



Astronomie dans le monde

SOFIA et le pôle sud de la Lune

Basé sur un communiqué NASA-SOFIA

Les données de l'observatoire volant SOFIA ont permis de cartographier l'eau de la Lune près des futurs sites d'atterrissage d'Artemis au pôle sud, constituant ainsi la première carte détaillée et étendue de la distribution de l'eau sur notre satellite.

Cette étude fournit des indices sur la façon dont l'eau peut se déplacer sur la surface de la Lune, en particulier près du pôle sud – une zone importante pour l'exploration spatiale. La carte couvre environ un quart du côté de la surface lunaire faisant face à la Terre, à plus de 60 degrés de latitude australe, et s'étend jusqu'au pôle sud. Compte tenu de la grande région couverte, les chercheurs ont pu facilement identifier la relation entre l'eau et les caractéristiques de surface, en favorisant les zones froides, abritées du Soleil.

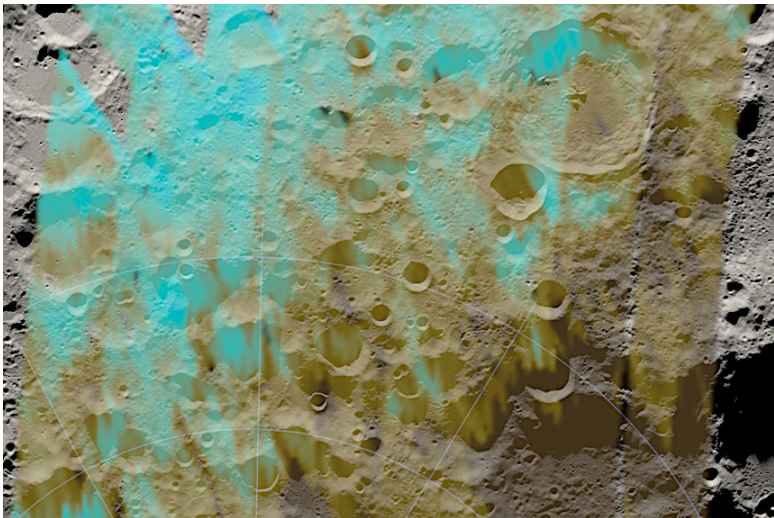
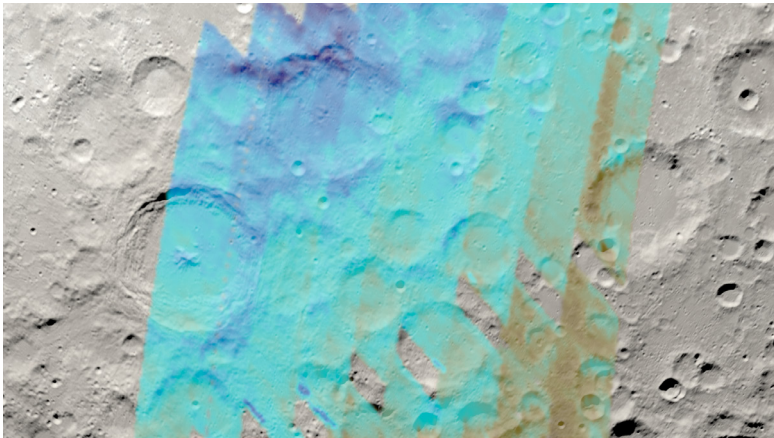
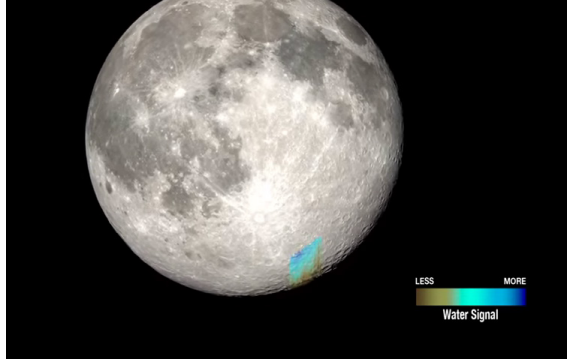
Les données sur l'eau révèlent clairement les bords des cratères, les montagnes indivi-

duelles, et distinguent les côtés jour et nuit des montagnes, grâce à leur différence de concentration en eau.

