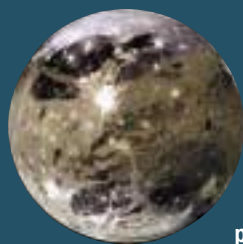
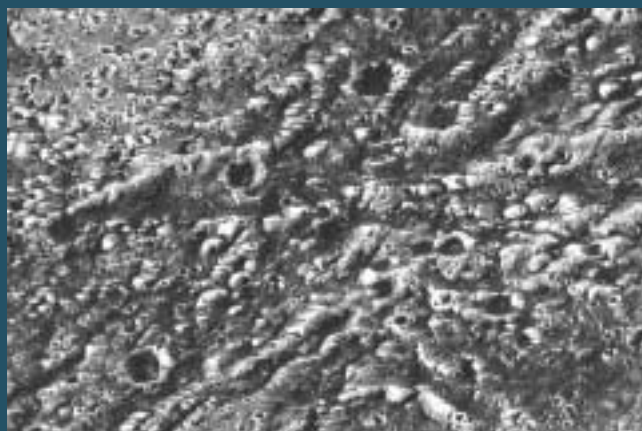


Ganymède, mélange glacé

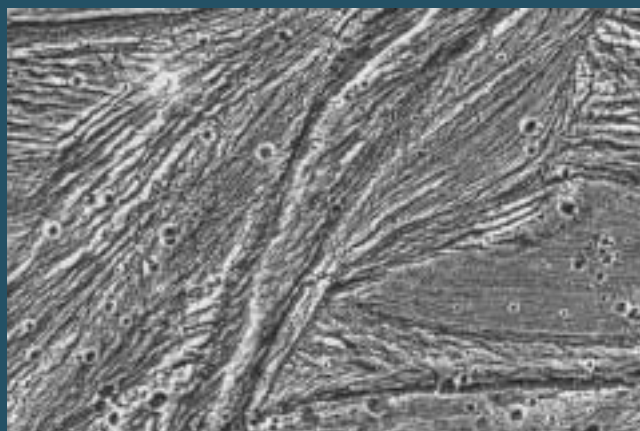


Le plus gros satellite du Système solaire est un étrange mélange de terrains sombres ou clairs. Les régions sombres, comme *Galileo Regio* (première image), comportent de nombreux cratères. Les sillons profonds pourraient contenir des pous-

sières laissées par la sublimation de la glace. Les régions claires, comme *Uruk Sulcus* (deuxième image), présentent moins de cratères, et davantage de caractéristiques tectoniques, tels des sillons. Cette image couvre environ 400 kilomètres de côté. Certaines régions, comme *Tiamat Sulcus* (troisième image), ici juste après le lever du Soleil, contiennent les deux types de terrain.



NASA/Jet Propulsion Laboratory



NASA/Jet Propulsion Laboratory

s'intensifiaient d'abord rapidement, puis se stabilisaient : l'atmosphère de Jupiter est régie par des sources d'énergie internes.

Bien que le module de descente n'ait détecté que peu de signes d'orages, l'orbiteur a vu les nuages illuminés par des éclairs brillants (voir l'illustration de la page 66). Comme *Voyager* l'avait fait avant elle, *Galileo* a observé que les éclairs étaient circonscrits à des latitudes précises. Ces zones sont des régions de cisaillement anticyclonique : les vents Est-Ouest y changent de vitesse de façon brusque du Nord au Sud. Ces changements d'intensité créent des conditions turbulentes et orageuses. Comme sur la Terre, des éclairs naissent dans des nuages où des grains de glace partiellement fondus s'élèvent et retombent dans la turbulence, ce qui sépare des charges positives et négatives. On estime la profondeur à laquelle l'éclair se produit d'après la taille de la tache illuminée sur les nuages : plus la tache est grande, plus la décharge est profonde. Les mesures de la sonde ont montré que les éclairs émanent des couches de l'atmosphère où sont censés se former des nuages d'eau. L'importance de ces phénomènes orageux confirme que toutes les régions de l'atmosphère ne sont pas aussi sèches que le site traversé par la sonde atmosphérique.

