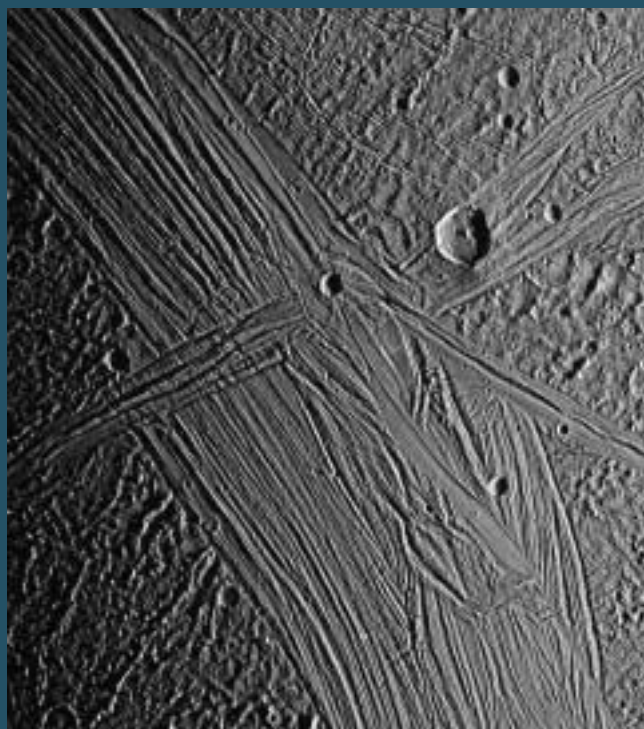




NASA Jet Propulsion Laboratory



Ron Davis

formée plus loin que son orbite actuelle et s'être ensuite rapprochée du Soleil (voir *La migration des planètes*, de Renu Malhotra, *Pour la Science*, octobre 1999).

La mesure de la concentration en deutérium (l'un des isotopes de l'hydrogène, dont le noyau est composé d'un proton et d'un neutron) complète l'histoire de Jupiter. Sa concentration est sensiblement égale à celle que l'on mesure dans le Soleil, et bien différente de celle des comètes ou des océans terrestres. Ainsi, malgré les spectaculaires collisions de comètes dans l'atmosphère de Jupiter, telle celle de Shoemaker-Levy 9, en 1994, les comètes modifieraient peu la composition de l'atmosphère jovienne en deutérium.

## Un monde de feu

Après avoir transmis les données du module de descente, l'orbiteur a entamé sa visite du système jovien. Aujourd'hui, il a effectué une trentaine d'orbites autour de la planète, avec plusieurs survols de chacun des quatre satellites galiléens. Europe a tenu la vedette, en raison de sa géologie de surface et d'autres caractéristiques qui semblent indiquer l'existence d'un océan sous sa glace de surface. Les autres satellites n'ont pas été négligés pour autant.

Le satellite galiléen le plus proche de Jupiter, Io, avait été l'attraction principale lors des deux rencontres avec les

sondes *Voyager*. Les images initiales montraient une surface qui semblait remarquablement jeune, parce qu'elle était la seule du Système solaire qui soit quasi dépourvue de cratères d'impacts. Puis des clichés ont montré d'immenses panaches dus à des éruptions. Des observations ultérieures ont confirmé que Io est déchirée par une activité volcanique intense. De même taille que la Lune, le satellite émet 100 fois plus de laves que la Terre.

La sonde *Galileo* a moins observé Io que les autres satellites, en grande partie en raison des radiations qui pourraient endommager la sonde : Io se trouve à l'intérieur des ceintures de rayonnement intense de Jupiter. La sonde est passée à 900 kilomètres de la surface de Io juste avant de se mettre en orbite autour de Jupiter, en 1995, mais elle n'a revisité le satellite qu'en octobre 1999, une fois l'essentiel de la mission accompli et les scientifiques prêts à prendre plus de risques.