Ces résultats, associés à d'autres découvertes précédentes de SOFIA sur la quantité et la distribution de l'eau sur la surface éclairée de la Lune, ont été possibles en visant systématiquement des caractéristiques spectrales bien particulières de l'eau. Des missions antérieures d'observation de vastes zones de la surface lunaire avaient exploré des domaines de longueurs d'onde qui ne pouvaient pas distinguer l'eau de molécules similaires comme l'hydroxyle. L'eau est présente dans le sol et peut se trouver sous forme de cristaux de glace ou de molécules d'eau liées chimiquement à d'autres matériaux.

Au lieu de déterminer la quantité absolue d'eau dans la région, les chercheurs ont comparé les données obtenues autour du pôle sud de la Lune avec une région de référence plus aride près de l'équateur de la Lune pour voir comment son abondance change.

Visualisation des données SOFIA montrant la signature de l'eau, superposée à une image de la Lune telle qu'elle apparaissait au moment des observations en février 2022. En bleu sombre, dans le zoom du milieu, on peut voir un versant à l'abri du Soleil, où l'eau est particulièrement abondante. (NASA's Goddard Space Flight Center Scientific Visualization Studio/Ernie Wright)



L'eau a été trouvée en plus grande concentration sur les ubacs, les côtés des cratères et des montagnes opposés au Soleil ; tout comme les pentes de nos montagnes recevant moins de soleil direct retiennent la neige plus longtemps. Cela suggère que la géographie locale de la Lune joue un rôle important dans la quantité d'eau présente.

Fin 2024, la sonde VIPER (Volatiles Investigating Polar Exploration Rover) de la NASA devrait atterrir dans la région étudiée par SOFIA, au sommet de Mons Mouton, pour mener la première mission de cartographie des ressources au-delà de la Terre.

Alors que la NASA se prépare à renvoyer des astronautes sur la Lune dans le cadre du programme Artemis, l'agence a identifié 13 régions d'atterrissage candidates près du pôle sud lunaire. Grâce à Artemis, la NASA fera atterrir la première femme astronaute et le premier astronaute de couleur sur la Lune, et l'eau lunaire sera une ressource essentielle pour établir une présence humaine à long terme.

La carte de SOFIA fournira des informations précieuses pour le programme Artemis sur les zones de prospection potentielles, mais fournira également un contexte régional pour de futures missions comme VIPER.

En plus de la région sud pour laquelle les nouveaux résultats cartographiques ont été créés, les observations SOFIA de sites retenus pour d'autres missions sont dans les archives et sont en cours d'analyse. Les missions liées à Artemis de la NASA cibleront à la fois les régions polaires et non polaires. Parmi ces sondes, il y aura Lunar Trailblazer, qui orbitera autour de la Lune pour cartographier son hydroxyle et son eau.

L'origine de l'eau sur la Lune est une autre question importante laissée ouverte par les observations SOFIA. Est-elle inhérente aux minéraux de notre satellite ? Est-elle exclusivement fournie par les comètes et le vent solaire ? Migre-t-elle à la surface de la Lune ?

VIPER visera à mieux comprendre cette question, qui est importante pour déterminer si l'eau est répandue et profonde sous la surface, ou seulement dispersée près de la surface.

Il est clair, cependant, que même à sa limite la plus basse, la Lune contient beaucoup plus d'eau que nous ne le pensions autrefois. L'idée issue des missions Apollo selon laquelle la Lune est complètement sèche est fautive.

SOFIA était un projet conjoint de la NASA et de l'Agence spatiale allemande au DLR. SOFIA a atteint sa pleine capacité opérationnelle en 2014 et a conclu son dernier vol scientifique le 29 septembre 2022.

