

# LA ROTATION, LA CARTOGRAPHIE ET LA PHOTOMETRIE DES SATELLITES DE JUPITER

AUDOUIN DOLLFUS et JOHN B. MURRAY

*Observatoire de Meudon, France*

**Résumé.** Les 4 satellites galiléens de Jupiter ont été observés fréquemment depuis 20 ans avec les télescopes à haute résolution du Pic-du-Midi. Des configurations permanentes ont été vues et photographiées à leur surface. Elles ont fait l'objet de cartes-planisphères. Leur identification prouve que les périodes de rotation sont synchrones avec les périodes de révolution pour chacun des 4 satellites, avec un axe de rotation perpendiculaire au plan des orbites dans la limite de la précision des mesures. Les passages des satellites devant le disque de Jupiter donnent une méthode simple pour déterminer les contrastes et les albedos des différentes taches observées sur les satellites. Pour Callisto, les albedos pour l'angle de phase  $5^\circ$  couvrent le domaine de 0,19 à 0,09, le contraste est entre les différentes régions valant 0,5; ces valeurs indiquent une surface de type lunaire, bien que la faible densité entraîne une structure interne différente. Pour Europe, les albedos très élevés sont compris entre 0,73 et 0,52 avec un faible contraste de 0,3, tout à fait compatible avec un dépôt de neige ou de givre, l'observation spectroscopique indiquant la présence de l'eau. Pour Ganymède, les contrastes très élevés peuvent atteindre 0,7 et les albedos s'étendent de 0,5 à 0,15; des grandes étendues de neige sur un sol du type de Callisto rendraient compte de ces valeurs. Io a un albedo très élevé de 0,83 dans la région équatoriale, mais de 0,46 au voisinage des deux pôles assombris; la couleur jaune et l'absence des bandes de  $H_2O$  dans le spectre indiquent une surface de composition différente.

**Abstract.** The four Galilean satellites of Jupiter have been observed frequently during the past 20 years with the high resolution telescopes of Pic-du-Midi. Reliable features are seen and photographed at their surface. They have been mapped on planispheres. Their identification proves that the rotation period is synchronous with the revolution for each satellite, with an axis not significantly departing from the normal to the orbital plane. The transits of satellites in front of the limb-darkened Jupiter disk provide a technique for accurate contrast and albedo determinations of the features observed. For Callisto, the albedos at  $5^\circ$  phase angle range from 0.19 to 0.09 with a contrast 0.5, indicating a lunar type surface, despite the low density involving a different internal structure. For Europa, the albedos are very high, between 0.73 and 0.52, with low contrasts of 0.3, readily explainable by a snow or frost deposit, the spectroscopic evidence indicating water. For Ganymedes, the very high contrasts reach 0.7, and albedos span from 0.50 to 0.15; patches of snow on Callisto-type terrains are suggested. Io has very high albedos of 0.83 for the equatorial zone to 0.46 for the two darkened poles; the yellow color and absence of  $H_2O$  bands in the spectrum indicate a special surface composition.

## 1. Introduction

Les quatre satellites galiléens de Jupiter, Io, Europe, Ganymède et Callisto mesurent entre 3100 km pour Europe et 5500 km pour Ganymède et ces corps ont des volumes comparables à ceux de la Lune, Mercure ou Mars. Ce sont donc des objets célestes d'une importance évidente. De plus, leur situation en orbite autour de Jupiter et, par conséquent, leur origine cosmogonique particulière, contribuent encore à leur conférer une valeur spéciale pour la compréhension des grands problèmes sur l'origine et l'évolution du système solaire.

Vu de la Terre, leur diamètre apparent est compris entre  $0,8''$  et  $1,2''$ , tandis que le pouvoir séparateur angulaire de nos meilleurs télescopes peut atteindre, lorsque la turbulence atmosphérique l'autorise exceptionnellement,  $0,15''$ . C'est dire que la

surface de leur disque apparent comprend 20 à 60 données d'information indépendantes et la couverture topologique est suffisante pour permettre l'observation des configurations à leur surface. Ainsi, l'observateur discerne au télescope des taches claires ou sombres, il peut les comparer et suivre leurs transformations selon les paramètres orbitaux.

L'analyse de ces propriétés de surface n'est pas aisée; elle a nécessité, pour nous, l'emploi des télescopes de haute montagne du Pic-du-Midi. Il faut alors que Jupiter soit assez haut dans le ciel, que l'observateur se trouve sur place, que le télescope soit disponible, que le ciel soit dégagé de nuages, que les images télescopiques soient exceptionnelles, et ces contraintes étalèrent le programme sur de nombreuses années avant que ne puisse être assemblé le nombre d'observations nécessaire.

De 1941 à 1945, B. Lyot, ainsi que H. Camichel et M. Gentili ont entrepris une première reconnaissance des configurations de surfaces des satellites, avec les réfracteurs de 38 à 60 cm alors disponibles au Pic-du-Midi (Camichel *et al.*, 1943; Lyot, 1953). Notre programme de surveillance a débuté en 1958 avec le réfracteur de 60 cm, puis le réflecteur de 107 cm du Pic-du-Midi, ainsi que la grande lunette de 83 cm de Meudon.

## 2. Observations recueillies

La figure 1 montre l'aspect télescopique des quatre satellites, pour différentes longitudes orbitales comptées de 0 à 360° à partir de la conjonction supérieure géocentrique. Les grossissements employés sont généralement voisins de 1000.

Io, dont la couleur est jaune, montre des régions polaires fortement assombries, tandis que les contrées équatoriales, très claires, sont marbrées de faibles traînées souvent méridiennes.

Europe, très blanc, révèle au contraire des régions polaires toujours bien claires, et quelques marbrures très pâles, de préférence dans la zone équatoriale.

Ganymède, beaucoup plus facile à observer, montre aisément des régions blanches et des taches sombres formant de forts contrastes, la région polaire nord est volontiers claire et très blanche.

