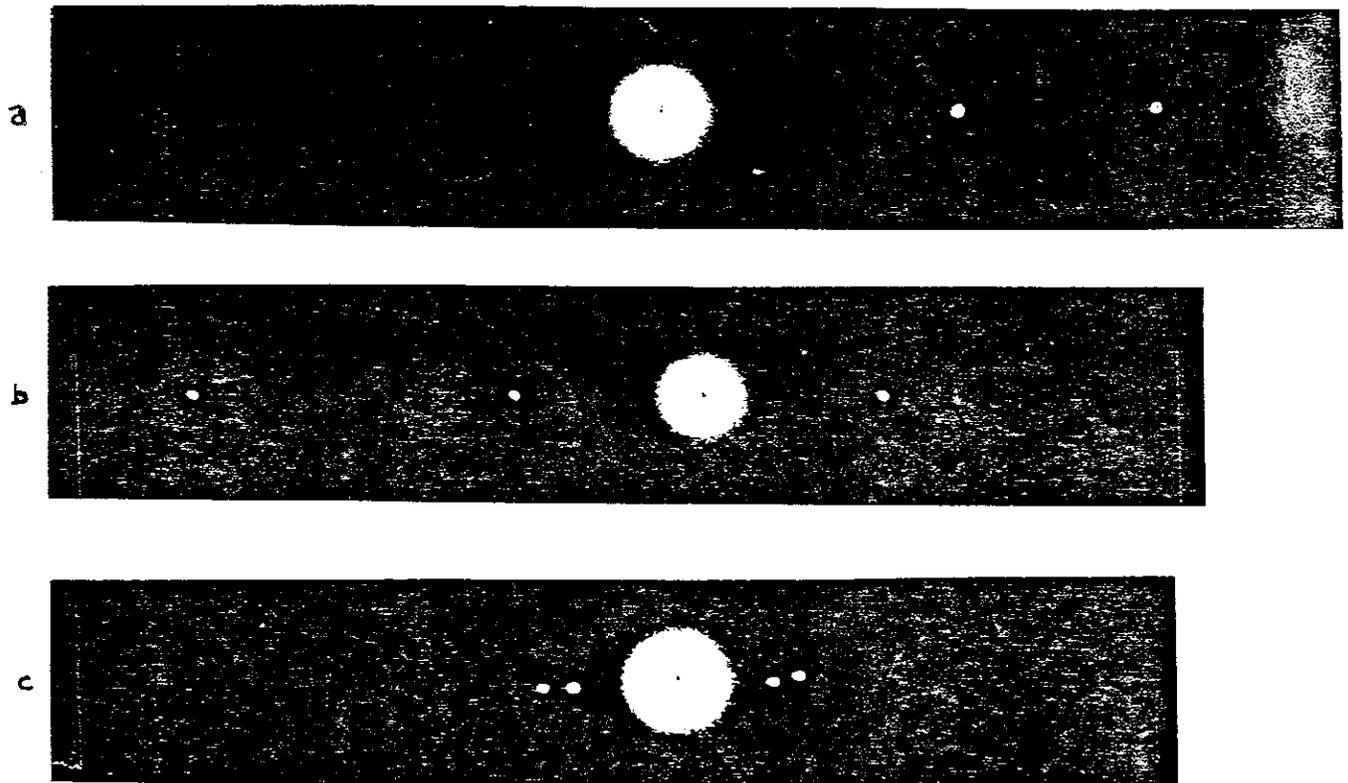
A/ PERIODE DE REVOLUTION DES SATELLITES DE JUPITER.

I/ DONNEES INDISPENSABLES:

Deux types d'information sont nécessaires pour obtenir le résultat recherché: - une donnée "théorique":la distance Terre-Jupiter au moment de l'obtention des photographies.

- deux résultats d'observation de l'amateur:échelle des clichés (en " d'arc par mm) et au minimum trois clichés du système jovien (avec date et heure).

1°) Aspects des lunes de Jupiter pendant l'opposition de 1979:



(Célestron 8, foyer de 2m, pose 10 à 4 s sur HP 5 Ilford 400 ASA)
 a/ le 01-01-79 à 22h 44mn TU }
 b/ le 09-01-79 à 23h 34mn TU } échelle des clichés: ≈ 8,9" par millimètre.
 c/ le 13-01-79 à 21h 08mn TU }

2°) Distance Terre-Jupiter:

(voir annexe 1, extrait des éphémérides de la SAF)

On constate que cette distance varie peu du 1 au 21 et qu'elle est presque minimale:en effet,c'est le 25 janvier qu'a lieu l'opposition. Prendre donc une

valeur moyenne de UA. L'unité astronomique valant $149,6 \cdot 10^6$ km, calculer la distance recherchée: km (trois chiffres significatifs suffisent).