SOFIA fait partie de l'héritage de la NASA en matière d'astronomie aéroportée. S'appuyant sur les succès du Galileo I à bord d'un Learjet et de l'observatoire volant KAO (Kuiper Airborne Observatory), SOFIA a été développé pour fournir à la communauté astrophysique un accès sans précédent à l'infrarouge moyen et lointain. Cette partie du spectre électromagnétique est difficile à observer depuis la surface de la Terre, car l'eau atmosphérique empêche cette gamme de rayonnement d'atteindre le sol. SOFIA, volant au-dessus de 99,9% de l'eau contenue dans l'atmosphère, pouvait faire des observations inédites d'une grande variété de phénomènes cosmiques.

En fait, SOFIA a révolutionné l'étude des champs magnétiques cosmiques en astrophysique. D'autres observatoires, comme l'observatoire spatial Planck de l'ESA (Agence spatiale européenne), pouvaient également détecter la lumière polarisée et révéler comment ces forces invisibles affectent les galaxies. SOFIA, cependant, a permis aux scientifiques de faire des observations à des échelles beaucoup plus fines, de sonder les filaments sombres où naissent les étoiles, d'étudier les bras galactiques et les fusions de galaxies. SOFIA a également observé notre galaxie et ses plus proches compagnes. Il a observé des bulles cosmiques et des amas d'étoiles massives. SOFIA a détecté pour la première fois l'hydrure d'hélium, le premier type de molécule qui se soit jamais formée dans l'Univers. SOFIA a également tourné son regard vers des choses beaucoup plus proches de nous, comme l'atmosphère de Vénus, les comètes, Pluton et la Lune.



Le ciel nocturne en danger

La perte du ciel nocturne est en train de passer du cauchemar à la réalité. Il semble de plus en plus probable que le ciel noir ne sera bientôt plus qu'un souvenir, même au sommet des montagnes ou dans des déserts reculés.

Pour les astronomes – mais pas seulement – la pollution lumineuse créée par le nombre croissant de satellites en orbite autour de la Terre constitue une menace mondiale sans précédent pour la nature et le patrimoine culturel.

Le nombre de satellites en orbite terrestre basse a plus que doublé depuis 2019, lorsque la société américaine SpaceX a lancé la première méga-constellation, qui comprend des milliers de satellites. De multiples projets de nouvelles constellations Internet vont ajouter des milliers de satellites supplémentaires à la zone déjà encombrée à moins de 2 000 kilomètres au-dessus de la Terre.

L'augmentation exponentielle du nombre de satellites augmente le risque de collision, et chaque collision génère des milliers de débris qui sont autant de menaces pour les autres

Une estimation numérique, datant de 2008, montrant des objets en orbite autour de la Terre – le nombre de satellites a depuis grimpé en flèche. (ESA / ID&Sense / ONiRiXEL)

objets en orbite, et qui accroissent significativement la pollution lumineuse. Il s'agit tout simplement d'une réaction en chaîne dans laquelle des collisions en cascade créent des fragments de débris de plus en plus petits, ajoutant encore au nuage de débris spatiaux réfléchissant la lumière du Soleil.

Une modélisation suggère que le télescope géant Vera Rubin, actuellement en construction au Chili, perdra déjà plus de 7% de son efficacité dans la prochaine décennie. Une autre modélisation approfondie suggère que les données actuelles sous-estiment considérablement le phénomène de la pollution lumineuse.

Les astronomes ont appelé à limiter drastiquement les méga-constellations de satellites, qu'ils décrivent comme une attaque