Callisto est sombre; l'observation, un peu gênée par le manque de lumière, laisse percevoir des taches permanentes de contrastes plus modérés.

Nos séries visuelles comportent maintenant près de 50 observations. A cette documentation, s'ajoutent les séquences d'observation de Lyot, Camichel et Gentili recueillies de 1941 à 1945 mentionnées ci-dessus, 7 dessins de Ganymède et 3 de Callisto obtenus par A. Danjon à Strasbourg 1934 avec un instrument plus petit de 48,6 cm (Danjon, 1944), 2 observations isolées de Ganymède par E. Whitaker à Catalina (Arizona).

Le degré de confiance que l'on peut prêter à ces explorations est illustré par la figure 2 sur laquelle ont été groupées six observations indépendantes de Ganymède à peu près sous la même présentation orbitale. Le dessin de Danjon relève d'un télescope moins puissant. Tous les observateurs s'accordent à voir une région Nord très blanche, limitée par un rebord sombre, avec une tache sombre au nord-est, des marbrures en

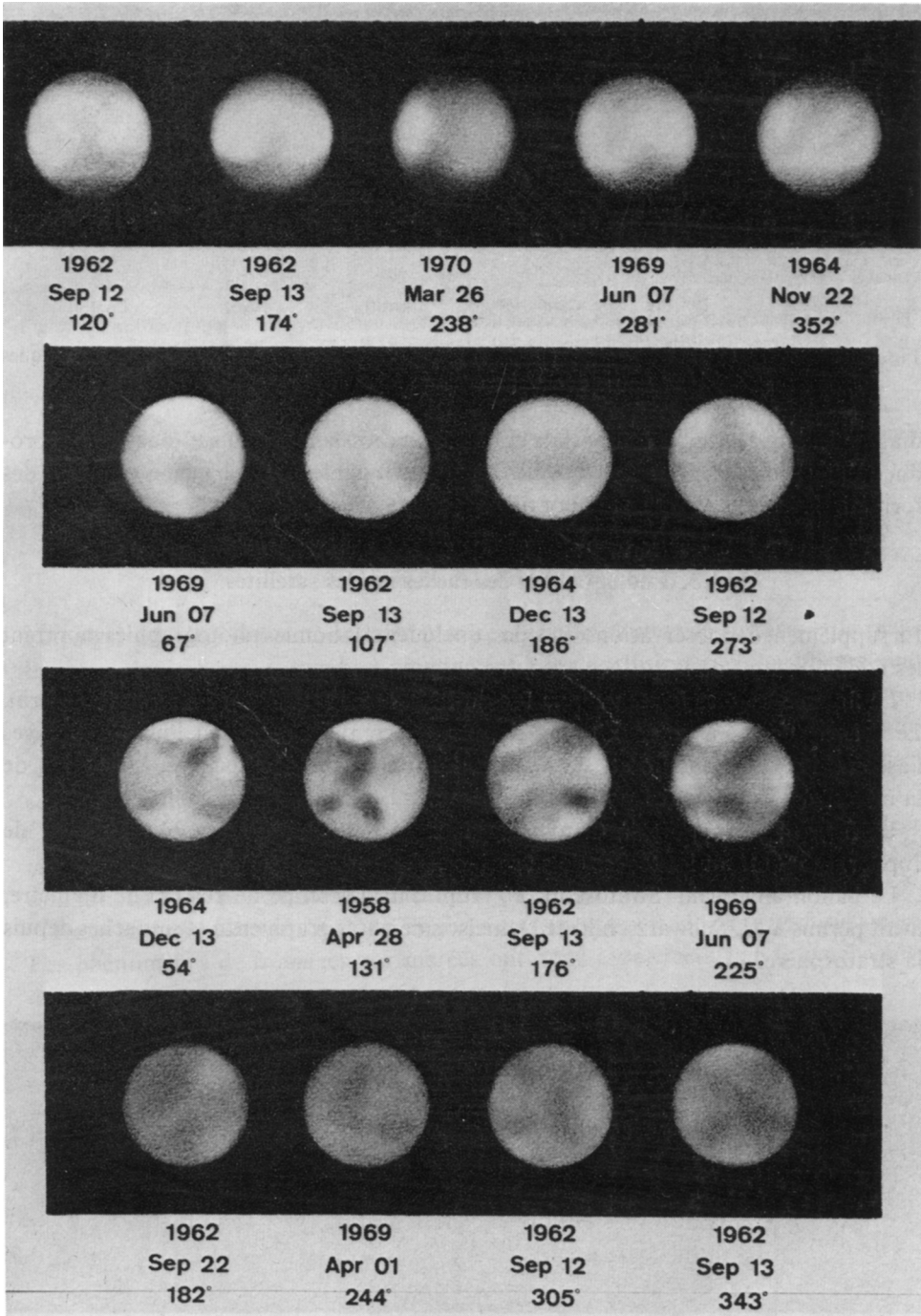


Fig. 1. Observation télescopique des satellites de Jupiter, par A. Dollfus. Réflecteurs de 107 cm du Pic-du-Midi. Grossissement 790 à 1200. *De haut en bas*: Io, Europe, Ganymède et Callisto. Les dessins sont présentés le nord en haut. Les angles indiqués donnent les longitudes planétocentriques comptées à partir de la conjonction supérieure.

