



# Jupiter et autour

## *Jupiter*

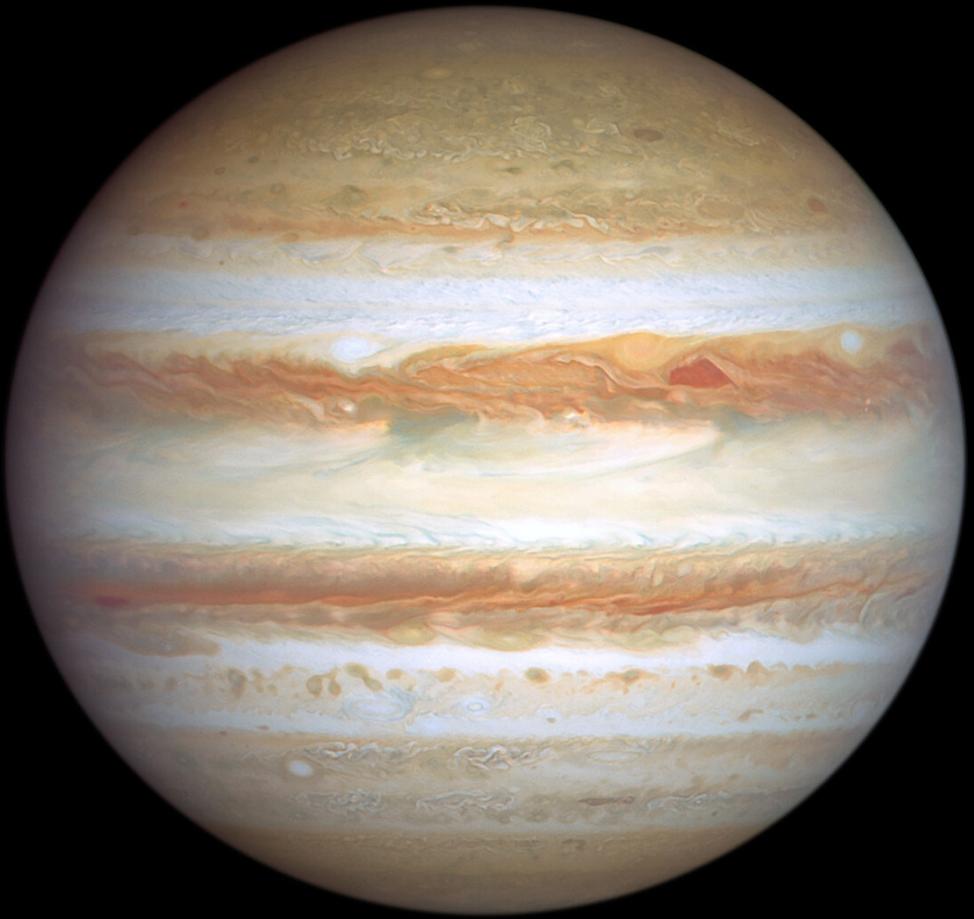
*Basé sur un communiqué ESA/Hubble*

Le télescope spatial Hubble surveille chaque année les planètes externes du Système solaire dans le cadre du programme OPAL (Outer Planet Atmospheres Legacy). En effet, ces mondes sont changeants, enveloppés de brumes et de nuages agités par des vents violents, ce qui conduit à des conditions météorologiques en constante évolution.

Jupiter, la géante, est revisitée ici par Hubble, dans des images prises les 5 et 6 janvier 2024, qui capturent les deux faces de la planète.

Le temps est toujours orageux sur Jupiter : cyclones, anticyclones, cisaillement du vent et, bien sûr, la plus grande tempête

du Système solaire, la Grande Tache rouge. Jupiter n'a pas de surface solide et est perpétuellement recouverte de nuages de cristaux de glace, en grande partie ammoniacés, qui ne font qu'une cinquantaine de kilomètres d'épaisseur, dans une atmosphère de dizaines de milliers de kilomètres, et qui donnent à la planète son apparence en bandes. Celles-ci sont produites par l'air circulant dans différentes directions à différentes latitudes avec des vitesses approchant les 560 kilomètres par heure. Dans les bandes claires, appelées « zones », l'atmosphère monte, alors que les « bandes » proprement dites, sombres, correspondent à des mouvements descendants. Les nombreuses grosses tempêtes et les petits nuages blancs témoignent de l'activité intense qui se déroule dans l'atmosphère de Jupiter.



(NASA, ESA, J. DePasquale/STScI, A. Simon/NASA-GSFC)

**Image de gauche** – Assez grande pour avaler la Terre, la Grande Tache rouge se détache bien. En bas à droite, se trouve une caractéristique parfois surnommée Red Spot Junior. Cet anticyclone est le résultat de la fusion des tempêtes de 1998 et 2000, et est apparu pour la première fois avec une teinte rouge en 2006 avant de revenir au beige pâle les années suivantes. Cette année, il est encore un peu plus rouge. L'origine de cette coloration est inconnue mais peut impliquer une gamme de composés chimiques : soufre, phosphore ou des matières organiques.

