

Précipitations exotiques

Pluies de diamants

Basé sur un communiqué SLAC

La formation de diamants dans les planètes glacées Uranus et Neptune a été évoquée dès 2010. Les scientifiques pensent qu'après leur formation les diamants tomberaient en réponse aux forces gravitationnelles, entraînant ainsi une « pluie » de pierres précieuses.

De nouvelles expériences menées en laboratoire suggèrent que de telles averses peuvent se former à des pressions et des températures plus basses qu'on ne le pensait.

Ces précipitations pourraient expliquer des anomalies des champs magnétiques de Neptune et d'Uranus. Elles fournissent une source interne de chaleur. En transportant le carbone plus profondément dans les planètes, elles pourraient avoir un impact significatif sur leurs propriétés, déclencher le mouvement de couches de glaces conductrices et influencer la génération de champs magnétiques.

Lors de travaux antérieurs les scientifiques avaient pu observer une pluie de diamants se formant dans des conditions de haute pression, confirmant la possibilité de formation de diamants dans les planètes glacées, composées principalement d'eau, d'ammoniac et d'hydrocarbures. Ils ont ensuite découvert que la présence d'oxygène favorise la formation de diamants, ce qui permet de penser qu'il y en a dans un plus large éventail de conditions et sur un plus grand nombre de planètes.

Auparavant, les pressions et températures élevées générées en laboratoire par des lasers de haute puissance ne permettaient de maintenir les conditions que pendant quelques

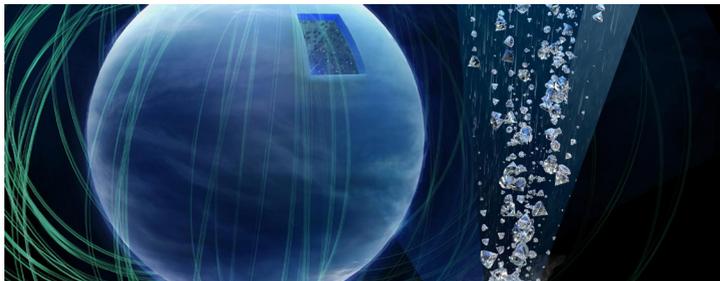
nanosecondes. Dans la nouvelle expérience, les chercheurs ont pu maintenir les réactions plus longtemps en utilisant des impulsions de rayons X. La pression et la température auxquelles les diamants ont été observés ont permis aux chercheurs de prédire la profondeur à laquelle ils pourraient se former à l'intérieur d'une planète. Il est apparu que cela a lieu à des pressions et des températures plus basses qu'on ne l'imaginait.

Contrairement au champ magnétique terrestre, les champs des planètes glacées ne sont pas symétriques et ne s'étendent pas à partir de chaque pôle. Ces propriétés suggèrent que les champs ne sont pas générés dans le noyau planétaire mais dans une mince couche conductrice.

Après leur formation, les particules de diamant peuvent entraîner avec elles du gaz et de la glace lorsqu'elles descendent vers les couches internes de la planète, provoquant des courants de glace. Les nouveaux résultats montrent que les diamants se forment au-dessus d'une couche de glace conductrice qu'ils remuent en tombant. Les courants qui en résultent agissent comme une sorte de dynamo entraînant les champs magnétiques des planètes.

Les résultats suggèrent également que des pluies de diamants seraient possibles sur des planètes gazeuses plus petites, des « mini-Neptunes » – l'un des types d'exoplanètes les plus courants.

Diamants et lignes de force autour d'une planète glacée. Vue d'artiste. (SLAC)