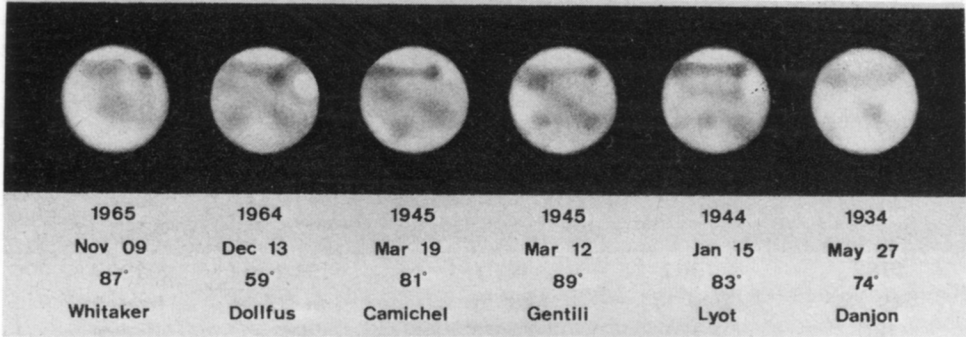


Fig. 2. Six observations télescopiques de Ganymède vu sous des longitudes planétocentriques voisines, par six observateurs différents. Le nord est en haut.

diagonale dans la région équatoriale et une formation sombre au sud-ouest. La reproductibilité des taches montre qu'elles sont attribuables au sol même et non à des formations atmosphériques temporaires.

### 3. Photographies des taches sur les satellites

En supplément des observations visuelles, quelques très bonnes photographies montrent les configurations de la surface avec une certaine évidence.

La figure 3 montre Io, obtenu au Pic-du-Midi le 22 Novembre 1964 par P. Guerin. Le tirage, effectué avec deux temps de pose différents, montre sur l'une des images l'assombrissement polaire et, sur l'autre, les marbrures équatoriales. Un dessin de la même région est donné pour comparaison.

La figure 4 se rapporte à Ganymède, localisé exactement au bord du disque de Jupiter, et montrant les taches de sa surface.

Le ballon américain 'Stratoscope 2', muni d'un télescope de 100 cm de diamètre, avait permis à M. Schwarzschild et Danielson de photographier Io et ses taches depuis la stratosphère.

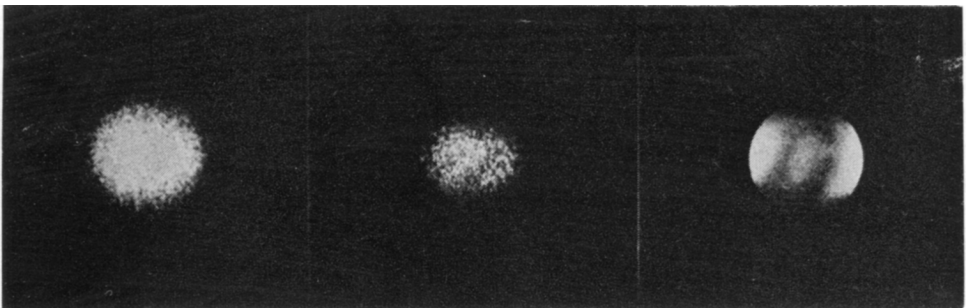


Fig. 3. Photographie de Io le 22 Novembre 1964 à 21<sup>h</sup>50<sup>m</sup> TU. Réflecteur de 107 cm du Pic-du-Midi. Observateur P. Guerin. *A gauche et au centre*: deux tirages de la même image. *A droite*: dessin par Lyot en 1943 sous la même présentation. Le nord est en bas.

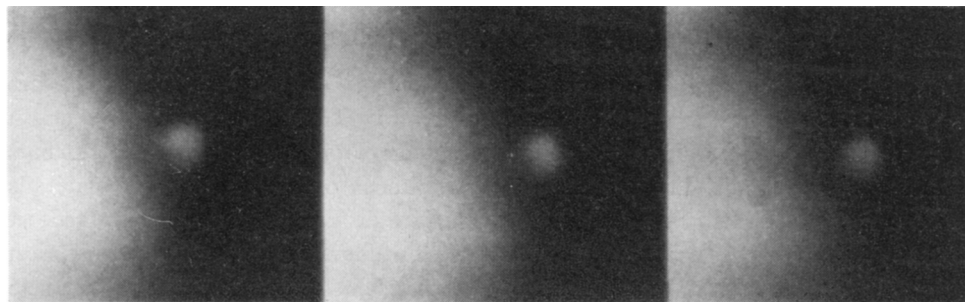


Fig. 4. Photographie de Ganymède au moment du début du passage devant le disque de Jupiter le 13 Septembre 1962 vers 22<sup>h</sup>07<sup>m</sup> TU. Réflecteur de 107 cm du Pic-du-Midi. Observateur A Dollfus. Le nord est en bas.

D'autres clichés du Pic-du-Midi, beaucoup plus nombreux, se rapportent aux taches des satellites en projection devant le disque de Jupiter, et quelques-unes sont reproduites et commentées ci-après, figures 6 et 7.

#### 4. Périodes de rotation des satellites

L'analyse détaillée des récurrences des mêmes configurations de surface, et la réalisation des planisphères qui suivent, conduisent à la conclusion que chacun des quatre satellites tourne sur lui-même autour d'un axe sensiblement perpendiculaire au plan de leur orbite. Les périodes de rotation sont synchrones avec celle des révolutions autour de la planète, et ces astres présentent donc toujours la même face à l'astre central, comme dans le cas de la Lune pour la Terre.

Les mesures des positions des taches liées à l'exécution des planisphères décrits ci-dessous conduisent à des valeurs plus exactes des périodes de rotation et à des estimations de la précision. Le tableau I ci-dessous donne les résultats.

Dans les quatre cas, les limites d'erreur recouvrent la période de révolution sidérale. Les phénomènes de freinages par marées ont donc exactement figé le synchronisme des rotations et révolutions, à la précision des mesures.