Se déplaçant à des vitesses différentes, Red Spot Jr. dépasse la Grande Tache rouge environ tous les deux ans. Un autre petit anticyclone rouge apparaît dans l'extrême nord.

**Image de droite** – L'activité des tempêtes apparaît également dans l'hémisphère opposé. Deux tempêtes, un cyclone rouge foncé et un anticyclone rougeâtre, apparaissent l'une à côté de l'autre à droite du centre. Ces tempêtes tournent dans des sens opposés, indiquant une alternance de systèmes de hautes et basses pressions. Pour le cyclone, il y a une remontée d'eau sur les bords avec des nuages descendant au milieu, provoquant une éclaircie dans la brume atmosphérique. Les tempêtes devraient rebondir les unes sur les autres car leurs rotations opposées les font se repousser.

Vers le bord gauche de l'image se trouve la lune galiléenne la plus intérieure, Io – le corps le plus volcaniquement actif du Système solaire, malgré sa petite taille (à peine plus grande que notre lune).

*Cette série de 12 images, prises les 5 et 6 janvier 2024 par le télescope spatial Hubble, présente des instantanés d'une rotation complète de la planète géante Jupiter. La Grande Tache rouge permet de mesurer la période de rotation réelle de la planète – près de 10 heures. Le satellite galiléen le plus intérieur, Io, est visible dans plusieurs images, avec son ombre traversant les sommets des nuages de Jupiter.*  
(NASA, ESA, J. DePasquale/STScI, A. Simon/NASA-GSFC)



Jan. 5, 2024 20:46:20



Jan. 5, 2024 22:14:56



Jan. 6, 2024 02:57:27



Jan. 6, 2024 04:32:23



Jan. 6, 2024 09:17:12



Jan. 6, 2024 10:52:08



Jan. 5, 2024 23:47:34



Jan. 6, 2024 01:22:30



Jan. 6, 2024 06:07:19



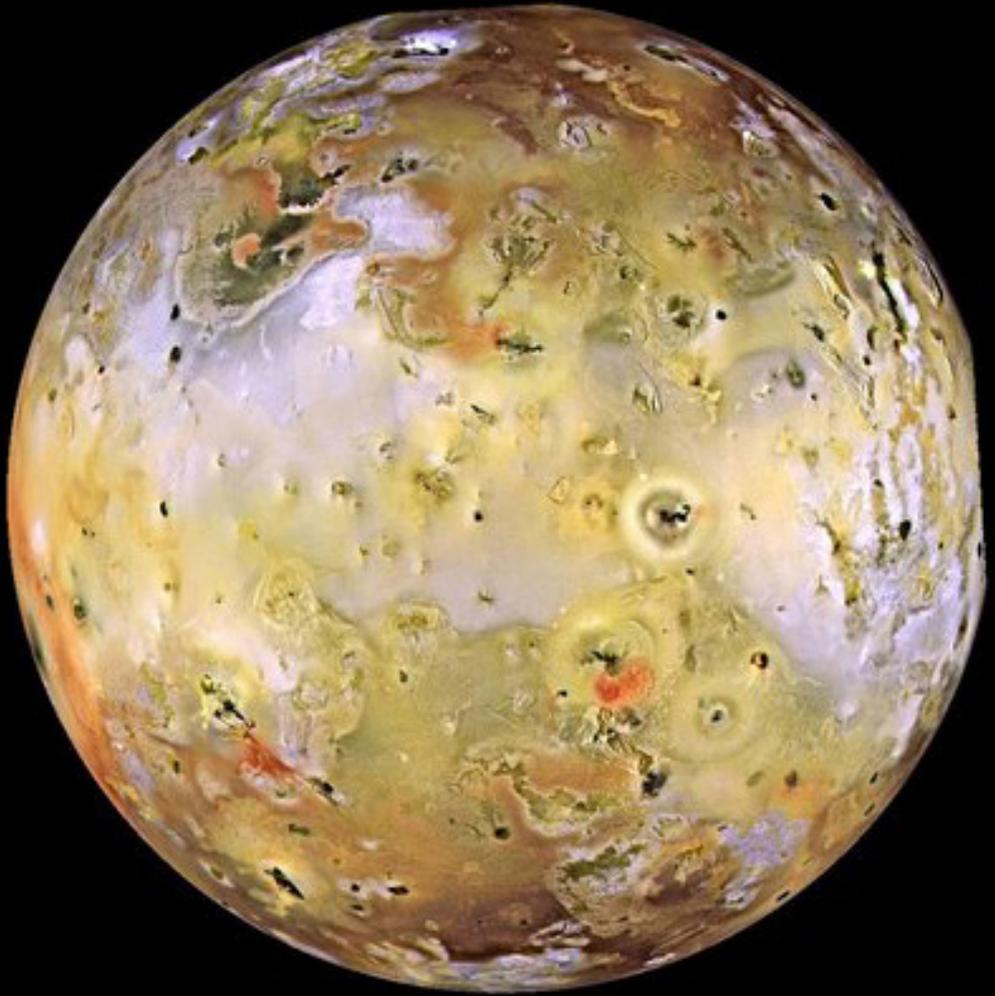
Jan. 6, 2024 07:42:16



Jan. 6, 2024 14:03:46



Jan. 6, 2024 15:42:47



## *L'activité d'Io*

*Basé sur un communiqué Caltech*

La lune de Jupiter, Io, est l'endroit le plus volcaniquement actif du Système solaire. Au cours de son orbite de 1,8 jour, cette lune est malaxée gravitationnellement par la planète géante, ce qui entraîne des éruptions volcaniques plus importantes que celles que connaît la Terre actuellement.