ANNEXE 1

136

ANNUAIRE DU BUREAU DES LONGITUDES

JUPITER 1979

Date	Mag	A Paris (TU)			Position à 0 ^h TU			
		Lever	Passage au méridien	Coucher	Ascension droite	Déclinaison	Distance à la Terre (UA)	Diamètre apparent équatorial
		h m	h m	h m	h m	°		
Janv. 1	-2,1	18 8	1 48,3	9 25	8 38,2	+19 5	4,374	45,0
11	2,1	17 22	1 4,3	8 42	8 33,4	19 25	4,318	45,6
21	2,2	16 35	0 19,7	8 0	8 28,1	19 45	4,294	45,9
31	2,1	15 48	*23 30,4	7 17	8 22,6	20 5	4,300	45,8
Févr. 10	2,1	15 2	22 45,9	6 34	8 17,3	20 23	4,338	45,4
20	2,1	14 17	22 2,0	5 52	8 12,7	20 39	4,406	44,7
Mars 2	2,0	13 33	21 19,2	5 10	8 9,0	20 51	4,500	43,8
12	2,0	12 50	20 37,4	4 29	8 6,5	20 58	4,616	42,7
22	1,9	12 10	19 57,0	3 49	8 5,3	21 2	4,751	41,5
Avril 1	1,9	11 30	19 18,0	3 9	8 5,4	21 1	4,898	40,2
11	1,8	10 53	18 40,2	2 31	8 6,9	20 57	5,054	39,0
21	1,7	10 17	18 3,6	1 53	8 9,5	20 48	5,214	37,8
Mai 1	1,7	9 43	17 28,2	1 17	8 13,4	20 36	5,373	36,7
11	1,6	9 10	16 53,7	0 41	8 18,2	20 20	5,529	35,6
21	1,5	8 38	16 20,1	0 5	8 23,9	20 1	5,678	34,7
31	1,5	8 8	15 47,2	*23 27	8 30,3	19 39	5,817	33,9
Juin 10	1,4	7 38	15 14,9	22 52	8 37,3	19 14	5,943	33,1
20	1,4	7 9	14 43,2	22 18	8 44,9	18 45	6,056	32,5
30	1,4	6 40	14 11,8	21 43	8 52,9	18 14	6,152	32,0
Juill. 10	1,3	6 12	13 40,7	21 9	9 1,1	17 40	6,230	31,6
20	1,3	5 45	13 9,9	20 35	9 9,6	17 4	6,290	31,3
30	1,3	5 17	12 39,1	20 1	9 18,2	16 26	6,331	31,1
Août 9	1,3	4 50	12 8,4	19 27	9 26,9	15 46	6,351	31,0
19	1,3	4 23	11 37,7	18 52	9 35,5	15 5	6,351	31,0
29	1,3	3 56	11 6,9	18 18	9 44,1	14 23	6,331	31,1
Sept. 8	1,3	3 28	10 35,9	17 43	9 52,5	13 41	6,290	31,3
18	1,3	3 0	10 4,7	17 9	10 0,6	12 59	6,229	31,6
28	1,3	2 32	9 33,1	16 34	10 8,4	12 18	6,149	32,0
Oct. 8	1,4	2 4	9 1,1	15 58	10 15,8	11 39	6,051	32,5
18	1,4	1 34	8 28,7	15 23	10 22,7	11 1	5,937	33,2
28	1,5	1 4	7 55,6	14 47	10 29,0	10 27	5,808	33,9
Nov. 7	1,5	0 33	7 21,8	14 11	10 34,6	9 56	5,667	34,8
17	1,6	0 0	6 47,3	13 34	10 39,5	9 30	5,517	35,7
27	1,6	*23 23	6 11,9	12 57	10 43,4	9 9	5,361	36,7
Déc. 7	1,7	22 48	5 35,4	12 19	10 46,3	8 54	5,202	37,9
17	1,8	22 11	4 57,9	11 41	10 48,1	8 46	5,046	39,0
27	1,8	21 32	4 19,2	11 2	10 48,7	8 45	4,897	40,2
37	-1,9	20 51	3 39,2	10 23	10 48,2	+ 8 51	4,759	41,4

* Passages à 0^h 1^m 7 et à 23^h 57^m 3, le 25 janvier. Couchers à 0^h 2^m et à 23^h 58^m, le 22 mai. Levers à 0^h 0^m et à 23^h 57^m, le 17 novembre.