Le module a cessé d'émettre après avoir parcouru 0,1 pour cent de la dis-

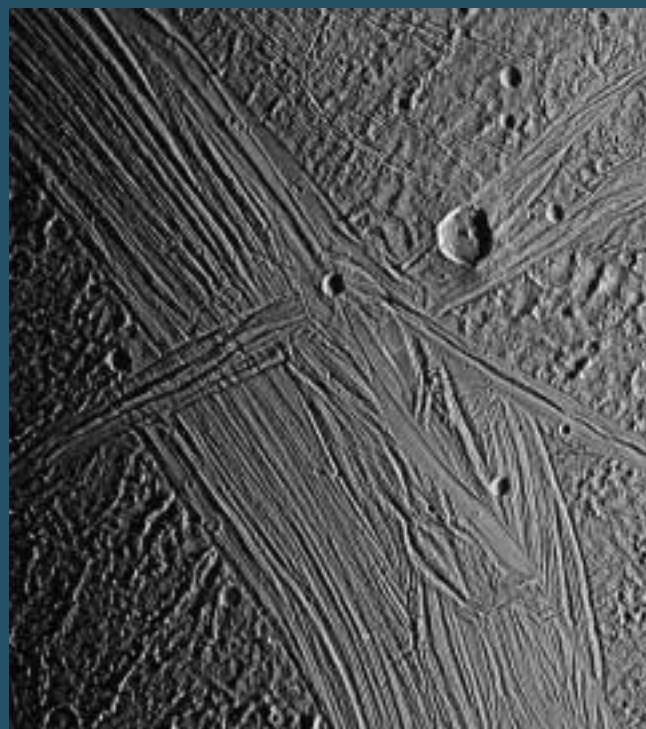
tance au centre : les fortes pressions et la température élevée l'ont ensuite détruit. Cependant, grâce à certaines de ses mesures, les astronomes entrevoient les profondeurs de l'atmosphère. Les concentrations en gaz rares – hélium (l'élément le plus abondant dans Jupiter après l'hydrogène), néon, argon, krypton et xénon – sont particulièrement instructives. Ces gaz ne réagissant pas chimiquement avec les autres éléments, ils indiquent les conditions physiques au sein de la planète. Notamment, la concentration en hélium est si révélatrice qu'un instrument de *Galileo* était consacré à sa mesure.

Les spectres infrarouges obtenus par *Voyager* indiquaient que l'atmosphère de Jupiter contenait proportionnellement beaucoup moins d'hélium que le Soleil. Les astronomes se perdaient en conjectures sur les mécanismes qui avaient vidé la haute atmosphère de cet élément. Toutefois, les mesures de *Galileo* ont montré que Jupiter renferme à peu près la même concentration en hélium que les couches externes du Soleil (voir l'illustration de la page 67). Ce nouveau résultat allège la difficulté, mais ne la résout pas complètement, car les couches externes du Soleil ont elles-mêmes perdu de l'hélium. Un mécanisme a dû appauvrir les couches externes de Jupiter en hélium, mais ce mécanisme a vraisemblablement démarré plus tard,

dans l'histoire de la planète, qu'on ne le supposait. Par ailleurs, les instruments de la sonde *Galileo* ont mesuré sur Jupiter une concentration en néon égale au dixième de la valeur solaire.

Ces deux résultats corroborent l'hypothèse, autrefois controversée, selon laquelle les profondeurs de Jupiter subissent un déluge d'hélium. Là, la pression est si considérable (des millions de fois la pression au niveau de la mer, sur la Terre) que l'hélium ne se mélange plus à l'atmosphère riche en hydrogène. L'hélium formerait alors un océan qui occuperait le centre de la planète. Dans certaines conditions, le néon se dissout dans les gouttes de pluie d'hélium. Selon les résultats de *Voyager*, l'hélium précipiterait de la même façon sur Saturne.

En revanche, après plusieurs années d'analyses, les planétologues ont récemment annoncé que Jupiter renferme les autres gaz rares en abondance. La planète gazeuse est plus riche que le Soleil en argon, en krypton et en xénon ; cet enrichissement est analogue à celui en carbone et en soufre. Pourquoi tant de gaz rares ? Le seul moyen de piéger de telles quantités de ces gaz rares serait par « congélation », ce qui n'est pas possible à la distance par rapport au Soleil à laquelle se trouve actuellement Jupiter. Par conséquent, une bonne partie des matériaux dont est constituée la planète proviendrait de régions plus froides et plus éloignées. Jupiter pourrait s'être



MUS/Net 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