Trois satellites galiléens, Io, Europe et Ganymède sont dans une configuration orbitale connue sous le nom de résonance de

*Io, vue par Galileo (JPL)*

Laplace : pour chaque orbite de Ganymède (la plus extérieure), Europe effectue exactement deux orbites et Io en complète quatre. Dans cette configuration, les lunes s'attirent de telle sorte qu'elles sont contraintes de circuler sur des orbites elliptiques plutôt que circulaires. De telles orbites font que la gravité de Jupiter chauffe l'intérieur des lunes, ce qui entretient le volcanisme d'Io et chauffe l'océan liquide souterrain d'Europe.

Depuis combien de temps Io subit-elle un bouleversement volcanique ? En d'autres termes, depuis combien de temps les lunes de Jupiter sont-elles dans cette configuration ? L'océan liquide d'Europe a longtemps été considéré comme un lieu potentiel pour l'évolution de la vie et il est crucial de comprendre exactement depuis combien de temps dure cette interaction.

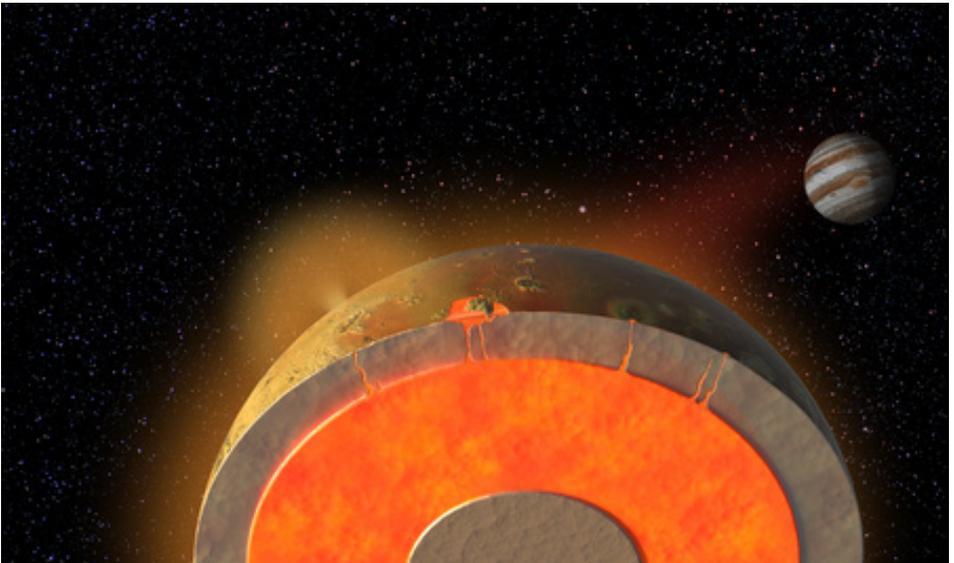
Sur Terre, nous pouvons trouver les signes d'événements passés dans les fossiles et les cratères. Io, cependant, est en perpétuelle transformation, de sorte que sa surface n'a qu'environ un million d'années, tandis que la lune elle-même a environ 4,5 milliards d'années. Pour comprendre depuis combien de temps cette lune jovienne a connu le volcanisme, les chercheurs ont examiné les produits chimiques dans son atmosphère.

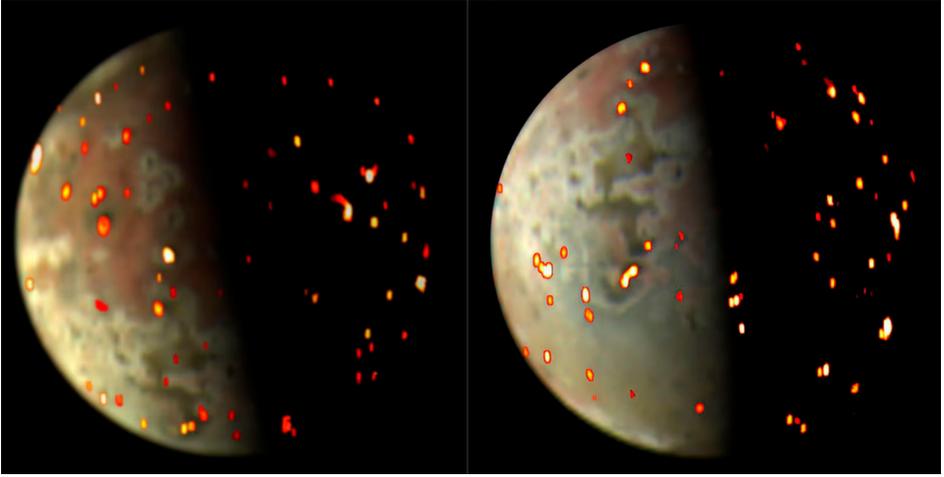
Io n'a pas d'eau, de sorte que le principal composant des gaz crachés par ses volcans est le soufre, ce qui conduit à une atmosphère composée à 90% de dioxyde de soufre. Au cours des cycles volcaniques d'Io, les gaz près de la surface sont alternativement absorbés puis régurgités dans l'atmosphère.