II/ PERIODE DE REVOLUTION DE GANYMEDE ET CALLISTO:

Les quatre lunes principales de la planète géante du système solaire ont été découvertes par Galilée en 1610 avec une lunette modeste. Une paire de jumelles suffit à les observer. En partant de Jupiter on rencontre respectivement les orbites de Io (I), Europe (II), Ganymède (III) et Callisto (IV). A cause de leurs mouvements autour de la planète-reine, cette propriété ne permet pas de les identifier.

1°) Nom des satellites photographiés:

a/ le coup d'oeil du spécialiste

n° du satellite	I	II	III	IV
magnitude	4,8	5,2	4,6	5,5

III est donc le satellite le brillant.

IV est donc le satellite le brillant.

Sachant que seuls (III) et (IV) sont toujours présents sur les photos a, b et c, déterminer leur position sur a, b et c.

b/ vérification (voir annexe 2)

Identifier également Io et Europe .

2°) Ordre de grandeur des périodes de révolution de (III) et (IV):

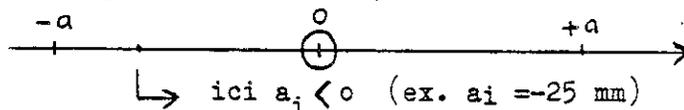
L'observation visuelle entre le 1/1 et le 9/1 a montré :

- que (III) n'est passé qu'une fois devant, puis une fois derrière le globe jovien (entre les clichés a et b). Sa période T de révolution est donc T approchée \simeq \pm 1 jour

- que (IV) n'a effectué qu'un seul passage devant Jupiter (entre a et b) T approchée \simeq \pm 1 jour

3°) L'équation miracle ou la calculatrice programmable au secours de l'astronome:

a/ définitions : on admettra que le mouvement apparent du vieux roi de l'Olympe, vu de la Terre, est alternatif rectiligne, mieux: rectiligne sinusoïdal. La justification est donnée à l'annexe 3. Soit a l'amplitude, a_i l'abscisse du satellite sur le cliché n° i (par rapport à un repère centré sur le centre de l'image planétaire dirigé vers la droite)



b/ mesures des a_i : Avec une règle graduée, mesurer au demi-millimètre près les a_i des satellites (III) et (IV).

n° du cliché	a	b	c
a_i en mm pour (III)			
a_i en mm pour (IV)			

c/ équation miracle ou recherche d'une valeur plus fine de T.:

* Interressons nous à une seule des lunes à la fois: calculons l'ordre de grandeur de la pulsation de son déplacement, c'est à dire le nombre de degrés parcourus par minute:

$$\omega = 360/T \text{ en } \circ/\text{mn} \quad \omega \text{ approchée } \simeq \dots\dots\dots \circ/\text{mn}$$

* Calculer l'intervalle de temps écoulé entre les photos a et b $\tau = \dots\dots\text{mn}$
entre les photos a et c $\tau' = \dots\dots\text{mn}$

* alors la bonne valeur de ω (donc de T) vérifie l'équation:

$$\Sigma = a_1 \sin \omega (\tau - \tau') - a_3 \sin \omega (\tau) + a_2 \sin \omega (\tau') = 0 \quad \text{eh oui!}$$

(voir annexe 3)

* avec les valeurs a_1, a_2, a_3, τ et τ' obtenues et placées dans Σ , en partant de ω approchée, rechercher par approches successives une valeur de ω qui annule Σ en utilisant une calculatrice programmable.