Lors du premier passage, une panne momentanée du système de stockage de données (blocage du dérouleur de bande magnétique) avait contraint les scientifiques à bloquer les systèmes d'imagerie et de spectroscopie, mais le détecteur de particules et le magnétomètre étaient restés actifs. Ces instruments ont montré que l'«espace vide» autour de Io regorge de particules et de gaz crachés par les éruptions volcaniques et aspirés

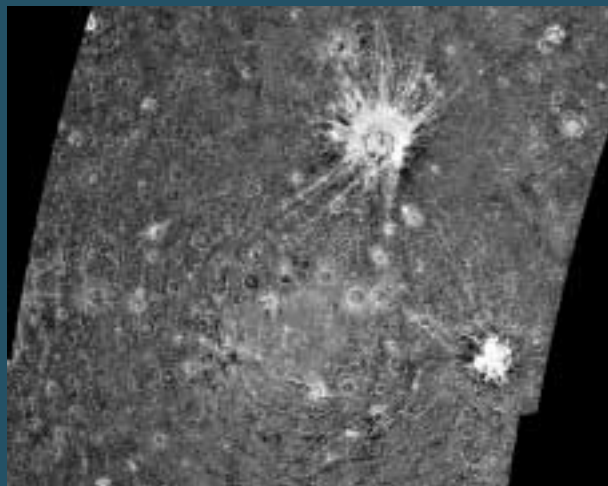
par le champ magnétique de Jupiter. Des faisceaux d'électrons suivent les lignes de champ qui relient Io à l'atmosphère de Jupiter ; des plasmas denses et froids s'infiltreraient dans le sillage laissé derrière Io par le balayage des champs magnétiques. À chaque passage de Io dans l'ombre de Jupiter, *Galileo* a vu, dans l'atmosphère de Jupiter, un anneau de gaz rougeoyant formé par le choc des électrons accélérés contre les molécules de l'atmosphère jovienne. Autrement dit, Io est étroitement liée à la planète géante par le plus vaste circuit électrique du Système solaire (voir l'illustration de la page 68).

Pendant l'essentiel de sa mission, *Galileo* a étudié la surface ravagée de Io à bonne distance. À partir de la luminosité des volcans à différentes longueurs d'onde, dans le domaine visible et dans le proche infrarouge, les planétologues ont estimé leur température, afin de déterminer la composition des laves. La plupart des volcans terrestres déversent une lave de composition basaltique (des silicates de fer, de magnésium et de calcium, comme l'olivine et le pyroxène) ; les coulées basaltiques ont des températures comprises entre 1 300 et 1 450 kelvins (1 027 à 1 177 °C). Les premières mesures de température de Io, obtenues à l'aide de télescopes au sol, il y a plusieurs années, indiquaient des valeurs comprises entre 1 500 et 1 800 kelvins. Ces analyses éliminaient l'hypothèse que les laves

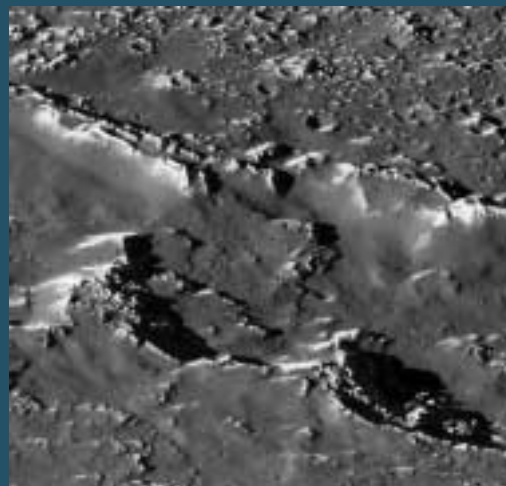


## Une surface cratérisée : Callisto

**C**allisto est le plus déroutant des satellites galiléens. Sa surface est criblée de grands cratères, comme le *Valhalla*, énorme structure d'impact à plusieurs anneaux (à gauche). Pourtant, le satellite est relativement dénué de petits cratères, et ceux-ci ont des contours flous (image de droite), ce qui suggère une surface balayée par des poussières.