La surface n'est pas la seule caractéristique en constante évolution d'Io : son atmosphère est siphonnée dans l'espace à un rythme d'une tonne par seconde en raison de collisions avec des particules chargées dans le champ magnétique de Jupiter. L'efficacité du processus n'est pas la même pour toutes les molécules. Comme l'isotope léger du soufre, le soufre-32 (16 protons et neutrons), est plus abondant dans la haute atmosphère où ces collisions se produisent, cet isotope s'épuise de manière disproportionnée par rapport à son homologue plus lourd, le soufre-34 (16 protons et 18 neutrons). Savoir combien il manque de soufre léger peut donner des indices sur la durée du volcanisme du satellite.

Pour ce faire, les chercheurs ont utilisé le réseau de radiotélescopes ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) au Chili – un télescope lui-même entouré de volcans.

*Illustration des sources, des puits et des mécanismes de transport contrôlant les équilibres chimiques et isotopiques d'Io.  
(C. Carter, J. Tuttle Keane / Keck Institute for Space Studies)*





*Illustration de l'activité volcanique sur Io. Les données en lumière visible et infrarouge viennent de la sonde Juno lors des survols de décembre 2022 (à gauche) et mars 2023. Les images ont été prises par l'imageur JunoCam. Les taches brillantes superposées sont des données de l'instrument JIRAM. De telles vues peuvent aider les scientifiques à mieux comprendre l'emplacement et les variations des volcans actifs. (NASA/JPL-Caltech/SwRI/ASI/INAF/JIRAM)*

À partir de météorites, vestiges du Système solaire primitif, les chercheurs ont déterminé que le Système solaire s'est formé avec un rapport d'environ 23 atomes de soufre-32 par atome de soufre-34. Si Io avait été inchangée depuis sa formation, elle aurait le même ratio. Cependant, la nouvelle étude a montré que Io a perdu 94 à 99% de son soufre original, ce qui signifie que la lune a été volcaniquement active pendant des milliards d'années tout en perdant continuellement du soufre. Cela indique aussi qu'elle est entrée en résonance orbitale avec Europe et Ganymède très peu de temps après la formation des lunes, ce qui corrobore les prédictions des modèles développés depuis une vingtaine d'années.

Le système jovien n'est qu'un des nombreux exemples de lunes, et même d'exopla-

nètes, dans ce type de résonances. C'est une source de chaleur majeure qui peut alimenter l'activité géologique. Io peut être vue comme un laboratoire pour comprendre ce processus.

Des chercheurs ont mené une modélisation sophistiquée du système soufré d'Io pour explorer des scénarios potentiels pour l'histoire de la lune, y compris certains dans lesquels Io était encore plus volcaniquement active dans le passé qu'elle ne l'est aujourd'hui.

La clé pour obtenir une forte abondance de soufre lourd dans l'atmosphère d'Io est le processus d'enfouissement du soufre lourd à l'intérieur d'Io, afin qu'il puisse être libéré par les volcans encore et encore. La modélisation montre que le soufre est piégé dans la croûte d'Io par des réactions entre le givre soufré, qui se dépose dans l'atmosphère, et le magma lui-même.

Les chercheurs aimeraient savoir quels autres gaz Io a pu perdre au cours de sa longue histoire dynamique. Par exemple, alors qu'Io semble ne pas contenir d'eau, les autres lunes galiléennes en ont beaucoup. Io avait-elle autrefois de l'eau à l'intérieur et l'a-t-elle ensuite perdue à cause du volcanisme ?

