

La mission *Galileo* vers Jupiter

TORRENCE JOHNSON

Malgré des difficultés techniques, la sonde spatiale Galileo a révélé l'inouïe variété des satellites de Jupiter.

Afin d'économiser son énergie, le module de descente voyageait dans un silence radio total. Seule une petite horloge égrenait les secondes. À 215 000 kilomètres de là, le vaisseau qui l'avait largué était prêt à recevoir et à retransmettre ses émissions. Sur la Terre, des scientifiques attendaient impatiemment ces données : n'avaient-ils pas, pour certains, préparé cet instant depuis 20 ans ? Le premier signal attendu était un simple bit de donnée, oui ou non, qui indiquerait si le petit module avait survécu à son plongeon dans l'atmosphère dense de Jupiter.

La route jusqu'à Jupiter fut parsemée d'embûches. Lors de la conception du projet, au milieu des années 1970, on avait prévu que la sonde spatiale prendrait le départ en 1982, serait mise en orbite autour de la Terre par une navette spatiale et serait envoyée vers Jupiter par un étage supérieur de fusée spécialement conçu. Toutefois, les ratés des premiers lancements de la navette et des difficultés de conception de l'étage supérieur ont retardé le calendrier. Le terrible accident de *Challenger*, en 1986, alors que *Galileo* était prête à partir, bouleversa les plans. Contraints d'utiliser un étage supérieur plus sûr mais moins puissant, les ingénieurs calculèrent une trajectoire qui utilisait l'assistance gravitationnelle de Vénus et de la Terre. Après le lancement, en octobre 1989, le voyage devait durer six ans. Toutefois, après deux années de voyage, l'antenne principale de communication ne s'ouvrit pas ; il ne restait que l'antenne de secours, moins puissante, pour assurer les communications avec la Terre. Puis l'enregistreur de données à bande se bloqua.

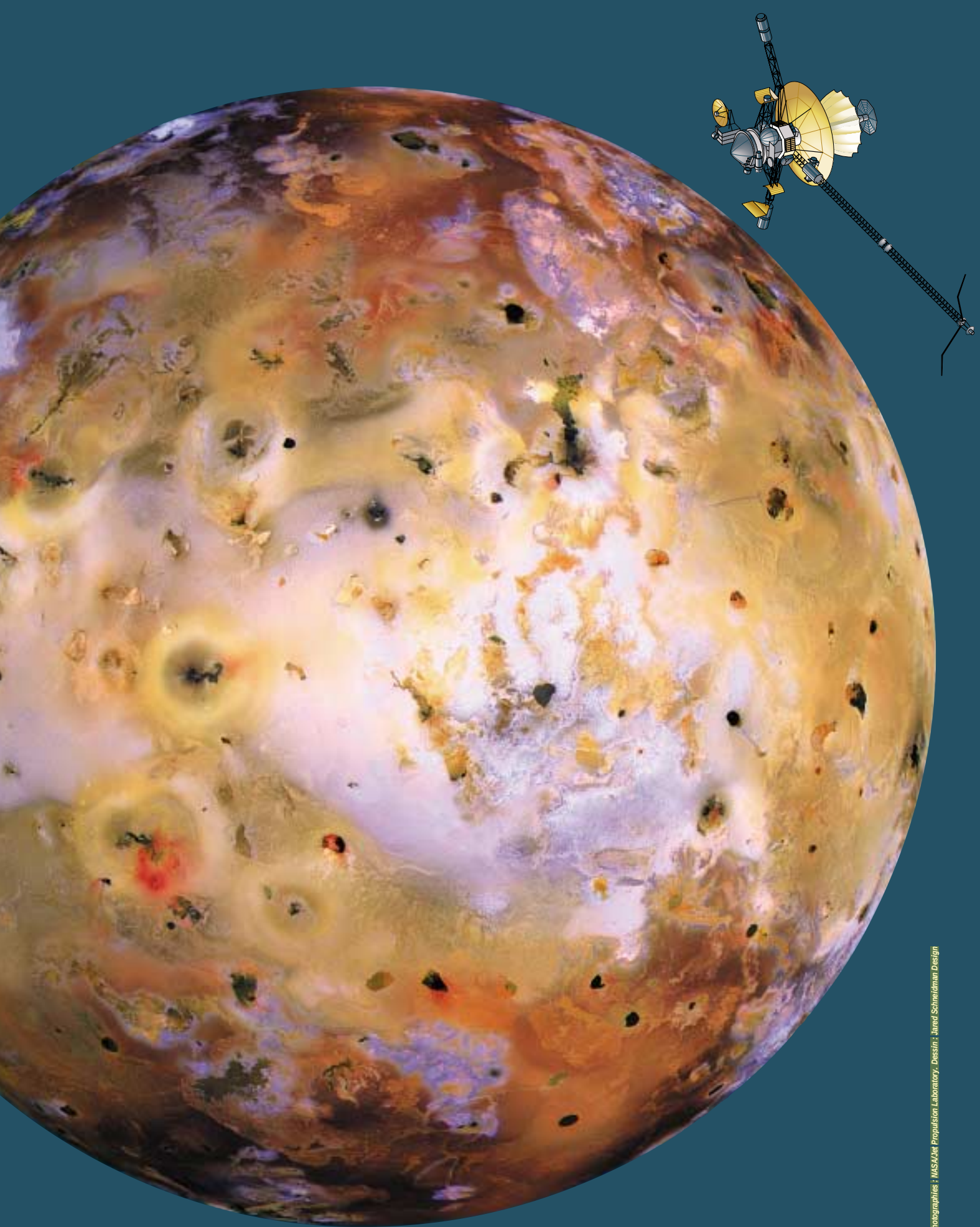
Lorsque les ingénieurs reçurent le signal qui confirmait le fonctionnement du module, il y eut des exclamations de joie dans la salle de contrôle. Pourtant, tous savaient que deux heures cruciales allaient s'écouler avant le second événement clé : la mise en orbite de l'orbiteur autour de