TABLEAU I  
Satellites de Jupiter  
(Période de rotation et révolution synodique)

Satellite		Période	Jours	Heures	Minutes	Secondes
Io	(J I)	rotation	1	18	28	35,9 ± 0,2
		révolution	1	18	28	35,9
Europe	(J II)	rotation	3	13	17	56 ± 6
		révolution	3	13	17	53,7
Ganymède	(J III)	rotation	7	03	59	36 ± 1
		révolution	7	03	59	35,9
Callisto	(J IV)	rotation	16	18	05 ± 2	
		révolution	16	18	05	06,9

### 5. Cartographie des configurations de surface

L'analyse de l'ensemble de la documentation conduit à la mise en planisphère des taches observées sur les sols de ces astres. Le travail cartographique, entrepris à l'Observatoire de Meudon, n'est pas encore achevé car de nouveaux documents viennent d'être acquis. Les mesures de coordonnées ont déjà porté sur 7 détails caractéristiques de la surface de Io, 4 de la surface de Europe, 4 pour Ganymède et 15 pour Callisto. Le système de longitude et latitude est celui défini par l'Union Astronomique Internationale à l'Assemblée Générale de Sydney en Août 1973. L'axe de rotation est supposé exactement perpendiculaire au plan orbital. Le méridien origine contient le point sub-terrestre lors de la conjonction supérieure exacte à la phase nulle. La longitude du méridien central augmente avec le temps.

La figure 5 reproduit les quatre planisphères provisoires. Le nord est en haut; les coordonnées sont indiquées pour les latitudes  $0^\circ$ ,  $\pm 30^\circ$  et  $\pm 60^\circ$ , et pour les longitudes de  $30^\circ$  en  $30^\circ$ . Le méridien origine (longitude  $0^\circ$ ) est à droite; le centre de chaque carte correspond à la longitude  $180^\circ$  et le dernier méridien à gauche donne  $360^\circ$ .

On remarque les caractères très différents des configurations de surface pour les quatre satellites.

### 6. Passage des satellites devant le disque de Jupiter

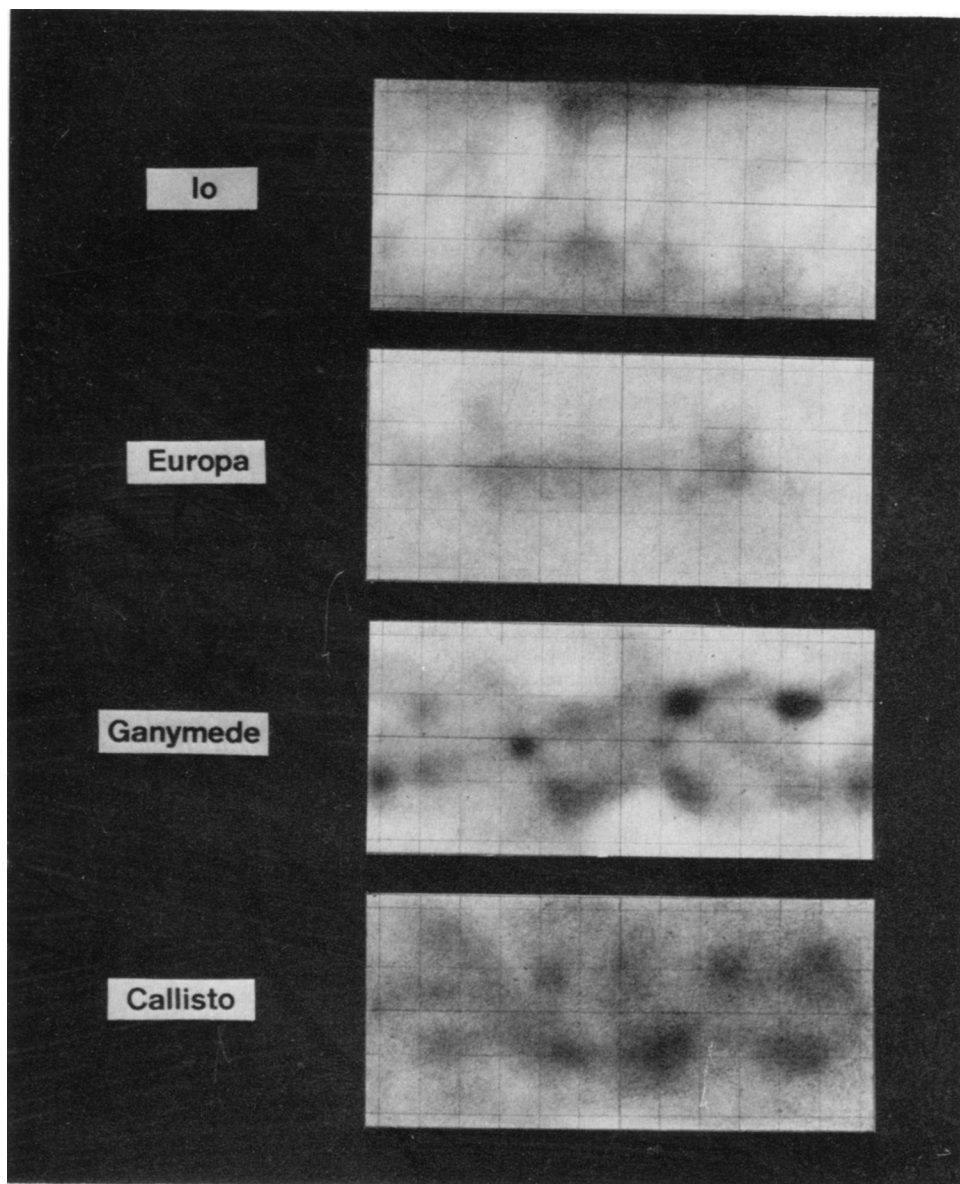
Le satellite Io se projette devant le disque de Jupiter toutes les 42 heures; Europe passe tous les trois jours et demi; le cas se présente pour Ganymède une fois toutes les semaines. Dans le cas de Callisto, le phénomène, beaucoup plus rare, se produit tous les 17 jours, mais seulement pendant deux années consécutives tous les onze ans, lorsque la Terre est suffisamment proche du plan orbital des satellites.

Les satellites se projettent alors sur le fond brillant de la planète, dont la luminance correspond au point subsolaire à un albedo  $A_0$  de l'ordre de 0,7 et s'assombrit vers le bord du disque en fonction de la distance planétocentrique  $\theta$  à peu près comme la loi de Lambert  $A = A_0 \cos \theta$ .