Neiges et pluies de fer

Basé sur des communiqués GEO/AGU et ESO

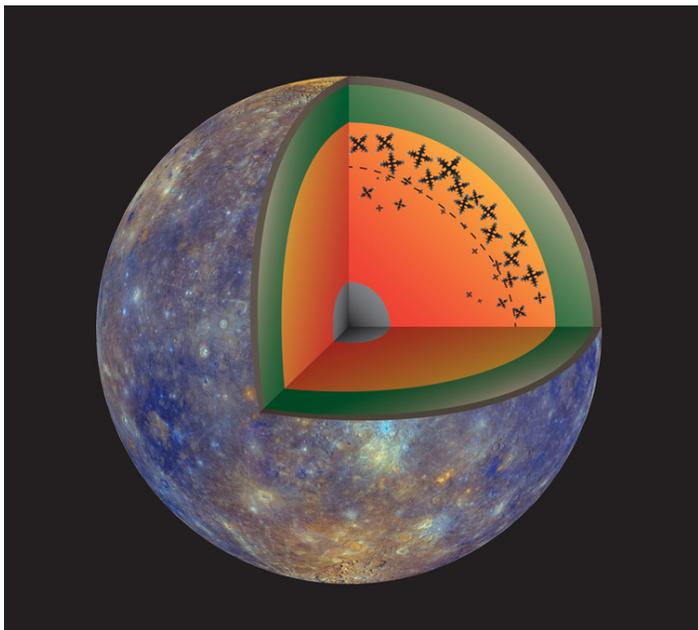
Tout comme les cristaux de neige se forment dans la haute atmosphère, puis tombent à des altitudes plus basses et plus chaudes et fondent, les scientifiques pensent qu'un phénomène de neige de fer se produit dans les noyaux de fer fondu de certaines planètes : le refroidissement près de la limite noyau-manteau crée des cristaux de fer, qui fondent en tombant dans le noyau chaud. Ce mouvement peut créer des champs magnétiques dans certains petits corps comme Mercure et Ganymède, mais la dynamique n'en est pas encore bien comprise.

Les chercheurs ont modélisé en laboratoire de la neige ferreuse en utilisant de la glace d'eau et ils ont constaté des cycles distincts de formation de cristaux et d'inactivité. Extrapolés aux corps planétaires, les résultats pourraient signifier que les champs magnétiques planétaires vont et viennent périodi-

quement lorsque leurs dynamos s'allument et s'éteignent.

La configuration expérimentale, assez simple, impliquait un réservoir d'eau refroidi par le bas, avec une couche d'eau salée au fond pour empêcher l'adhésion des cristaux de glace. À mesure que les couches inférieures d'eau douce se refroidissaient, elles produisaient des cristaux de glace qui flottaient vers le haut et fondaient en atteignant une eau plus chaude. Cela créait un courant inverse qui, associé à la chaleur latente créée par la formation des cristaux, réchauffait les couches inférieures d'eau et finissait par arrêter la formation de cristaux de glace. Lorsque l'eau se refroidissait suffisamment, le processus recommençait.

Les épisodes de formation de cristaux se répétaient toutes les 1400 secondes environ. Ce taux était contrôlé par la diffusion de chaleur dans la couche de refroidissement, avec une certaine variabilité probablement due à l'hétérogénéité de la nucléation des cristaux. Le modèle indique que les corps planétaires dotés de noyaux de fer en fusion peuvent



*De la neige ferreuse peut se produire lorsque le refroidissement près de la limite noyau-manteau provoque la formation de cristaux de fer. Ces cristaux grandissent, puis s'enfoncent dans le noyau chaud et fondent.
(L. Huguet, NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/ Carnegie Institution of Washington)*

subir des explosions similaires de formation de neige de fer qui créent des flux de fluides internes dans le fer en fusion, entraînant périodiquement une dynamo générant un champ magnétique planétaire. Ainsi, des champs magnétiques peuvent apparaître et disparaître à intervalles semi-réguliers dans ces corps.

Plusieurs questions subsistent sur ce processus, notamment le degré de surfusion nécessaire à la formation des cristaux, la manière dont les particules de neige ferreuse se déplacent collectivement et la manière dont ces mouvements affectent les flux à grande échelle dans le noyau.

Nous avons déjà évoqué en ces colonnes (*Le Ciel*, juin 2020, p. 344) un autre type d'averses de fer affectant une planète, mais cette fois dans son atmosphère et non son intérieur. La planète en question, WASP-76b, se situe à 640 années-lumière dans la constellation des Poissons.

Les observations du VLT de l'ESO avaient montré la présence de vapeur de fer sur la ligne jour-nuit, ce qui suggère qu'il pleut du fer la nuit sur cette exoplanète extrême.

Très proche de son étoile, la planète est très chaude, plus de 2400 degrés Celsius, ce qui suffit à vaporiser le fer et d'autres métaux. On y a d'ailleurs aussi trouvé du baryum, qui fut alors l'atome le plus lourd détecté sur une exoplanète, avant d'être détrôné par le samarium (56 protons alors que le fer n'en a que 26) découvert sur l'exoplanète, MASCARA-4b.