Jupiter. Pour la réussir, on devait réduire sa vitesse : pendant 45 minutes, les ingénieurs donnèrent l'ordre au moteur principal de ralentir l'orbiteur. La manœuvre fut un succès : l'orbiteur devint le premier satellite artificiel de la planète géante.

Depuis ce jour de décembre 1995, la mission a donné la première vision détaillée du système jovien (les survols par *Pioneer* et *Voyager*, dans les années 1970, n'en avaient donné qu'un aperçu). Le module de descente a traversé les nuages de Jupiter et a fait les premières mesures *in situ* de l'atmosphère d'une planète extérieure, envoyant ses données pendant une heure avant de sombrer dans les profondeurs gazeuses de la planète. L'orbiteur se porte toujours à merveille. Il a photographié et analysé la planète, ses anneaux et ses multiples satellites. Mieux encore, il a révélé qu'un océan d'eau liquide semble être abrité par Europe, l'un des quatre plus gros satellites de Jupiter, découverts par Galilée en 1610 (voir *L'océan caché d'Europe*, de Robert Pappalardo, James Head et Ronald Greeley, *Pour la Science*, février 2000). D'autres surprises attendaient les astronomes : des jets d'électrons relient Jupiter et Io, le satellite galiléen à l'activité volcanique intense ; Ganymède est le premier satellite dont on ait détecté un champ magnétique ; Callisto présente des caractéristiques étranges et possède peut-être un océan, comme Europe.