NASA Jet Propulsion Laboratory



NASA Jet Propulsion Laboratory

de Io soient composées de substances qui sont gazeuses à ces températures, comme le soufre, qui avait été pressenti jusque-là comme le fluide volcanique dominant sur Io.

Les mesures de *Galileo* ont renforcé l'énigme : les laves de Io ont des températures comprises entre 1 700 et 2 000 kelvins. La Terre n'a plus connu de magma à une telle température depuis trois milliards d'années. Aussi Io montre-t-elle peut-être comment était la Terre dans sa jeunesse, quand ses températures internes étaient supérieures et que la composition de son manteau différait de celle d'aujourd'hui.

Lorsque l'orbiteur est finalement retourné à proximité de Io, à l'automne 1999, les ingénieurs doutaient que l'engin survivrait au rayonnement. Lors de l'un de ses passages, il interrompit de son propre chef la séquence d'enregistrement de données quatre heures seulement avant d'atteindre Io, et l'équipe scientifique réinitialisa en catastrophe. Quelques instruments furent endommagés, mais tous continuèrent à fonctionner. Les volcans actifs de Io étaient enfin examinés de près (voir l'illustration de la page 69).

### Un champ bien à elle

L'une des principales découvertes de *Galileo* a été faite lors de sa première rencontre orbitale avec Ganymède, le

plus gros satellite de Jupiter. Environ une demi-heure avant que la sonde ne s'approche au plus près de Ganymède, l'instrument qui enregistre les champs électriques ambiants commença à s'affoler. Au calme fond d'émission radio qui était observé presque partout dans le système jovien succédait une émission radio complexe et active. Pendant 45 minutes, l'activité resta intense, puis elle cessa aussi brusquement qu'elle avait commencé. Simultanément, le magnétomètre avait enregistré des signaux plus intenses.

Les physiciens des plasmas avaient déjà observé de pareils signaux lorsque les vaisseaux spatiaux entraient et sortaient des magnétosphères de la Terre, de Jupiter, de Saturne, d'Uranus et de Neptune. Deux survols ultérieurs de Ganymède ont confirmé leurs soupçons : ce satellite engendre un champ magnétique dipolaire semblable à ceux des planètes précitées. Aucun autre satellite ne possède un tel champ. Mars ou la Lune ont peut-être possédé naguère un champ magnétique, mais, aujourd'hui, leur champ magnétique est très faible : il ne semble dû qu'à l'aimantation de roches de surface. Au total, le Système solaire serait une poupée gigogne magnétique : Ganymède a une magnétosphère qui est contenue dans la gigantesque magnétosphère de Jupiter, qui est elle-même contenue dans celle du Soleil (voir l'illustration de la page 70).

En stockant en continu les signaux de la sonde, les planétologues ont exploré le champ gravitationnel de Ganymède et, donc, sa structure interne : le satellite possède probablement un noyau dense d'un rayon de 1 500 kilomètres environ, entouré d'un manteau de glace d'une épaisseur de 900 kilomètres et d'une croûte de 200 kilomètres. Les modèles géochimiques indiquent que ce noyau est une sphère constituée de fer ou de sulfure de fer, entourée de roches. Ce noyau interne métallique semble engendrer le champ dipolaire, mais comment ?

L'analogie classique entre les champs magnétiques planétaires et ceux qui émanent de barreaux aimantés est trompeuse : du fer solide au centre d'une planète ou d'un gros satellite serait trop chaud pour conserver un champ magnétique permanent. La génération d'un champ magnétique résulte plutôt des mouvements d'un liquide conducteur, ce que les physiciens nomment l'effet dynamo. Les modélisations de Ganymède montrent que son intérieur peut être assez chaud pour que le fer ou le sulfure de fer de son intérieur soit fondu. Les mêmes modèles montrent que la convection, c'est-à-dire les mouvements verticaux analogues à ceux de l'eau dans une casserole d'eau bouillante, cesse avec le refroidissement progressif du noyau : sans source de chauffage externe, la