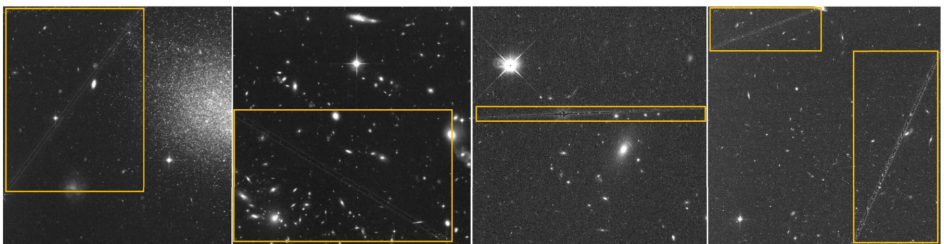
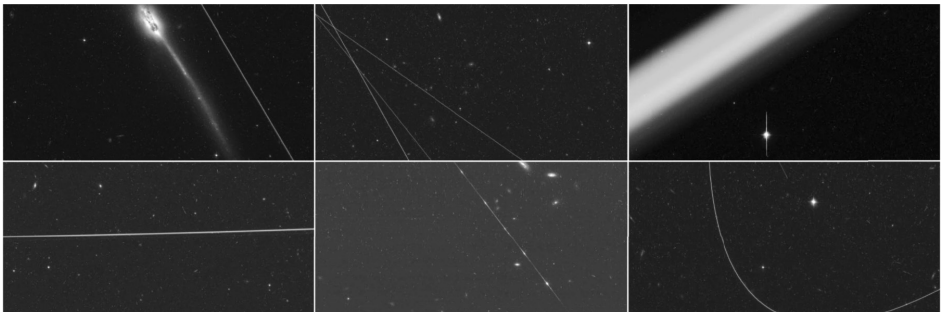
Vue d'artiste d'une méga-constellation de satellites. (ESA-Science Office)

contre la nuit naturelle, comme une menace envers notre relation ancienne avec le ciel nocturne. Ils appellent à contrôler drastiquement les méga-constellations, évoquant la nécessité éventuelle d'une interdiction. Selon eux, il est naïf d'espérer que l'économie spatiale en plein essor se limite, à moins d'y être forcée, compte tenu des intérêts en jeu.

Les satellites ne sont pas la seule menace. Des projets visent à contrôler le rayonnement solaire en créant un nuage global de particules dans la haute atmosphère. Il n'y a pas que le ciel nocturne qui serait affecté, mais c'en serait fini du ciel bleu.

Les observatoires spatiaux en orbite basse sont eux aussi affectés par les passages de satellites, en plus de risquer des collisions. Les images du haut montrent des traînées dans des champs de 100"×200" et des poses d'environ onze minutes. Certains passages rapprochés donnent des traînées larges, hors foyer.

En bas, des composites réalisés à partir d'images multiples montrent des imperfections. (NASA/Hubble)



11/ Oumuamua

Basé sur un communiqué UC Berkeley

En 2017, un mystérieux visiteur surnommé 'Oumuamua enflammait l'imagination des scientifiques et du public. C'était apparemment le premier astéroïde identifié comme venant d'en dehors du Système solaire. Il ne présentait aucun signe d'activité comme une coma ou une queue de poussière. Sa forme particulière – quelque chose entre un cigare et une crêpe – convenait mieux à un astéroïde qu'à une comète.

Cependant, les anomalies de son orbite ne pouvaient pas s'expliquer dans le cas d'un astéroïde. Cela a conduit certains à suggérer qu'il s'agissait d'un vaisseau spatial extraterrestre, mais l'explication la plus rationnelle était que l'on avait affaire à une comète. Les déviations de l'orbite par rapport à une trajectoire hyperbolique peuvent s'expliquer par un mécanisme physique simple, l'effet de réaction lorsque la comète se réchauffe au Soleil.

Ce qui différenciait 'Oumuamua des autres comètes était sa taille : elle était si petite que la très faible poussée de gaz suffisait à influencer son orbite.

En s'approchant du Soleil, les comètes s'échauffent et éjectent de l'eau et d'autres composés volatils, produisant un halo lumineux (la coma) autour d'elles et souvent des queues de gaz et de poussière. Les gaz éjectés agissent comme des réacteurs qui modifient légèrement les orbites.