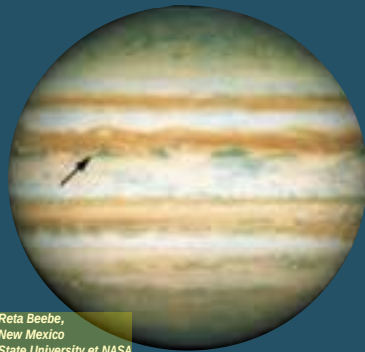
CRIBLÉE DE 80 VOLCANS ACTIFS, la surface de Io donne l'impression que la Terre est géologiquement inerte, par comparaison. Les taches jaunes, marron et rouges de cette mosaïque en fausses couleurs (*image principale*) correspondent à différents minéraux à base de soufre. Un givre de dioxyde de soufre recouvre les zones blanches. Du gaz et de la poussière éjectés se retrouvent en orbite, comme on l'observe quand le Soleil éclaire Io de côté (*en cartouche à droite*). La lueur jaunâtre est due en grande partie à du sodium gazeux. Le jet de lumière blanche correspond à la dispersion de la lumière solaire par le panache, haut de 100 kilomètres, du volcan Prométhée.





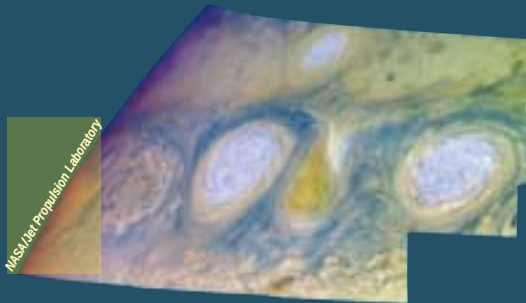
Photographies : NASA/Jet Propulsion Laboratory. Dessin : Jared Schneidman Design

La géante gazeuse : Jupiter



Reta Beebe,
New Mexico
State University et NASA

Avant la mission *Galileo*, aucun objet fabriqué par l'homme n'était jamais entré en contact avec une planète géante gazeuse. Le vaisseau principal a laissé tomber un module dans l'atmosphère de Jupiter, un peu au Nord de son équateur (flèche noire sur la photographie de gauche). Pendant plus d'une heure, le module est descendu dans l'atmosphère, mesurant sa composition (tableau ci-contre), avant d'être détruit par la pression et la chaleur excessives (séquence ci-contre à droite). Dans le tableau, on suppose que la composition solaire primordiale est identique à celle des couches externes du Soleil.

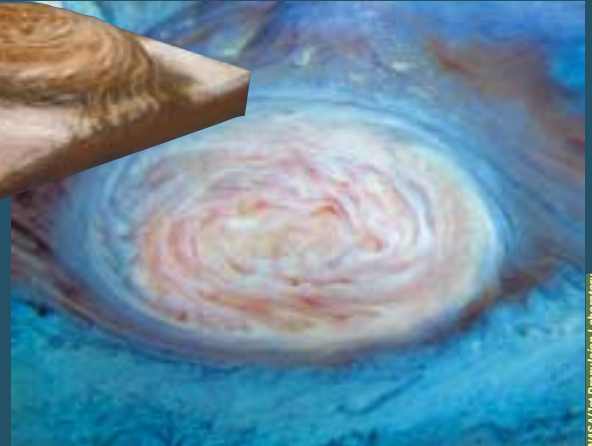


MAS/Jet Propulsion Laboratory

CES NUAGES OVALES ont été observés par *Galileo* dans le proche infrarouge, au début de 1997. Une région en forme de poire est piégée entre eux. Les ovals tournent en sens inverse des aiguilles d'une montre, tandis que la région en forme de poire tourne dans le sens des aiguilles d'une montre. Un an plus tard, les ovals avaient fusionné. Chaque ovale a un diamètre d'environ 9 000 kilomètres.



