



Don Davis

Le module pénètre l'atmosphère
450 kilomètres, 10^{-7} bar, 0 minute

Le premier parachute s'ouvre
23 kilomètres, 0,4 bar, 2,86 minutes

Le module se sépare
du couvercle arrière
23 kilomètres, 0,4 bar, 2,88 minutes

Le bouclier thermoprotecteur tombe
21 kilomètres, 0,45 bar, 3,03 minutes

ALTITUDE DE RÉFÉRENCE : 0 kilomètre, 1 bar, 6,4 minutes

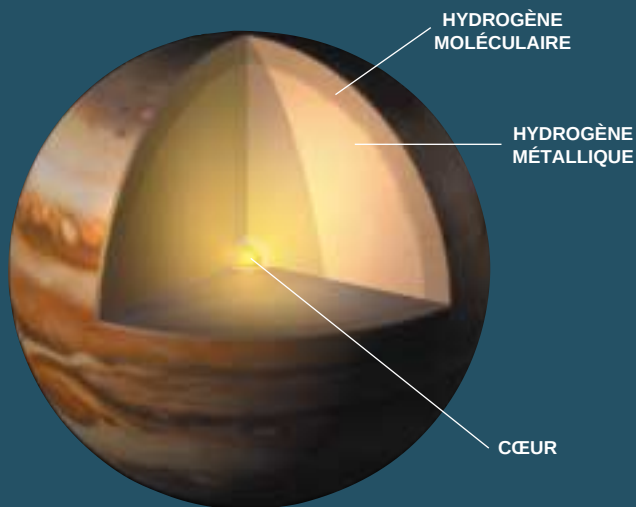
Les communications cessent
-146 kilomètres, 22 bars,
61,4 minutes

La structure de titane fond
-1 000 kilomètres, 2 000 bars,
9 heures

Don Dixon

COMPOSITION CHIMIQUE DE LA HAUTE ATMOSPHÈRE
(NOMBRE D'ATOMES PAR ATOME D'HYDROGÈNE)

ÉLÉMENT	FORME CHIMIQUE	JUPITER	SATURNE	SOLEIL
HÉLIUM	HÉLIUM	0,078	$0,070 \pm 0,015$	0,097
CARBONE	MÉTHANE	$1,0 \times 10^{-3}$	2×10^{-3}	$3,6 \times 10^{-4}$
AZOTE	AMMONIAQUE	$4,0 \times 10^{-4}$	$3 \pm 1 \times 10^{-4}$	$1,1 \times 10^{-4}$
OXYGÈNE	EAU	$3,0 \times 10^{-4}$	non mesuré	$8,5 \times 10^{-4}$
SOUFRE	SULFURE D'HYDROGÈNE	$4,0 \times 10^{-5}$	non mesuré	$1,6 \times 10^{-5}$
DEUTÉRIUM	DEUTÉRIUM	3×10^{-5}	3×10^{-5}	$3,0 \times 10^{-5}$
NÉON	NÉON	$1,1 \times 10^{-5}$	non mesuré	$1,1 \times 10^{-4}$
ARGON	ARGON	$7,5 \times 10^{-6}$	non mesuré	$3,0 \times 10^{-6}$
KRYPTON	KRYPTON	$2,5 \times 10^{-9}$	non mesuré	$9,2 \times 10^{-10}$
XÉNON	XÉNON	$1,1 \times 10^{-10}$	non mesuré	$4,4 \times 10^{-11}$



HYDROGÈNE
MOLÉCULAIRE

HYDROGÈNE
MÉTALLIQUE

CŒUR

Alfred F. Kemm

JUPITER n'est pas véritablement une planète géante gazeuse. Sous une mince couche d'atmosphère, l'essentiel de la planète est constitué d'hydrogène à une pression telle qu'il est devenu liquide et conducteur, un peu comme du mercure. Au centre, l'hydrogène s'accumule autour d'un noyau rocheux.

Un courant descendant magistral

Selon les théories de formation planétaire, Jupiter et les autres planètes géantes se sont créés à partir de la nébuleuse solaire primitive en deux étapes. Dans un premier temps, des «planétésimaux» formés de glaces (de grosses comètes qui s'étaient condensées à partir du nuage de gaz et de poussières primordial) s'agglomérèrent. Puis, quand la protoplanète est devenue suffisamment grosse, elle a attiré du gaz de la nébuleuse. Ainsi, Jupiter aurait une composition semblable à celle de la nébuleuse solaire primitive. Par la suite, la planète a été façonnée par des mécanismes de différenciation interne et par l'apport de matériaux provenant des comètes qui ne cessent de la percuter. Le module de descente devait surtout chercher la contribution de ces divers mécanismes.