Les régions du satellite apparaissent plus brillantes ou plus sombres que le fond sur lequel ils se projettent, selon que leurs albedos sont plus forts ou plus faibles que celui de la planète à la distance  $\theta$  du point subsolaire. Ces régions disparaissent totalement lorsque leur albedo vaut exactement celui du fond. Comme le satellite se déplace sur le disque en raison du mouvement orbital,  $\cos \theta$  varie et l'on observe différentes configurations de taches claires ou sombres. Ces apparences donnent les luminances des différentes régions de la surface du satellite.

La figure 6 montre une photographie du satellite Io près du bord du disque de Jupiter, ainsi que son ombre projetée sur le disque. Les régions équatoriales sont beaucoup plus brillantes que le limbe de Jupiter, ce qui n'est pas le cas des régions polaires, et on observe une sorte d'ellipse lumineuse.

La figure 7 montre Ganymède au centre du disque et son ombre projetée sur la planète. Le diamètre de l'ombre est augmenté par la pénombre et les effets photo-



**Fig. 5.** Planisphères des satellites de Jupiter d'après l'ensemble des observations disponibles en 1972, par J. B. Murray. Le nord est en haut. Les longitudes du centre des cartes sont  $180^\circ$  et correspondent à la conjonction inférieure. Les longitudes croissent de droite à gauche. Les coordonnées sont données de  $30^\circ$  en  $30^\circ$ .

graphiques; mais malgré cela, l'image du satellite est vue plus petite que l'ombre car ce n'est pas le disque entier que l'on observe, mais seulement une tache sombre de la surface ne couvrant qu'une partie du disque. Les autres régions du disque apparent, beaucoup plus claires, ont un éclat comparable à celui du fond et disparaissent presque

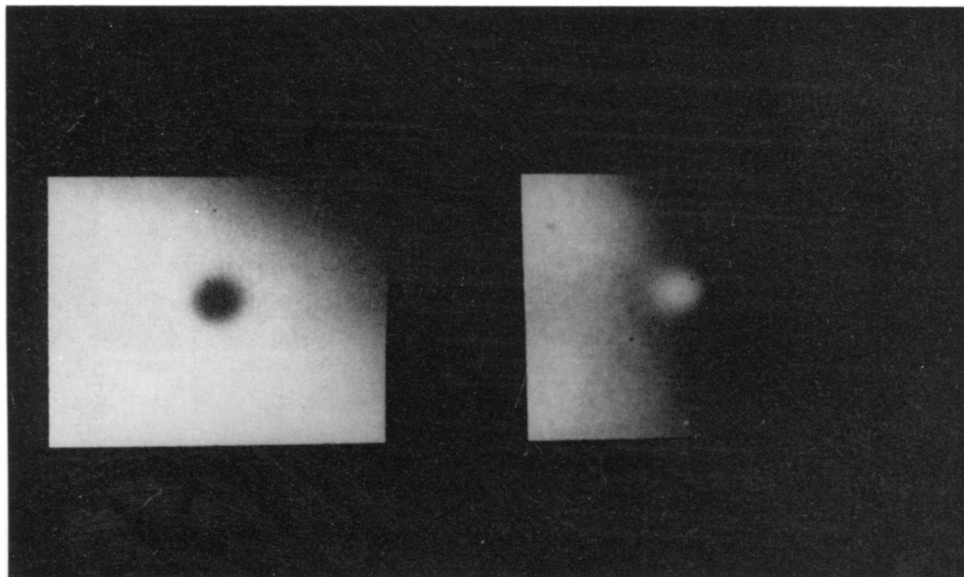


Fig. 6. *A droite*: Photographie de Io au bord du disque de Jupiter le 14 Septembre 1962 à 00<sup>h</sup>42<sup>m</sup> TU. Observateur A. Dollfus. Noter les régions polaires assombries et une marbrure méridienne à gauche. *A gauche*: Photographie de l'ombre de Io projetée sur le disque de Jupiter, le 26 Novembre 1964 à 22<sup>h</sup>23<sup>m</sup> TU. Observateur P. Guerin. Réflecteur de 107 cm du Pic-du-Midi. Le nord est en bas.

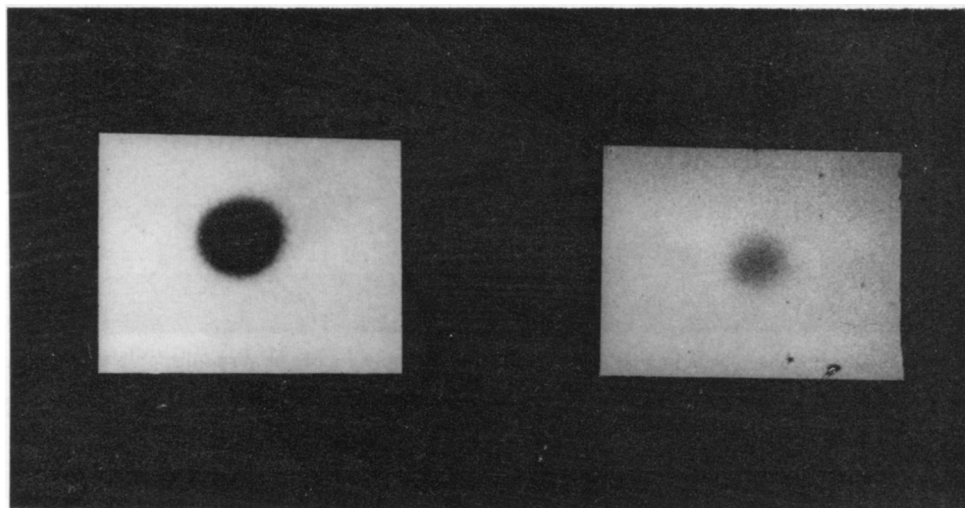


Fig. 7. Photographie de Ganymède en projection sur le disque de Jupiter (à droite) le 13 Septembre 1962 à 23<sup>h</sup>00<sup>m</sup> TU et de son ombre (à gauche). Réflecteur de 107 cm du Pic-du-Midi. Observateur A. Dollfus. Le nord est en bas.



complètement; l'une d'entre elles, en haut à gauche, légèrement plus brillante, se distingue encore faiblement en plus clair. Si Ganymède avait un assombrissement près du limbe, on observerait un anneau sombre qui n'est pas décelé; la surface de ce satellite, comme celle de la Lune, n'est donc pas uniformément lisse, mais tourmentée.