Don Dixon

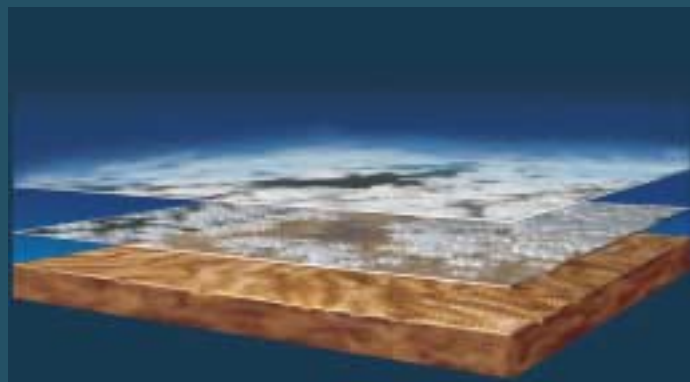


MAS/Jet Propulsion Laboratory

CETTE GRANDE TACHE ROUGE est une zone de cyclone qui s'élève à une trentaine de kilomètres au-dessus des nuages voisins. En allant du rouge au vert puis au bleu, les couleurs correspondent à une quantité décroissante de méthane mesuré le long de la ligne de visée. Ainsi, les zones roses et blanches sont les plus hautes, et les zones bleutées et noires sont les plus basses. La tempête, de 26 000 kilomètres d'extension, résulte vraisemblablement des instabilités des forts courants atmosphériques d'Est et d'Ouest de la planète. Sur le schéma (cartouche, ci-dessus), l'échelle verticale est exagérée d'un facteur 1 000.

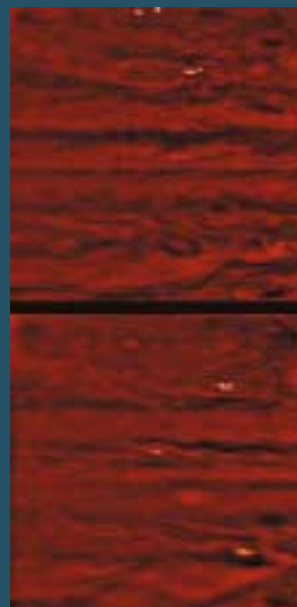


MAS/Jet Propulsion Laboratory



Don Dixon

UN TROU DANS LA COUVERTURE NUAGEUSE de haute altitude révèle les régions comparativement chaudes situées plus bas. Comme sur les autres images prises dans l'infrarouge proche, les nuages bleutés sont minces, les nuages blancs sont épais et les nuages rougeâtres sont en profondeur (schéma ci-dessus). La sonde *Galileo* s'est enfoncée dans une région de ce type, nommée point chaud. Cette image couvre 34 000 kilomètres en longueur.



MAS/Jet Propulsion Laboratory

DES ÉCLAIRS apparaissent sur ces images de la face nocturne de Jupiter. Le clair de lune de Io éclaire faiblement la couverture de nuages d'ammoniac. Les éclairs proviennent probablement de nuages d'eau situés une centaine de kilomètres plus bas. La foudre frappe à peu près au même rythme que sur Terre, mais les éclairs sont 1 000 fois plus brillants. Chaque image fait environ 60 000 kilomètres de côté.



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

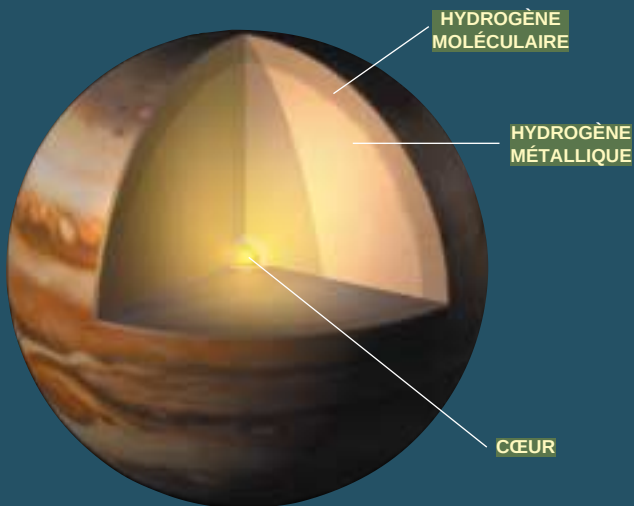
Les communications cessent
-146 kilomètres, 22 bars,
61,4 minutes

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 T. Kamajian

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 primordiale 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 primordiale. 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