

# Jupiter visitée

*La composition de son atmosphère explique sa formation et son évolution.*

**C**omment le Soleil et les planètes qui l'entourent se sont-ils formés ? Les grandes lignes du scénario sont connues : il y a 4,5 milliards d'années une nébuleuse primitive de gaz et de poussières s'est effondrée sur elle-même et a donné naissance au Soleil. Les résidus de ce nuage se sont condensés en petites planètes rocheuses (Mercure, Vénus, Terre et Mars) près du Soleil et en géantes gazeuses (Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune) plus loin. Les mesures réalisées par la sonde *Galileo* dans l'atmosphère de Jupiter nous informent directement sur la composition d'une planète géante : elles confirment qu'elle s'est formée à partir d'un noyau rocheux.

Le 7 décembre 1995, la sonde *Galileo* a plongé dans l'atmosphère de Jupiter. Suspendue à un parachute, elle a transmis pendant près d'une heure, avant d'être détruite, des informations sur la composition de l'atmosphère jovienne jusqu'à plus de 200 kilomètres sous le sommet des nuages. Le vaisseau *Galileo*, en orbite 215 000 kilomètres plus haut, a ensuite retransmis ces données vers la Terre.

La composition globale de Jupiter est restée inchangée depuis sa formation. L'attraction de l'énorme masse de la planète (318 fois celle de la Terre) empêche en effet les éléments chimiques, même les plus légers, de s'échapper. La comparaison entre la composition de l'atmosphère de Jupiter et celle de la nébuleuse primitive éclaire donc les mécanismes de formation de la planète et son évolution. On déduit la composition de la nébuleuse primitive de celle du Soleil : l'effondrement gravitationnel qui a donné naissance à notre étoile était homogène et a emporté 99,9 pour cent de la masse de la nébuleuse.

On sait, grâce à la spectroscopie, que l'atmosphère de Jupiter est constituée à plus de 99 pour cent d'hydrogène et d'hélium, les deux éléments les plus abondants dans l'Univers. *Galileo* a mesuré une concentration en hélium de 14 pour cent. C'est nettement plus que les 10 pour cent estimés à partir des observations des

sondes *Voyager* en 1979. Même réévaluée, cette concentration ne correspond toutefois qu'aux quatre cinquièmes de l'hélium présent dans la nébuleuse primitive. Où est donc passé ce gaz ?

## PLUIE D'HÉLIUM

La température et la pression sont si grandes dans les couches profondes de l'atmosphère de Jupiter que l'hydrogène forme une phase métallique. L'hélium, qui ne se mélange pas avec cette phase, se condense en gouttelettes qui tombent vers le cœur de la planète. Le néon, soluble dans les gout-

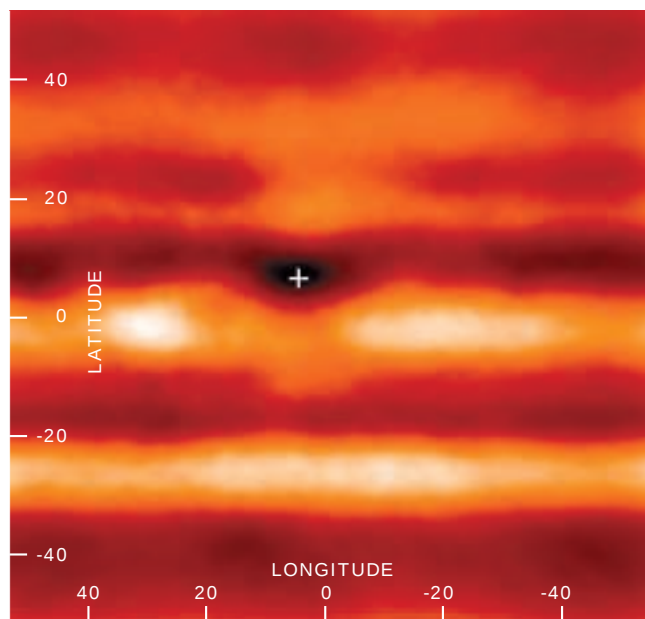
trois fois pour le carbone et 2,2 fois pour le soufre. *Galileo* a, en revanche, mesuré une concentration atmosphérique de vapeur d'eau cinq fois moins importante que celle de la nébuleuse primitive. Ces abondances sont expliquées par l'histoire de Jupiter.