ω en \circ/mn	ω appr. :			
Σ				

* D'où pour le satellite III $\omega \approx \dots \text{ }^\circ/\text{mn}$ $T_{\text{III}} = \dots \text{ jours}$
 et pour le satellite IV $\omega \approx \dots \text{ }^\circ/\text{mn}$ $T_{\text{IV}} \approx \dots \text{ jours}$

* Les périodes ainsi calculées sont celles rapportées à l'observateur terrestre. Mais la Terre tourne autour du Soleil, aussi la période observée est plus courte que celle rapportée aux étoiles: période sidérale. Calculer la période sidérale pour III et IV

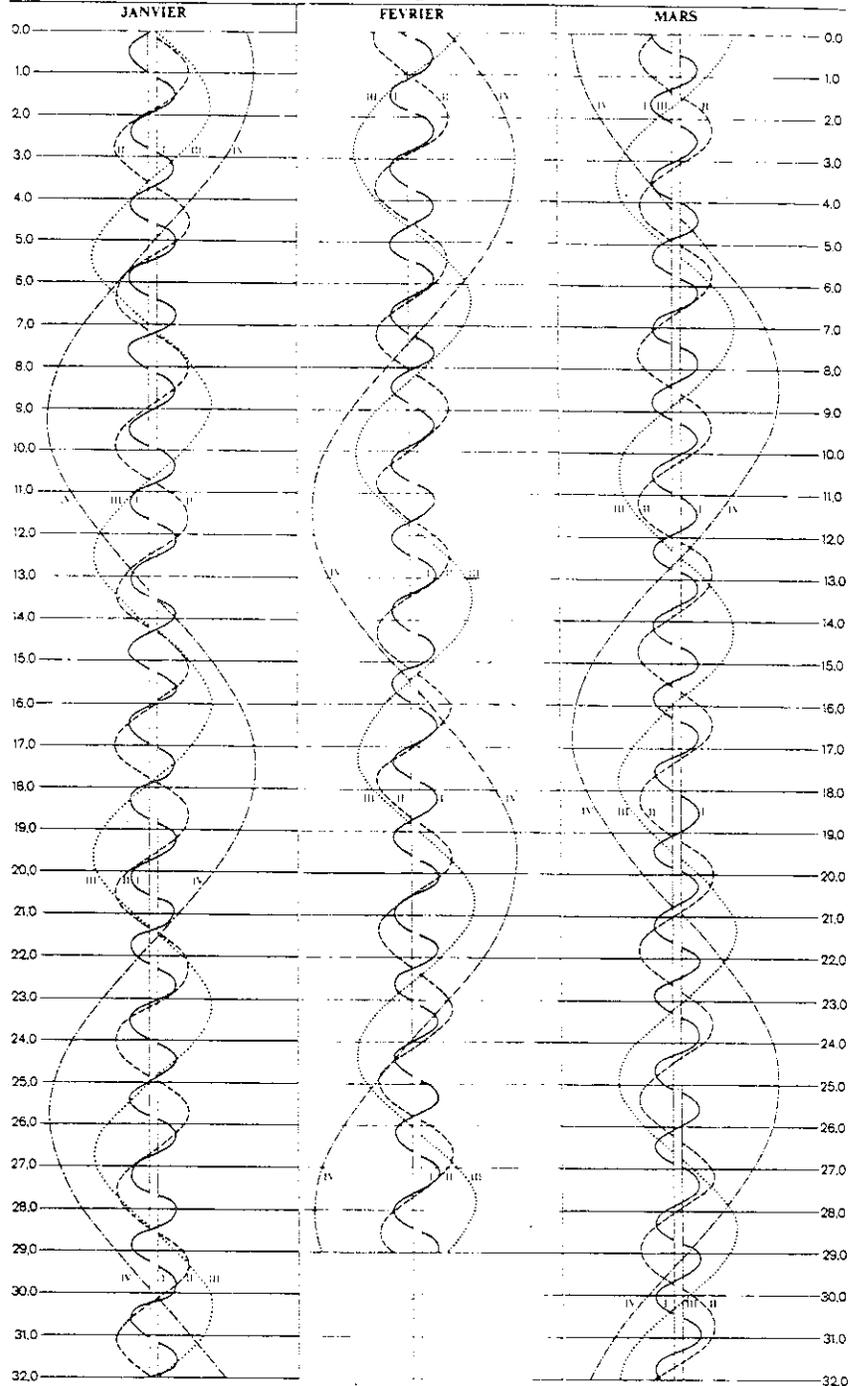
avec: $\frac{1}{T_{\text{sidérale}}} \approx \frac{1}{T} - \frac{1}{T_{\text{révolution de la terre autour du soleil}}}$

ANNEXE 2

158

ANNUAIRE DU BUREAU DES LONGITUDES

CONFIGURATIONS DES SATELLITES GALILÉENS DE JUPITER EN 1979



vus à travers une lunette.