La découverte de la sonde qui pose le plus de problèmes est sans doute celle qui concerne les «espèces condensables», dont l'azote, le soufre, l'oxygène et le carbone. Depuis longtemps, les planétologues savent que Jupiter renferme environ trois fois plus de carbone (détecté sous la forme de méthane) que le Soleil. Les autres espèces (sous la forme d'ammoniac, de sulfures d'ammonium et d'eau) devaient se condenser en couches de nuages à des profondeurs variées. Les impuretés contenues dans les gouttelettes des nuages, peut-être du soufre ou du phosphore, donnent à chaque couche sa couleur. Le module était conçu pour descendre sous la couche nuageuse inférieure : on pensait qu'elle était composée d'eau, à une pression de cinq à dix atmosphères, située à environ 100 kilomètres sous les nuages supérieurs, composés d'ammoniac solidifié. On prévoyait d'observer du vent, des nuages et une chaleur humide.

Pourtant, à la profondeur prévue, les instruments n'ont observé aucun signe de nuages, juste quelques légères brumes à la pression de 1,6 atmosphère. L'eau et le soufre étaient peu abondants. Le détecteur d'éclairs (un système radio qui détecte les décharges d'électricité statique) n'a enregistré que de faibles décharges. Bref, le ciel était dégagé et sec. Pourquoi les prévisions étaient-elles erronées ? Les images infrarouges des télescopes terrestres apportèrent rapidement un élément de réponse. La sonde était fortuitement entrée dans une région atmosphérique

particulière, un «point chaud», où le ciel dégagé laisse passer le rayonnement infrarouge des niveaux inférieurs. Jupiter possède de nombreuses régions

de ce type, et leur emplacement change continuellement, de sorte qu'il était impossible de programmer la sonde pour qu'elle les vise ou les évite.

Le hasard de cette descente sur un point chaud ne dissipait pas entièrement le mystère. Les planétologues pensaient que, même dans ces régions

La force des éclairs

S'il est connu depuis les observations des sondes *Voyager* que l'atmosphère jovienne est le siège de nombreux orages, leur origine demeurait un mystère. L'interprétation récente d'images de Jupiter obtenues par *Galileo* a abouti à des résultats spectaculaires. En observant la face nocturne de Jupiter éclairée par le clair de lune de Io et en comparant, de nuit, les zones nuageuses éclairées par les orages aux mêmes zones, de jour, afin d'identifier les nuages environnants, les planétologues ont localisé précisément le lieu de ces phénomènes électriques.

Cet éclairage indirect a permis de repérer quels nuages étaient à l'origine des éclairs. En analysant ces images, les planétologues américains Andrew Ingersoll et Peter Gierasch ont montré que ces nuages étaient associés à des

tourbillons atmosphériques. Ces nuages d'orage, situés à des profondeurs de trois atmosphères, sont bien des nuages de gouttelettes d'eau analogues aux nuages tropicaux terrestres. Lorsque l'on comptabilise l'énergie résultant de la convection dans ces nuages, on constate qu'elle est suffisante pour entretenir les mouvements tourbillonnaires de l'atmosphère qui alimentent les vastes courants zonaux et les grands systèmes anticycloniques, telle la grande tache rouge.

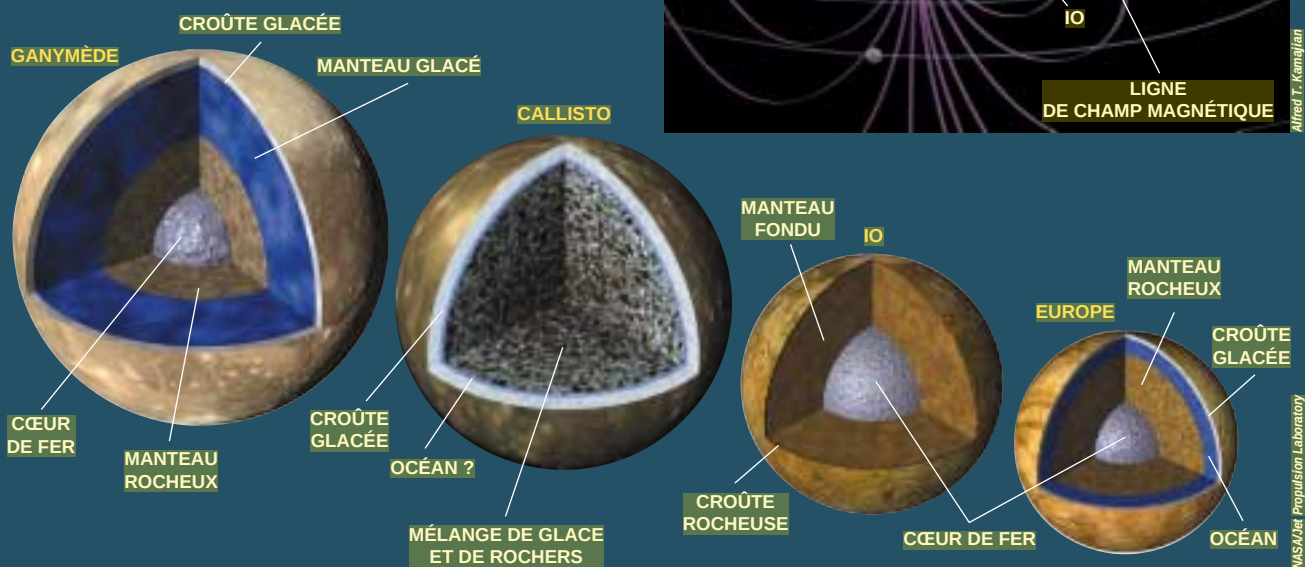
Le lien entre les nuages d'eau générateurs d'éclairs et la dynamique des tourbillons aidera à élucider les mécanismes responsables de la météorologie globale de Jupiter, encore fort mystérieux.