## Vues aériennes d'Io

Basé sur un communiqué NASA/JPL

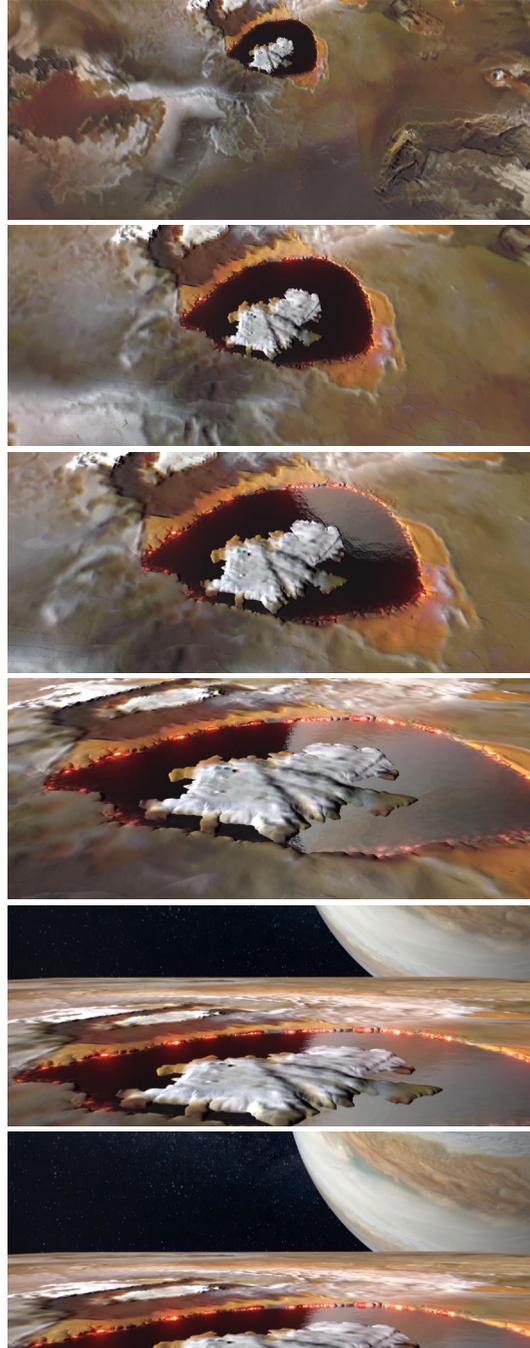
Les scientifiques de la mission Juno de la NASA vers Jupiter ont transformé les données recueillies lors de deux récents survols d'Io en animations qui mettent en évidence deux des caractéristiques les plus spectaculaires de la lune jovienne : une montagne et un lac de lave se refroidissant et présentant une surface presque lisse comme un miroir. D'autres résultats scientifiques récents du vaisseau spatial comprennent des mises à jour sur les cyclones polaires de Jupiter et l'abondance de l'eau.

Juno a effectué des survols extrêmement rapprochés d'Io en décembre 2023 et février 2024, s'approchant à environ 1 500 kilomètres de la surface et obtenant les premières images en gros plan des latitudes nord de la lune.

Io est jonchée de volcans et Juno en a capturé quelques-uns en action. La sonde a également obtenu de superbes gros plans et d'autres données sur un lac de lave de 200 kilomètres de long dénommé Loki Patera. Il y a des détails étonnants montrant des îles encastées au milieu d'un lac, probablement fait de magma, et bordé de lave chaude. La réflexion spéculaire enregistrée sur le lac suggère que certaines parties de la surface d'Io sont aussi lisses que du verre, rappelant l'obsidienne créée par les volcans terrestres.

Les cartes générées avec les données recueillies par l'instrument Microwave Radiometer (MWR) de Juno révèlent qu'Io a non seulement une surface relativement lisse par rapport aux autres lunes galiléennes de Jupiter, mais aussi que les pôles sont plus froids que les latitudes moyennes.

*Vue d'artiste d'un survol de Loki Patera, un lac de lave sur la lune de Jupiter Io, réalisée à partir des données de l'imagerieur JunoCam de la sonde spatiale Juno de la NASA. Avec plusieurs îles à l'intérieur, Loki est une dépression remplie de magma et bordée de lave en fusion. (NASA/JPL-Caltech/SwRI/MSSS)*



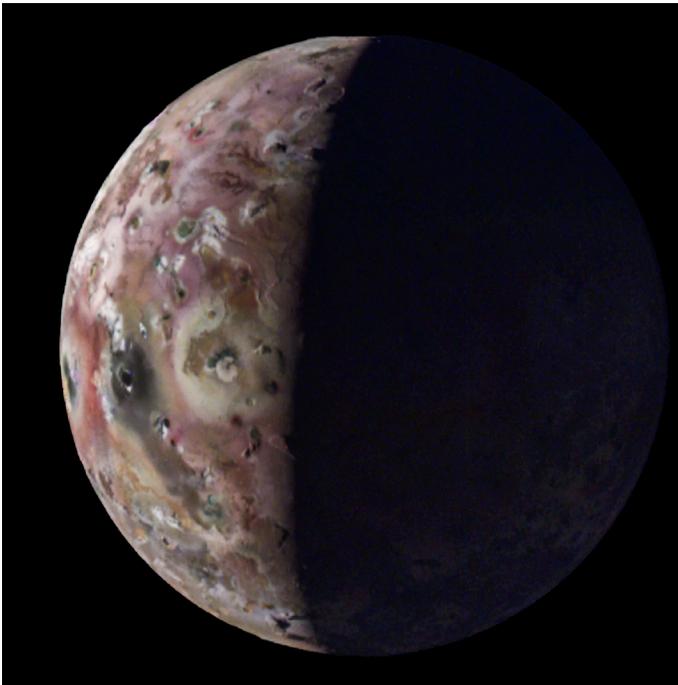
Au cours de la mission prolongée de Juno, le vaisseau spatial se rapproche du pôle nord de Jupiter à chaque passage. Ce changement d'orientation permet à l'instrument MWR d'améliorer sa résolution des cyclones polaires nord de Jupiter. Les données permettent des comparaisons des pôles à plusieurs longueurs d'onde, ce qui a révélé que tous les cyclones polaires ne sont pas créés égaux.