'Oumuamua n'avait ni coma ni queue et était trop petite et trop éloignée du Soleil pour se réchauffer et éjecter beaucoup de molécules d'eau, ce qui a conduit les astronomes à spéculer sur sa composition et ce qui perturbait son orbite. Était-ce une espèce d'iceberg dégazant de l'hydrogène ? Un gros flocon de neige poussé par la pression du rayonnement solaire ?

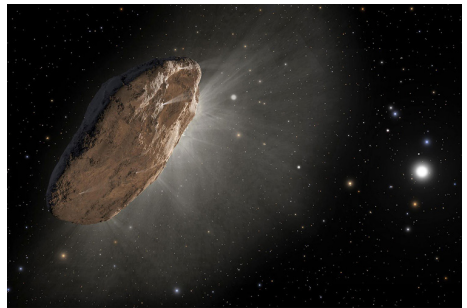
La solution était peut-être plus simple. D'anciennes recherches avaient démontré que lorsque de la glace est frappée par des particules de haute énergie, de l'hydrogène moléculaire est produit et piégé dans la glace. Ce phénomène doit concerner les noyaux cométaires : les rayons cosmiques peuvent

pénétrer des dizaines de mètres dans la glace, convertissant un quart ou plus de l'eau en hydrogène.

Pour une comète de plusieurs kilomètres de diamètre, ce dégazage n'affecte qu'une couche superficielle relativement mince, et l'effet résultant sur la trajectoire est négligeable. Mais il en va autrement pour la petite 'Oumuamua qui ne mesure qu'une centaine de mètres sur 20 mètres.

Cette idée explique également l'absence d'une coma de poussière. Même s'il y avait de la poussière dans la matrice de glace, elle ne serait pas expulsée car la glace ne se sublime pas, elle ne fait que se réorganiser et libérer l'hydrogène

Étant donné que H₂ devrait se former dans tout corps riche en glace exposé à un rayonnement énergétique, les chercheurs soupçonnent que le même mécanisme serait à l'œuvre dans les comètes s'approchant du Soleil depuis le nuage d'Oort aux confins du Système solaire, où les comètes sont irradiées par les rayons cosmiques, un peu comme le serait une comète interstellaire. Les observations futures du dégazage d'hydrogène des comètes à longue période pourraient être utilisées pour tester le scénario de formation et de piégeage de l'hydrogène.



*Vue d'artiste de la comète interstellaire 'Oumuamua. La comète, qui a très probablement la forme d'une crêpe, est le premier objet connu autre que les grains de poussière à visiter le Système solaire depuis une autre étoile.
(NASA, ESA, J. Olmsted, F. Summers, STScI)*

Encelade

Basé sur un communiqué UCLA

Bien qu'elle soit relativement petite, Encelade – ce n'est que la sixième plus grande des 83 lunes de Saturne – a été considérée par les astronomes comme l'un des corps les plus fascinants du Système solaire.

Encelade se distingue des autres corps célestes par son apparence et son comportement. Elle a la surface la plus réfléchissante que les astronomes aient jamais observée. Et elle est connue pour pulvériser de minuscules particules de silice glacées – si nombreuses que les particules sont une composante importante du deuxième anneau le plus externe autour de Saturne, l'anneau E.