Pierre DROSSART, Observatoire de Meudon

Structure interne et champ magnétique des satellites galiléens

Les quatre satellites de Jupiter ne méritent pas vraiment d'être rabaissés au rang de simples «lunes», car, à de nombreux égards, ce sont de véritables planètes. Les deux objets les plus proches de Jupiter, Io et Europe, ont à peu près la même taille et la même densité que notre Lune. Les deux plus éloignées, Ganymède et Callisto, sont à peu près de la taille de Mercure, mais bien moins denses. La sonde *Galileo* n'a pas atterri sur ces astres, mais les astronomes déduisent leur structure interne à partir de mesures des forces gravitationnelles et des champs magnétiques. Parmi ces quatre objets, seule Callisto ne semble pas s'être différenciée en couches distinctes de métal, de roche et d'eau gelée. Les champs électromagnétiques de Jupiter interagissent avec les quatre satellites, mais plus particulièrement avec Io (schéma de droite). Les champs piègent et ionisent

du sodium provenant des éruptions volcaniques de Io, créant un tore de plasma. Un tube de flux reliant Jupiter à Io transporte un courant électrique dont l'intensité atteint cinq millions d'ampères (la planète et les satellites ne sont pas à l'échelle).



spécifiques et à la profondeur atteinte par la sonde, la composition des gaz serait analogue à celle de l'ensemble de l'atmosphère. Or, celle-ci ne semblait pas être telle que d'autres mesures l'indiquaient. Jupiter contenait-elle vraiment aussi peu d'oxygène et de soufre que le module le mesurait? Personne n'a pu expliquer comment ces éléments ont été éliminés si efficacement.

La composition des points chauds différerait-elle alors considérablement de celle du reste de l'atmosphère? Par exemple, un fort courant descendant de gaz froid et sec, en provenance de l'atmosphère supérieure, engendrerait-il la modification atmosphérique observée? Cette théorie comporte des difficultés, mais elle est aujourd'hui la plus plausible. En effet, juste avant que le module ne cesse d'émettre, les concentrations en eau, en ammoniac et en sulfure d'hydrogène augmentaient rapidement, comme si la sonde approchait la base d'un courant descendant. Les images d'un autre point chaud important, fournies par l'orbiteur, montrent que les vents convergent vers le centre du point chaud à partir de toutes les directions (voir l'illustration de la page 66). Le gaz ne peut aller que vers le bas. En outre, les spectres obtenus ont montré que les quantités d'eau et d'ammoniac varient d'un facteur 100 entre les différents points chauds, ce qui corrobore l'idée selon laquelle les conditions météorologiques locales déterminent la composition détaillée de l'atmosphère.