L'exemple le plus frappant de cette disparité peut être trouvé dans le cyclone central au pôle nord de Jupiter. Il est clairement visible dans les images infrarouges et en lumière visible, mais sa signature micro-onde est loin d'être aussi forte que celle des tempêtes voisines. Cela indique que sa structure sous-jacente doit être très différente de celle des autres cyclones. L'équipe MWR continue de collecter des données micro-ondes plus nombreuses et de meilleure qualité à chaque orbite, et prévoit de développer une carte 3D plus détaillée de ces curieuses tempêtes polaires.

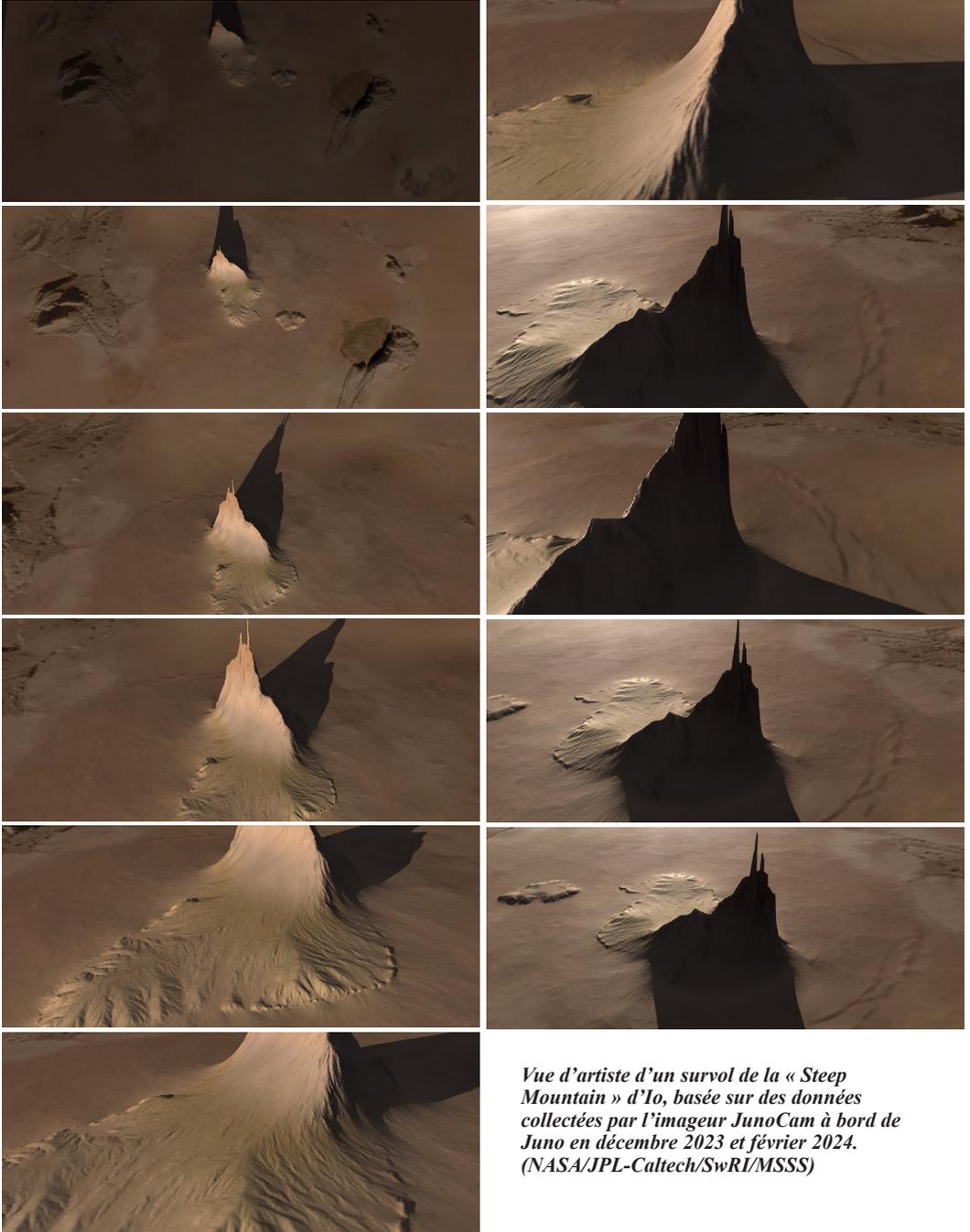
L'un des principaux objectifs scientifiques de la mission est de collecter des données qui pourraient aider les scientifiques à mieux comprendre l'abondance de l'eau de Jupiter. Pour ce faire, l'équipe scientifique de Juno n'est pas à la recherche d'eau liquide. Au lieu de cela, elle cherche à estimer la présence de molécules d'oxygène et d'hydrogène (les molécules qui composent l'eau) dans l'atmosphère de Jupiter. Une estimation précise est essentielle pour reconstituer le puzzle de la formation du Système solaire.