Un noyau s'est formé d'abord, par accréation de planétésimaux, petits corps rocheux ou glacés. L'attraction gravitationnelle de ce noyau a ensuite piégé les gaz de l'atmosphère. L'augmentation de la température des roches lors de l'accréation du noyau a vaporisé une partie des glaces : l'enveloppe gazeuse a été alors enrichie en éléments lourds, tels le carbone et le soufre. En revanche, l'eau, moins volatile, serait restée dans le cœur solide.

Les différences de composition entre Jupiter et la nébuleuse primitive permettent d'exclure un autre mécanisme de formation : un effondrement local de la nébuleuse, similaire à celui qui a donné naissance au Soleil. La sécheresse relative de l'atmosphère écarte aussi un scénario selon lequel l'excès d'éléments lourds proviendrait de la dissolution dans l'atmosphère de comètes ou de planétésimaux, capturés par le champ gravitationnel de la planète. Ces petits corps rocheux, qui contiennent beaucoup de glace, auraient toutefois enrichi l'atmosphère non seulement en méthane et en sulfure d'hydrogène, mais aussi en eau, ce qui est contraire aux observations.

N'oublions pas cependant que la sonde n'a pénétré l'atmosphère de Jupiter que sur 200 kilomètres d'épaisseur, en un point particulier. Selon les images prises de la Terre, elle a plongé dans une région extraordinairement claire et sèche, sans doute l'une des moins nuageuses de toute la planète. L'instrument de *Galileo* qui a mesuré la densité de particules n'a pas détecté le nuage massif de glace d'eau prédit par les modèles. Le nuage de cristaux d'ammoniac situé à des altitudes plus élevées et visible sur la plus grande partie de Jupiter était aussi absent. Dans cette région, un puissant courant descendant apporterait du gaz sec appauvri en éléments condensables, asséchant l'atmosphère jusque sous l'altitude attendue du nuage d'eau. Il y aurait alors un peu plus d'eau sur Jupiter que *Galileo* n'en a détectée.

Bruno BÉZARD  
CNRS, Observatoire de Paris-Meudon



Le point de chute de la sonde *Galileo* sur Jupiter (croix blanche) était une région pauvre en nuages. Sur cette image prise de la Terre dans l'infrarouge proche, les zones les moins nuageuses sont les plus sombres.

telettes d'hélium, migre aussi vers l'intérieur de la planète : les mesures de *Galileo* confirment qu'il est moins abondant que prévu. Cette pluie d'hélium se produirait aussi dans l'atmosphère de Saturne, qui contient moins de cinq pour cent d'hélium : l'énergie gravitationnelle ainsi libérée expliquerait le flux thermique anormalement grand émis par la planète.

Le carbone (sous forme de méthane) et le soufre (sous forme de sulfure d'hydrogène) sont, contrairement à l'hélium, plus abondants dans l'atmosphère de Jupiter que dans la nébuleuse primitive :

# La qualité de vie

*Elle augmente depuis le début du siècle.*

**C**es deux cartes reflètent l'indice de qualité de vie mis au point par des chercheurs américains de l'Université Brown, pour mesurer les progrès des pays en développement. L'indice de qualité de vie d'un pays est fondé, sur l'espérance de vie à l'âge de un an, sur la mortalité infantile et sur la proportions d'illettrés. Les valeurs s'échelonnent de 6,3 pour la Gambie en 1960, à 94 pour le Japon en 1990. L'avantage de cette mesure sur d'autres évaluations de la qualité de vie est qu'elle utilise des résultats établis et non des estimations.