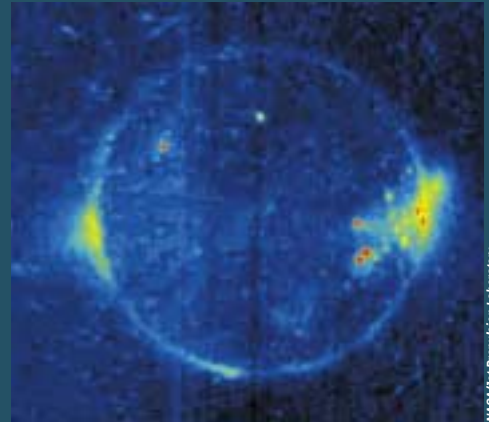
De la pluie sur toutes les planètes

Les prévisions étaient justes sur un point : le vent. Les bandes de nuages de Jupiter sont associées à des courants rapides, des vents d'Est et des vents d'Ouest soufflant à plusieurs centaines de kilomètres par heure. Sur la Terre, les vents analogues faiblissent près de la surface. Cependant, Jupiter n'a pas de surface, puisque c'est une planète formée de gaz. De ce fait, si une source d'énergie interne (comme l'énergie libérée par la contraction gravitationnelle) dominait, les vents devraient rester forts, voire s'accroître en profondeur. Inversement, si l'énergie était apportée principalement par une source externe (comme la lumière solaire), le contraire se produirait : comme sur la Terre, les vents faibliraient avec la profondeur. En descendant, le module atmosphérique observa que les vents

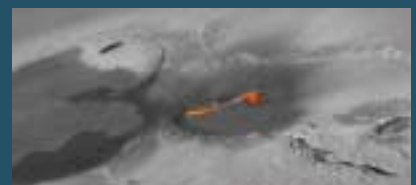
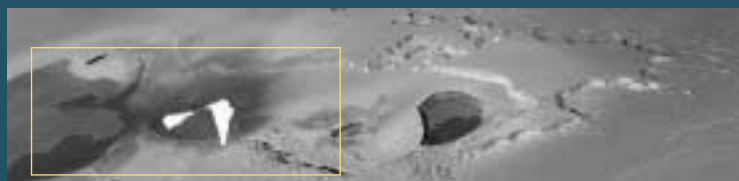
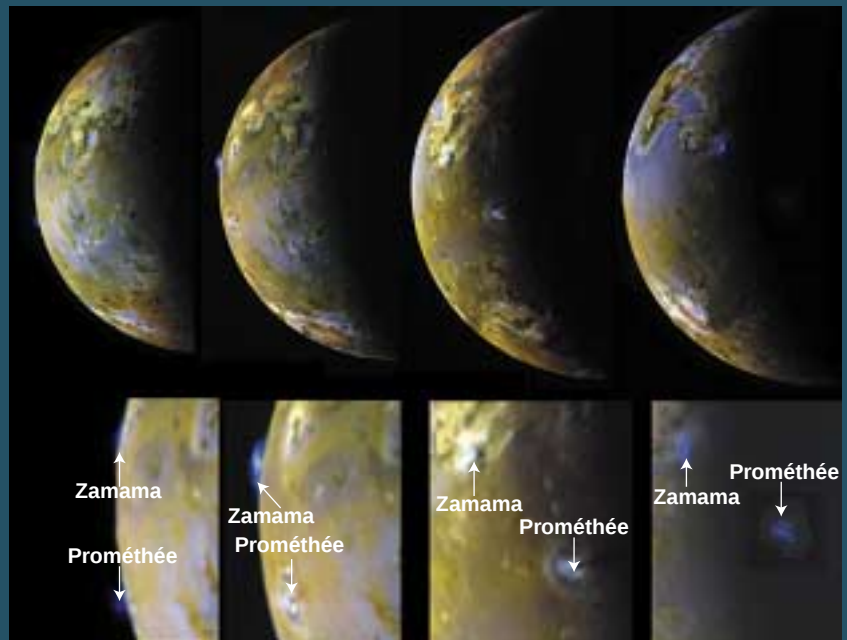


Io, le satellite infernal

La belle couleur rouge orangé qui caractérisait Io sur les images données par la sonde *Voyager*, il y a 20 ans, n'apparaît pas sur ces images en fausses couleurs obtenues par *Galileo*. Elles n'en sont pas moins spectaculaires. Lorsque le satellite se trouve dans l'ombre de Jupiter (*en haut*), les écoulements de lave sont visibles sous la forme de petites taches rouges et jaunes. Les panaches volcaniques apparaissent comme des lueurs sur le pourtour ; le panache de gauche s'échappe du volcan Prométhée. Une séquence de quatre images en couleurs renforcées (*au milieu*) montre les volcans Prométhée et Zamama : on voit d'abord apparaître des panaches, puis les volcans eux-mêmes, entourés d'anneaux de débris de plus de 100 kilomètres de diamètre. En novembre 1999, la sonde *Galileo* a obtenu des images du volcan Pelé dans le visible (*en bas à gauche*) et en infrarouge (*en bas à droite*). Au centre de cette dernière image se trouve un point rouge sombre : le rougeoiement de la lave au cœur du volcan.



NASA/Jet Propulsion Laboratory



NASA/Jet Propulsion Laboratory