Jupiter a probablement été la première planète à se former et elle contient la majorité du gaz et de la poussière qui n'ont pas été incorporés dans le Soleil. L'abondance de l'eau a également des implications importantes pour la météorologie de la géante gazeuse (y compris la façon dont les vents circulent sur Jupiter) et sa structure interne.

En 1995, la sonde Galileo de la NASA avait fourni un premier ensemble de données sur l'abondance d'eau de Jupiter pendant sa



*L'instrument JunoCam de la sonde Juno de la NASA a capturé cette vue de la lune de Jupiter, Io, avec la toute première image de sa région polaire sud, lors du 60<sup>e</sup> survol de Jupiter par la sonde spatiale le 9 avril. (NASA/JPL-Caltech/SwRI/MSSS; G. Eichstädt, T. Thomopoulos; CC BY)*



*Vue d'artiste d'un survol de la « Steep Mountain » d'Io, basée sur des données collectées par l'imageur JunoCam à bord de Juno en décembre 2023 et février 2024. (NASA/JPL-Caltech/SwRI/MSSS)*

descente de 57 minutes dans l'atmosphère. Mais les données ont créé plus de questions que de réponses, indiquant que l'atmosphère de la géante gazeuse était étonnamment chaude et, contrairement à ce que les modèles informatiques avaient indiqué, dépourvue d'eau. Ces résultats étaient si éloignés des modèles de l'abondance de l'eau de Jupiter que les scientifiques se sont demandé si l'emplacement que la sonde avait échantillonné pouvait être à l'origine de cette valeur aberrante. Maintenant, avec des résultats récents réalisés avec les données MWR, on a pu déterminer que l'abondance d'eau près de l'équateur de Jupiter est environ trois à quatre fois supérieure à l'abondance solaire par rapport à l'hydrogène. Cela démontre définitivement que le site d'entrée de la sonde Galileo était une région anormalement sèche, un « désert ».

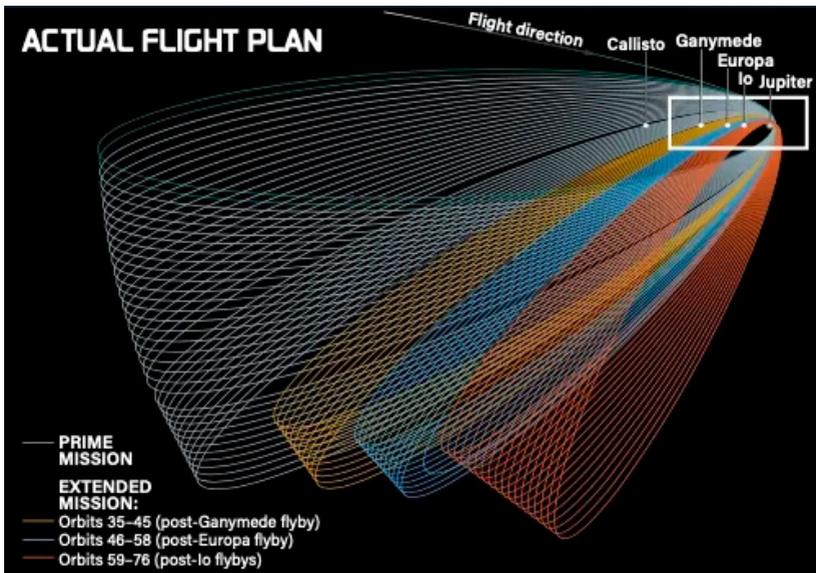
Les résultats soutiennent l'idée selon laquelle, au cours de la formation du Système solaire, des glaces pourraient avoir été la source de l'enrichissement en éléments lourds (éléments chimiques plus lourds que l'hydrogène et l'hélium) accretés lors de la formation

et/ou de l'évolution de la géante gazeuse. La formation de Jupiter reste déroutante, car les résultats de Juno sur le noyau de la géante gazeuse suggèrent une très faible abondance d'eau – un mystère que les scientifiques tentent toujours de résoudre.

Les données recueillies pendant le reste de la mission de Juno pourraient permettre de comparer l'abondance de l'eau de Jupiter près des régions polaires à celle de la région équatoriale et apporter un éclairage supplémentaire sur la structure du noyau de la planète.

Lors du 60<sup>e</sup> survol d'Io par Juno, le 9 avril, le vaisseau spatial s'est approché à environ 16 500 kilomètres de la surface de la lune.

*Orbites successives de Juno autour de Jupiter. Les survols de Ganymède et Europe en 2021 ont réduit la période de Juno de 53 à 43 puis à 38 jours. Les passages près d'Io en décembre 2023 et février 2024 l'ont encore raccourcie, l'amenant à 33 jours – une valeur qu'elle devrait conserver jusqu'à la fin de la mission « étendue » en septembre 2025. (NASA, JPL, SRI)*



## Europe

*Basé sur un communiqué Purdue University*

Europe, lune glacée de Jupiter, pourrait être le prochain endroit où les humains trouveront la vie, mais ils doivent d'abord comprendre la structure de l'astre.