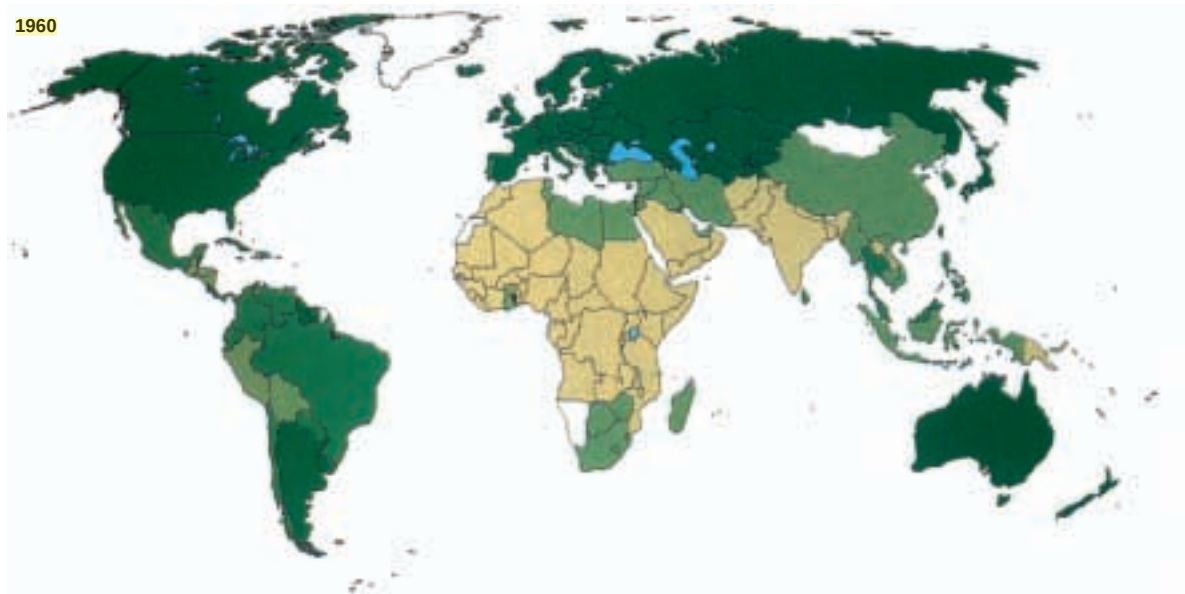
Alors qu'en Iran, par exemple, le produit national brut par habitant vaut moins d'un tiers de ce qu'il est en Arabie Saoudite, les indices de qualité de vie des deux pays sont égaux, ce qui indique que les richesses sont réparties plus équitablement en Iran.

L'examen de ces cartes fait ressortir que, malgré une importante augmentation de la population mondiale, la qualité de vie des pays en développement s'est améliorée, y compris dans ceux de la région sub-saharienne, la plus pauvre du Globe. Des données préliminaires pour

l'année 1993 montrent un progrès important dans la plupart des régions, excepté dans les 13 pays sub-sahariens dont la chute moyenne de l'indice est de 3, résultat d'une augmentation de la mortalité infantile et d'une diminution de l'espérance de vie. Cette chute d'indice est due, en partie, à l'extension de l'épidémie de SIDA qui a touché cette région du Globe plus durement qu'ailleurs.

L'avenir ne sera peut-être pas aussi sombre qu'il n'y paraît, car l'épidémie de SIDA pourrait être enrayée dès le début de la prochaine décennie. De surcroît, les données historiques indiquent une augmentation à peu près constante de l'indice de la qualité de vie : alors que le Sri Lanka avait un indice de 19 en 1921, en 1993, cet indice atteignait 85. N'oublions pas qu'il y a cent ans, la France avait un indice de qualité de vie équivalent à celui des pays sub-sahariens aujourd'hui. □

1960



1990