En raison de leur proximité, la rotation de la planète s'est synchronisée avec la période orbitale, et c'est toujours la même face qui regarde l'étoile. Cette situation entraîne un grand écart de température entre le jour et la nuit, écart que des vents violents tentent de réduire.

Ces vents transportent la vapeur de fer vers l'hémisphère nuit où la température n'est que de l'ordre de 1500 °C. Le gaz se condense en gouttelettes qui tombent sous forme de pluie.

*Vue d'artiste montrant la face nocturne de l'exoplanète WASP-76b. De forts vents y charrient la vapeur de fer depuis l'hémisphère éclairé. Cette vapeur se condense en gouttelettes de fer.
(ESO/M. Kornmesser)*



Averses d'hydrocarbures et îles magiques

Basé sur un communiqué AGU

Une atmosphère orange brumeuse, 50% plus épaisse que celle de la Terre et riche en méthane et autres molécules à base de carbone ou organiques, recouvre la plus grande lune de Saturne, Titan. Sa surface montre des dunes sombres de matière organique et des mers de méthane et d'éthane liquides.

La mission Cassini a révélé que Titan est un monde géologiquement actif, dans lequel les hydrocarbures comme le méthane et l'éthane jouent le rôle que joue l'eau sur Terre. Ces hydrocarbures pleuvent à la surface, coulent dans les ruisseaux et les rivières, s'accumulent dans les lacs et les mers et s'évaporent dans l'atmosphère d'un monde étonnant.

Ce qui est encore plus étrange est ce qui apparaît dans les images radar comme

Cette interprétation artistique du paysage de Titan présente une atmosphère brumeuse, des dunes sombres, des lacs et des mers d'huile, lisses comme des miroirs. Sur ces masses d'hydrocarbures liquides, de nouvelles recherches suggèrent que l'apparition d'« îles magiques » pourrait être provoquée par des solides organiques flottants. (NASA/JPL)

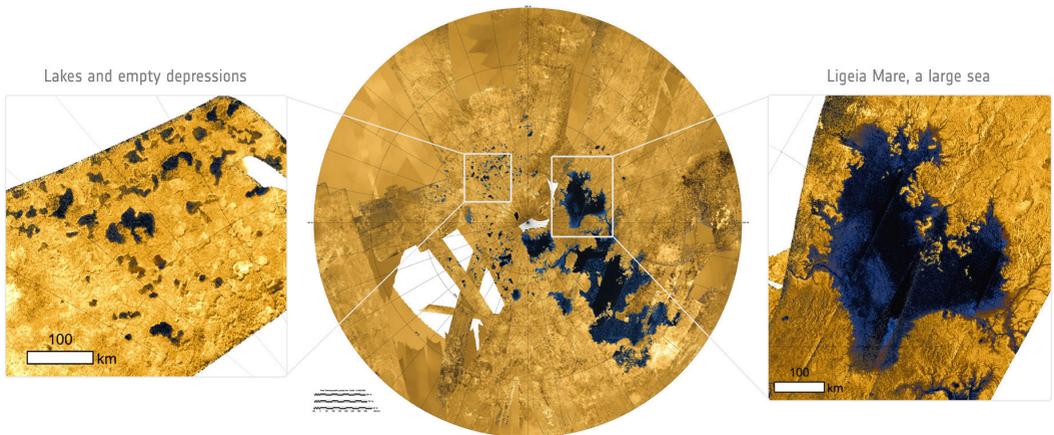
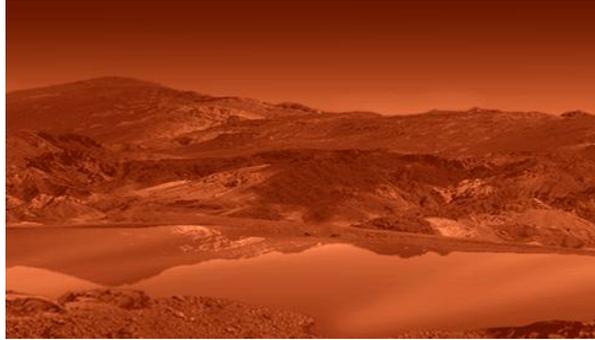