Europe est une lune rocheuse, abritant des océans d'eau salée deux fois plus volumineux que ceux de la Terre, enfermés dans une coquille de glace. Les scientifiques ont longtemps pensé qu'Europe pourrait être l'un des meilleurs endroits du Système solaire pour rechercher la présence de vie. La probabilité et la nature de cette vie dépendent fortement de l'épaisseur de la carapace de glace, ce que les astronomes n'ont pas encore été capables de mesurer.

Des scientifiques ont cependant annoncé que la coquille de glace d'Europe devait avoir une épaisseur d'au moins 20 kilomètres. Pour parvenir à cette limite inférieure, ils ont étudié de grands cratères d'Europe, en utilisant des données et des images de la sonde Galileo qui avait étudié cette lune en 1998. Ils ont exécuté toute une série de simulations pour déterminer quelle combinaison de caractéristiques physiques aurait pu créer une telle structure de surface.

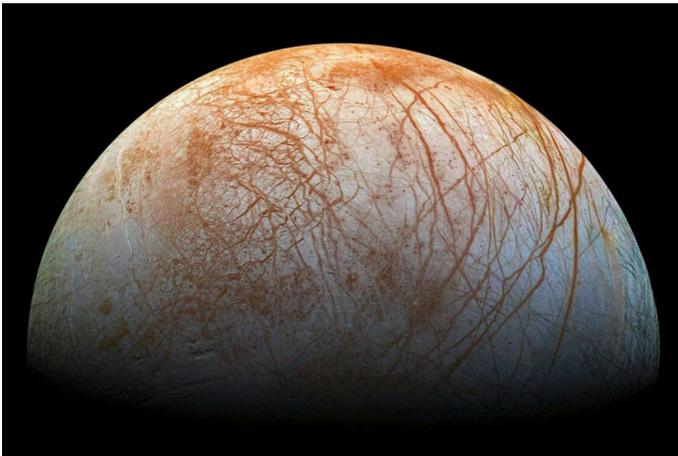
Des estimations antérieures montraient une très fine couche de glace au-dessus d'un océan épais. Mais la nouvelle étude donne au

contraire une couche épaisse – si épaisse que la convection dans la glace, qui avait déjà fait l'objet de débat, est probable.

La formation de cratères d'impact est le processus de surface le plus fréquent qui façonne les corps planétaires. On trouve des cratères sur presque tous les corps solides que l'on a observés en détail. Ils sont un moteur majeur du changement dans les corps planétaires. Lorsqu'un cratère d'impact se forme, il sonde essentiellement la structure proche de la surface d'un corps planétaire. En se basant sur les dimensions et la forme des cratères d'Europe et en reproduisant leur formation à l'aide de simulations numériques, on est en mesure de déduire des informations sur l'épaisseur de sa coquille de glace.

Les scientifiques ont modélisé un bassin montrant plusieurs anneaux concentriques avec différentes épaisseurs de glace. Ces épaisseurs influencent le degré d'échauffement. Il est apparu que des enveloppes de glace de moins de 15 kilomètres ne présentent pas les types de bassins multi-anneaux qui existent sur Europe. Cependant, un modèle plus épais le fait. En particulier, la simulation la mieux adaptée impliquait une coquille de plus de 20 kilomètres en deux couches : un dessus conducteur de 6 à 8 kilomètres, recouvrant une couche de glace chaude et convective.

À partir des images prises par Galileo, les chercheurs ont conclu que les impacteurs



*Le télescope spatial Hubble avait aperçu des geysers sur Europe mais cela n'a pu être vraiment confirmé. (NASA/JPL/Galileo spacecraft)*

devraient avoir une taille d'environ trois kilomètres environ pour créer les bassins multi-anneaux. Les plus petits ne créeraient pas les structures observées, et les plus gros donneraient lieu à des cratères d'apparence très différente.

Europe est un monde gelé, mais la glace abrite un noyau rocheux. La surface glacée n'est pas figée. La tectonique des plaques et les courants de convection dans les océans et la glace rafraîchissent la surface assez fréquemment. Cela signifie que la surface elle-même n'a que 50 à 100 millions d'années, ce qui est jeune en termes de périodes géologiques.

Cette surface lisse et jeune signifie que les cratères sont clairement définis, faciles

à analyser et peu profonds. Leurs impacts en disent beaucoup aux scientifiques sur la coquille glacée de la lune et l'océan souterrain, mais peu sur son cœur rocheux.

Comprendre l'épaisseur de la glace est essentiel pour théoriser sur la vie possible sur Europe. Elle contrôle le type de processus qui s'y déroulent, ce qui est vraiment important pour comprendre l'échange de matière entre la surface et l'océan. Cela devrait aider à estimer la possibilité de la vie dans ces milieux.

***Image par la sonde Galileo du bassin multi-anneaux Tyre sur Europe. Il y a au moins 5 à 7 anneaux autour du centre du cratère d'impact.***  
(NASA/JPL/ASU)