Les observations visuelles révèlent tous ces caractères avec encore beaucoup plus de précision.

La figure 8 montre les étapes successives d'un passage de Ganymède, observé le 13-14 Septembre 1962 au Pic-du-Midi. On voit, sur l'image centrale, les régions les plus brillantes avec un albedo encore légèrement supérieur à celui des nuages de Jupiter. Les taches les plus sombres apparaissent sur l'image de gauche encore plus assombries que le bord du limbe de Jupiter pour un angle de phase de  $2^{\circ}5$ .

La figure 9 concerne un passage de Callisto. L'astre, beaucoup plus sombre que la surface nuageuse de Jupiter, apparaît comme un disque noir (image de droite), avec une région moins sombre en bas à gauche. Cette région devient un peu plus claire que le bord du limbe sur le dessin de  $21^{\text{h}}42^{\text{m}}$ . L'observation de  $21^{\text{h}}55^{\text{m}}$  montre l'égalité d'éclat des régions les plus sombres et du bord extrême du limbe.

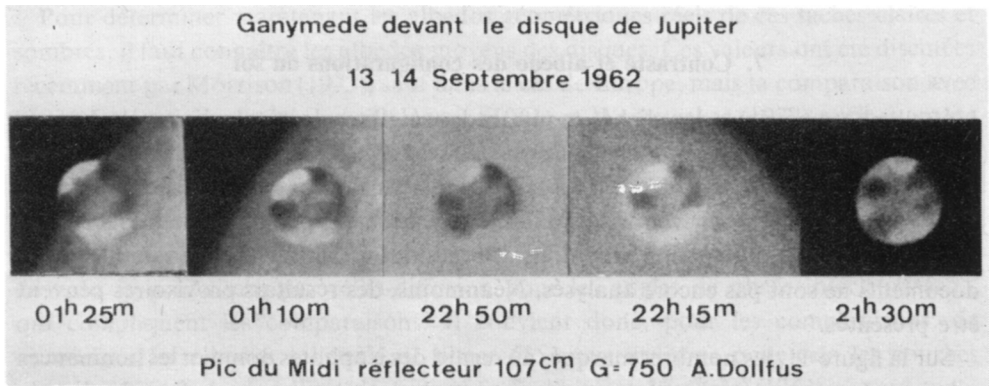


Fig. 8. Passage de Ganymède devant le disque de Jupiter.

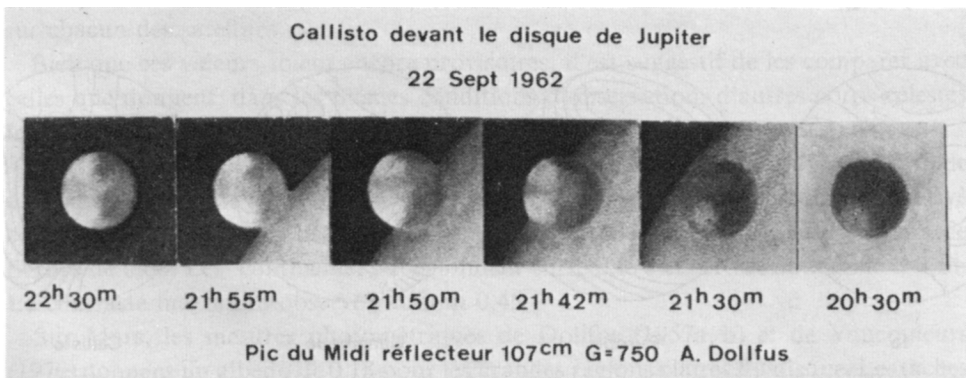


Fig. 9. Passage de Callisto devant le disque de Jupiter.

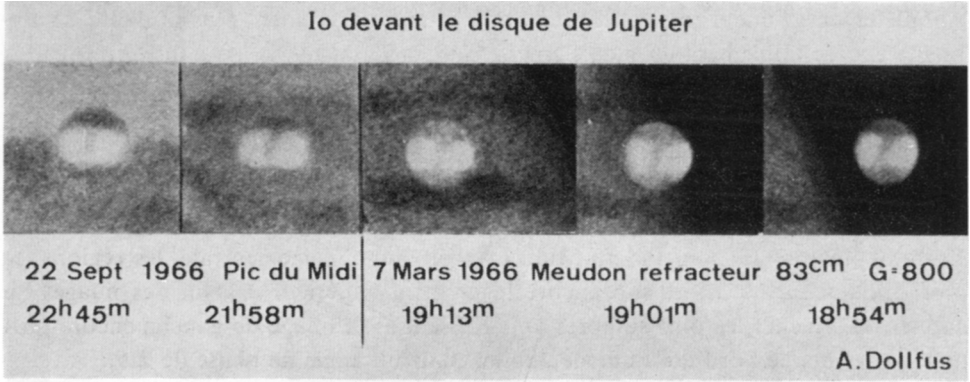


Fig. 10. Passage de Io devant le disque de Jupiter.

Deux passages d’Io sont combinés dans la figure 10, l’un observé au Pic-du-Midi le 22 Septembre 1966, l’autre à Meudon, avec la grande lunette de 83 cm, le 7 Mars 1966. On peut encore étudier les jeux de contrastes et d’albedo.