Image radar prise par Cassini montrant les régions polaires nord de Titan (au centre), avec des gros plans de nombreux lacs (à gauche) et d'une grande mer (à droite). La mer, Ligeia Mare, mesure environ 420 × 350 km et constitue le deuxième plus grand corps connu d'hydrocarbures liquides sur Titan. Ses côtes s'étendent sur environ 2 000 km et de nombreuses rivières se jettent

dans la mer. En revanche, les nombreux lacs mesurent généralement moins de 100 km de diamètre et présentent des formes plus arrondies et des flancs abrupts. Des points lumineux transitoires, des « îles magiques », ont été observés apparaître et disparaître sur Ligeia Mare. (NASA/JPL-Caltech/ASI/USGS/ESA. T. Cornet)

des points lumineux changeants à la surface des mers qui peuvent durer de quelques heures à plusieurs semaines, voire plus.

Les scientifiques ont repéré pour la première fois ces « îles magiques » éphémères en 2014 avec la mission Cassini-Huygens et tentent depuis de comprendre de quoi il s'agit. Des études antérieures suggéraient qu'il pourrait s'agir d'îles fantômes causées par des vagues ou de véritables îles constituées de solides en suspension, de solides flottants ou de bulles d'azote gazeux. Les planétologues se sont demandé si un examen plus approfondi de la relation entre l'atmosphère de Titan, les lacs liquides et les matériaux solides pleuvant sur la surface de la lune pourrait révéler la cause de ces îles mystérieuses. Les îles magiques peuvent-elles réellement être des matières organiques flottant à la surface, comme de la

Pierre ponce qui peut flotter sur l'eau, avant de finalement couler ?

La haute atmosphère de Titan est dense de diverses molécules organiques. Les molécules peuvent s'agglutiner, geler et tomber sur la surface de la lune, y compris sur ses rivières et ses lacs étrangement lisses de méthane et d'éthane liquides, avec des vagues de seulement quelques millimètres de hauteur.

*Paysage de Titan au clair de Saturne. Cette interprétation artistique avait été réalisée avant l'atterrissage de la sonde Huygens. On ne savait pas encore si la surface était solide ou liquide mais on imaginait bien un océan d'hydrocarbures.
(NASA)*



Titan passe devant Saturne et ses anneaux dans cette photo prise par Cassini en 2011. (NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute)

Il pleut donc sur la plus grande lune de Saturne, mais ce sont de l'éthane, du méthane et des composés organiques plus complexes. Au sol, les morceaux accumulés peuvent vêler comme des glaciers aux bords des lacs de méthane de la lune, formant les îles éphémères que l'on décèle sur les images de Cassini.

Les chercheurs se sont intéressés au sort des flocons organiques lorsqu'ils atteignent les lacs d'hydrocarbures de Titan. Vont-ils couler ou flotter ? Comme les lacs sont déjà saturés de particules organiques, les solides qui y tombent ne se dissoudraient pas lorsqu'ils atteindraient le liquide.

Pour que nous puissions voir les îles magiques, elles ne peuvent pas simplement flotter pendant une seconde puis couler. Elles doivent flotter pendant un certain temps, mais pas trop longtemps.

Les lacs et les mers de Titan sont principalement constitués de méthane et d'éthane, qui ont tous deux une faible tension superficielle, ce qui rend plus difficile la flottaison des solides. Les modèles suggéraient que la plupart des solides congelés étaient trop denses et que la tension superficielle était trop faible pour créer les îles magiques de Titan, à moins que les amas ne soient poreux comme de l'emmental.

Si les amas de glace étaient suffisamment gros et avaient le bon rapport de trous et de tubes étroits, le méthane liquide pourrait

s'infiltrer assez lentement pour que les amas puissent persister à la surface.

La modélisation suggère que les amas individuels sont probablement trop petits pour flotter d'eux-mêmes. Mais si suffisamment d'amas se regroupent près du rivage, des morceaux plus gros pourraient se détacher et flotter, de la même manière que les glaciers vèlent sur Terre. Avec une combinaison d'une plus grande taille et d'une bonne porosité, ces glaciers organiques pourraient expliquer le phénomène des îles magiques.

En plus des îles magiques, une fine couche de solides gelés recouvrant les mers et les lacs de Titan pourrait expliquer le calme des étendues liquides. Ainsi, les résultats de cette étude pourraient expliquer deux des mystères de Titan.