ANNEXE 3

1) Approximations: compte tenu de la faible excentricité de leur orbite (Io : $6 \cdot 10^{-4}$, Europe : 10^{-3} , Ganymède : $1,4 \cdot 10^{-3}$, Callisto : $7,4 \cdot 10^{-3}$), le mouvement des satellites sera considéré comme circulaire et uniforme.

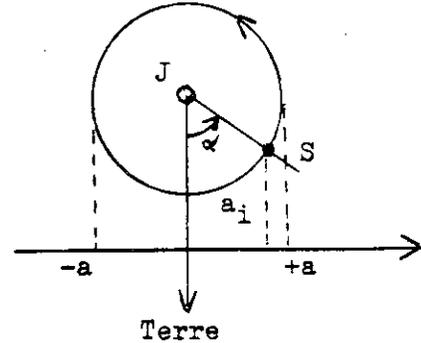
Du fait de la faible inclinaison du plan de leur mouvement (moins de 4°); sur la ligne de visée Terre-Jupiter, leur déplacement vu de la Terre sera considéré comme rectiligne.

2) Hypothèses de départ:

$$a_i = a \sin \alpha \quad \text{avec} \quad \alpha = \omega t + \Phi_0$$

prenons l'origine des temps à la photo a

$$\begin{cases} a_1 = a \sin \Phi_0 & (1) \\ a_2 = a \sin (\omega \tau + \Phi_0) & (2) \\ a_3 = a \sin (\omega \tau' + \Phi_0) & (3) \end{cases}$$



3) Obtention de ω , a et Φ_0 :

On a 3 équations (1), (2), (3) et 3 inconnues a, ω, Φ_0 .

$$\begin{cases} \frac{a_1}{a} = \sin \Phi_0 & (1') \\ \frac{a_2}{a} = \sin \Phi_0 \cos \omega \tau + \cos \Phi_0 \sin \omega \tau & (2') \quad \sin(a+b) = \sin a \cdot \cos b + \cos a \cdot \sin b \\ \frac{a_3}{a} = \sin \Phi_0 \cos \omega \tau' + \cos \Phi_0 \sin \omega \tau' & (3') \end{cases}$$

dans $\left. \begin{matrix} (1') \\ (2') \end{matrix} \right\} \Rightarrow \frac{a_2}{a} = \frac{a_1}{a} \cos \omega \tau \pm \sqrt{1 - \frac{a_1^2}{a^2}} \cdot \sin \omega \tau$ car $\sin^2 \Phi_0 + \cos^2 \Phi_0 = 1$
 \pm suivant le signe de $\cos \Phi_0$.

d'où: $a_2 = a_1 \cos \omega \tau \pm \sqrt{a^2 - a_1^2} \cdot \sin \omega \tau$ (4)

(1') dans (3') $a_3 = a_1 \cos \omega \tau' \pm \sqrt{a^2 - a_1^2} \cdot \sin \omega \tau'$ (5)

(4) $\Rightarrow \pm \sqrt{a^2 - a_1^2} = \frac{a_2 - a_1 \cos \omega \tau}{\sin \omega \tau}$ (6)

(6) dans (5) $a_3 = a_1 \cos \omega \tau' + \frac{a_2 - a_1 \cos \omega \tau}{\sin \omega \tau} \sin \omega \tau'$

d'où $a_3 \sin \omega \tau = a_1 \cos \omega \tau' \sin \omega \tau + a_2 \sin \omega \tau' - a_1 \cos \omega \tau \sin \omega \tau'$

$$\begin{aligned} a_3 \sin \omega \tau - a_2 \sin \omega \tau' &= a_1 (\cos \omega \tau' \sin \omega \tau - \cos \omega \tau \sin \omega \tau') \\ &= a_1 \sin \omega (\tau - \tau') \end{aligned}$$

Donc $a_1 \sin \omega (\tau - \tau') - a_3 \sin \omega \tau + a_2 \sin \omega \tau' = 0$

de (6) on tire: $a = \sqrt{\left(\frac{a_2 - a_1 \cos \omega \tau}{\sin \omega \tau}\right)^2 + a_1^2}$

(... à suivre)

P. LE FUR (Le Mans)

REABONNEZ-VOUS AUX CAHIERS CLAIRAUT SANS ATTENDRE !!!

Voir les conditions de réabonnement (n° 25 à 28) et d'adhésion au CLEA (1984) en page 2.