**7. Contraste et albedo des configurations du sol**

L’étude photométrique des clichés montrant les satellites devant le disque de Jupiter, et l’analyse des observations visuelles de passages du type de celles reproduites figures 8, 9 et 10 permettent de construire les isophotes à la surface des satellites.

Le travail n’est pas achevé; de nouvelles observations de passages ont été recueillies récemment, ainsi que des observations d’occultations mutuelles de satellites. Ces documents ne sont pas encore analysés. Néanmoins, des résultats provisoires peuvent être présentés.

Sur la figure 11, les nombres marqués au regard des isophotes donnent les luminances relatives,  $L$ , rapportées à celles des régions les plus sombres de la surface du disque. Le contraste maximum entre les taches du sol est défini par  $(L_{max} - L_{min})/L_{max}$ . Sur Europe, figure 11, les contrastes restent faibles, toujours inférieurs à 0,3. Sur Ganymède,

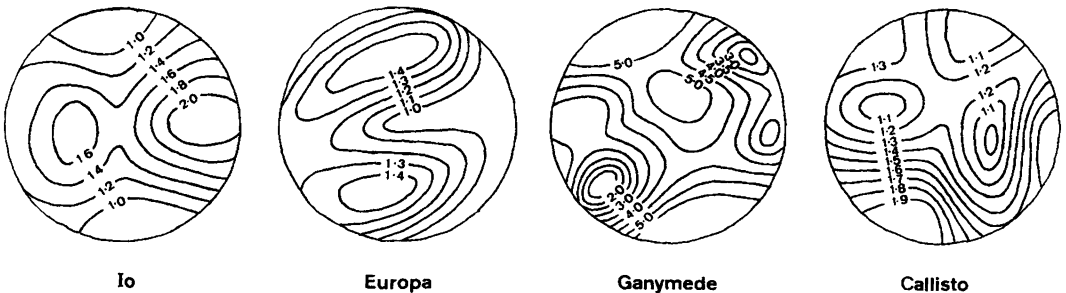


Fig. 11. Isophotes sur les disques des satellites de Jupiter en projection devant la planète. Les nombres donnent les luminances relatives rapportées aux régions les plus sombres.

**TABLEAU II**  
**Contrastes et albedos des taches sur les satellites**

	Albedo géométrique pour l'ensemble du disque		Contraste maximum	Albedo géométrique pour la phase 5°	
	Phase 0°	Phase 5°		Régions les plus claires	Régions les plus sombres
Io	0,82	0,68	0,5	0,83	0,46
Europe	0,75	0,65	0,3	0,73	0,52
Ganymède	0,53	0,46	0,7	0,50	0,15
Callisto	0,20	0,14	0,5	0,19	0,09
Lune	–	0,12	0,45	0,14	0,08
Mars (sol)	–	0,16	0,40	0,18	0,10
Mars (calottes polaires vues sous 70°)			0,7	–	–

ces contrastes sont au contraire extraordinairement élevés et atteignent 0,7 (le noir et blanc donne 1,0). Io et Callisto donnent 0,5. Ces valeurs sont reportées dans le tableau II ci-dessous.

Pour déterminer maintenant les albedos géométriques réels de ces taches claires et sombres, il faut connaître les albedos moyens des disques. Ces valeurs ont été discutées récemment par Morrison (1973), sauf dans le cas de Europe, mais la comparaison avec les déterminations antérieures de Harris (1961) et Wamstecker (1972) permettent de les reconstituer. Le tableau II donne les valeurs (première colonne de chiffres). Ces déterminations se rapportent à peu près à l'angle de phase nulle, tandis que toutes les surfaces de comparaison mesurées au laboratoire, dans la nature ou sur les autres planètes ne sont pas facilement observables sous cet éclairage. De plus, des effets de halo se produisent par rétro-diffusion pour les angles de phase inférieurs à 5°, qui compliquent les comparaisons. Il convient donc, pour les comparaisons, de normaliser les albedos à l'angle de phase 5°. Nous utilisons pour cela les courbes photométriques des satellites de Jupiter de Stebbins et Jacobsen (1962).

Les valeurs d'albedos réduites à la phase 5° sont données tableau II, pour l'ensemble du disque et finalement pour les régions les plus claires et les plus sombres observées sur chacun des satellites.

Bien que ces valeurs soient encore provisoires, il est suggestif de les comparer avec celles que donnent, dans les mêmes conditions d'observation, d'autres corps célestes tels que la Lune et Mars.

Sur la Lune, les 'mers' les plus sombres ont des albedos géométriques sous l'angle de phase 5° compris entre 0,074 et 0,096; vus sous une résolution angulaire relative comparable à celle des observations des satellites, elles donneraient des valeurs de l'ordre de 0,08. Les 'continents' s'échelonnent entre 0,096 et 0,16 et donneraient 0,14. Le contraste maximum observé vaudrait 0,45.

Sur Mars, les mesures photométriques de Dollfus (1957a, b) et de Vaucouleurs (1970) donnent un albedo de 0,18 pour les grandes régions claires du disque. Les taches les plus sombres (Syrtis Major) donnent les contrastes de 0,40 et un albedo 0,10.

Les calottes polaires de Mars, que l'on ne peut observer que très obliquement donnent, sous une inclinaison de  $70^\circ$ , une luminance 1,7 fois celle des régions claires du sol, selon Focas (1958) et cette valeur s'abaisse à 1,45 à la fin de l'été martien lorsque les poussières se sont accumulées à la surface. Sous une incidence moins rasante, le contraste serait nettement plus élevé.

Toutes ces valeurs sont reportées dans le tableau II et vont être discutées ci-dessous.

### 8. Nature de la surface des satellites

Le tableau précédent montre que Callisto a un albedo visuel moyen comparable à celui de la Lune. De plus, les contrastes entre les régions les plus claires et les plus sombres, et leurs albedos correspondants, sont semblables à ceux que montrent, sur la Lune, les mers et les continents dans les mêmes conditions d'observation. Du point de vue optique, la surface de Callisto apparaît donc du type lunaire. Cette conclusion n'était pas évidente si l'on compare les densités respectives de 1,48 et 3,34 indiquant pour Callisto une constitution interne tout à fait différente de la composition lithophile de la Lune.

Europe, au contraire, a un albedo moyen aussi élevé que 0,75, que seuls des corps très blancs tels que la magnésite, la craie fraîchement cassée ou un dépôt de neige fraîche, de givre propre ou de cristaux blancs, peuvent reproduire. Le spectre infrarouge de Europe montre les bandes caractéristiques du givre d'eau (Kuiper, 1972). Il y a donc tout lieu de penser que la surface de Europe est presque entièrement recouverte de cristaux de neige, ou givre, dont un constituant majeur doit être l'eau solidifiée. Les quelques marbrures que l'on observe à sa surface, et qui conservent un albedo assez élevé de 0,5, correspondent sans doute à des silicates répartis sur la neige, à des nappes de cendres volcaniques, ou à des roches d'origine tectonique non recouvertes.

Il reste à expliquer comment une structure superficielle d'eau cristallisée parfaitement blanche (albedo=0,73) peut rester vierge au cours des époques géologiques malgré le bombardement météoritique, l'accumulation lente de matière cosmique, etc. ..., le dépôt doit pouvoir se régénérer par exhalation d'eau, ou être assez épais pour absorber dans sa masse toute l'énergie des impacts. Une légère atmosphère animée de vent très rapide pourrait aussi contribuer à transporter les cristaux.

Le satellite Ganymède a des propriétés optiques intermédiaires entre celles de Europe et Callisto; le contraste très élevé entre les régions claires et sombres de sa surface indique deux natures. Les contrées sombres ont un albedo de 0,15, rappelant celui du sol lunaire continental. On peut penser à un sol du type de Callisto, peut-être parsemé de quelques plaques de givre éparses. Les régions claires, bien plus blanches, ont au contraire un vif albedo de 0,50; les spectres de Kuiper (1972) décèlent les bandes de la glace d'eau, de sorte que l'on peut évoquer de grandes étendues givrées comme sur Europe. L'éclat n'atteint pas tout à fait celui de Europe, mais les calottes polaires de Mars sont ternies par une longue exposition à l'air à la fin de l'été martien, et une atténuation semblable pourrait provenir sur Ganymède, de la poussière

de roche projetée depuis les régions sombres par les impacts, ou transportée par le vent.

Le satellite Io est un cas différent. L'albedo des régions équatoriales est très élevé mais la couleur est jaune et le spectre ne montre pas de trace de givre d'eau.

Le satellite gravite dans la ceinture de radiation de Jupiter et T. Owen a suggéré, lors de la discussion du présent travail, que le bombardement des particules sur les composés simples type  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ , etc. ... pourrait produire une substance visqueuse jaune formée sur le sol.

### Bibliographie

- Camichel, H., Gentili, M., et Lyot, B.: 1943, *Astronomie* **57**, 49.  
 Danjon, A.: 1944, *Astronomie* **58**, 33.  
 De Vaucouleurs, G.: 1970, dans A. Dollfus (éd.), *Surfaces and Interiors of Planets and Satellites*, Academic Press, Chap. 5, p. 225.  
 Dollfus, A.: 1957a, *Compt. Rend. Acad. Sci. Paris* **244**, 162.  
 Dollfus, A.: 1957b, *Compt. Rend. Acad. Sci. Paris* **244**, 1458.  
 Dollfus, A.: 1965, *Ann. Astrophys.* **28**, 722.  
 Focas, J. H.: 1958, *Compt. Rend. Acad. Sci. Paris* **246**, 1665.  
 Harris, D. C.: 1961, dans G. P. Kuiper et B. H. Middlehurst (eds.), *Planets and Satellites*, Univ. Chicago Press, p. 272.  
 Kuiper, G. P.: 1972, *Comm. Lunar Planet. Lab.* **9**, No. 172, 218.  
 Lyot, B.: 1953, *Astronomie* **67**, 3.  
 Morrison, D.: 1973, *Icarus* **19**, 1.  
 Stebbins, J. et Jacobsen: 1962, *Lick Obs. Bull.*, No. 401; cf. A. Dollfus dans *Handbuch der Physik* **54**, p. 218.  
 Wamsteker, W.: 1972, *Comm. Lunar Planet. Lab.*, No. 167.

### DISCUSSION

*Icke*: Is it possible to observe the surface markings of these satellites by optical interferometry? If so, why hasn't it been done? One could for example use speckle interferometry with laser phase referencing.

*Dollfus*: Such interferometers are not yet in operation.

*Owen*: Infrared reflectivity studies of the Galilean satellites confirm the presence of water ice on Europa and Ganymede but not on Io. This is consistent with reflectivity at  $5 \mu$  and the reddest colour of Io. This satellite must be covered by something other than pure water ice.

*Vsehsvyatsky*: When investigating comets about 20 years ago in Kiev, we found a high activity of satellites, which could be a source of short-period comets and other small bodies. The presence of ice and snow on the surface of satellites can be treated as a strong evidence confirming this consideration.

*Gorgolewski*: The Bonn 100 m radio-telescope was used by J. Pauliny-Toth and A. Witzel from Bonn and S. Gorgolewski from Toruń Observatory, to observe Ganymede and Callisto at 2.8 cm wavelength during the 1973 opposition of Jupiter. All observations were made between July 22nd and August 3rd of 1973 with a total integration time of about 9 h for each satellite. The system noise temperature was about 200 K, bandwidth – 40 MHz and beam width –  $80''$ . The observed brightness temperatures are:  $98 \pm 12$  K for Callisto and  $68 \pm 16$  K for Ganymede. Both satellites are significantly cooler than Jupiter, whose brightness temperature at 2.8 cm was found to be  $176 \pm 12$  K.