Encelade est caractérisée comme un « monde océanique », un corps céleste avec

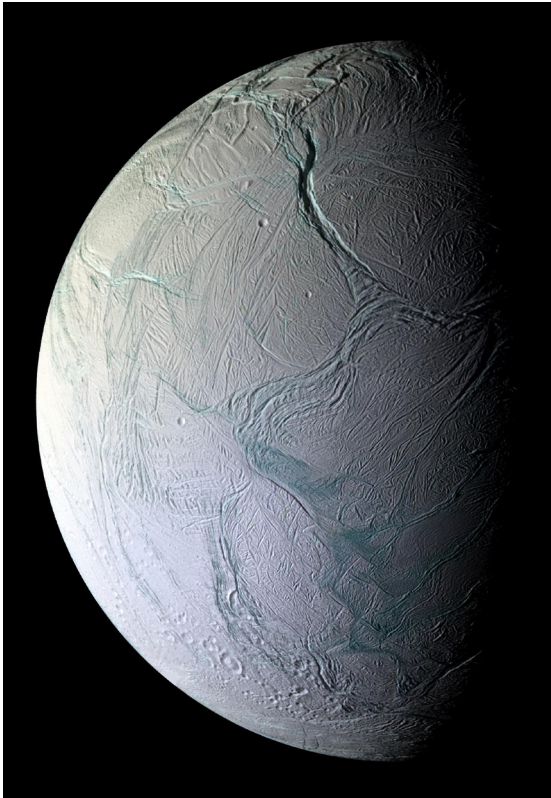
un volume substantiel d'eau liquide. Mais contrairement aux océans de notre planète, celui d'Encelade est protégé par une épaisse couche de glace. Cependant, la glace n'est pas un piège étanche : certains matériaux sont libérés près du pôle sud d'Encelade au travers de grandes fractures dans la glace connues comme les « rayures de tigre ».

Les particules de silice qu'Encelade éjecte commencent leur voyage au fond de l'océan mais, à ce jour, les scientifiques ne savent pas comment cela se produit ni combien de temps le processus prend.

Une nouvelle étude menée par des scientifiques de l'UCLA offre cependant quelques réponses. Selon les chercheurs, l'échauffement dû aux interactions de marée dans le noyau rocheux d'Encelade crée des courants qui transportent des particules de silice, et celle-ci est probablement libérée en quelques mois par des bouches hydrothermales au fond de l'océan.

Pour arriver à ces conclusions, les scientifiques ont analysé les données recueillies par le vaisseau spatial Cassini. Ils ont élaboré un modèle théorique qui pourrait rendre compte du transport de la silice à travers l'océan.

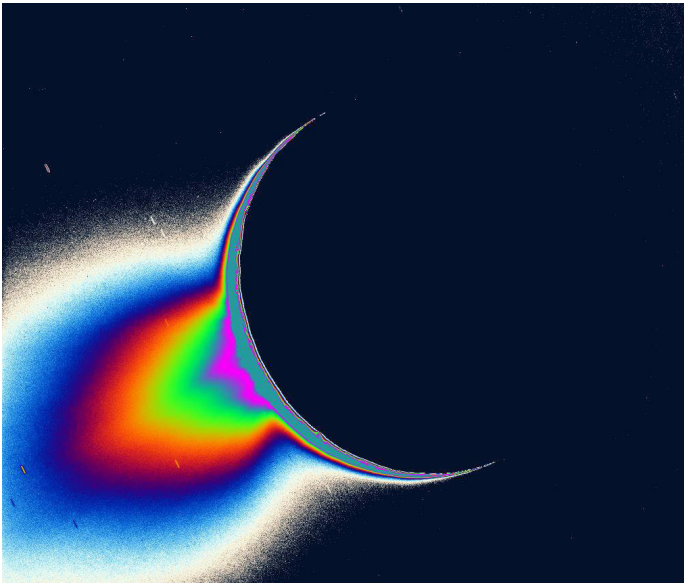
La géologie active d'Encelade est alimentée par les forces de marée alors qu'elle tourne autour de Saturne. La lune est alternativement étirée et comprimée par la gravité. Cette déformation crée des frictions à la fois dans l'enveloppe de glace et dans le noyau rocheux. Le nouveau modèle a démontré que ces frictions chauffent suffisamment le fond de l'océan pour créer un courant qui transporte les grains de sable vers la surface.



Mosaïque d'Encelade reconstituée à partir d'images prises par Cassini le 9 octobre 2008, après être passée à moins de 25 kilomètres de la surface du satellite de Saturne. (NASA/JPL/Space Science Institute)



Encelade vue par Cassini le 30 novembre 2010. L'ombre de la lune se profile sur le bas des jets.
(NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute)



Encelade rétro-éclairée par le Soleil. Image en fausses couleurs due à la sonde Cassini et montrant les jets de particules glacées et de vapeur venant de l'océan souterrain.
(NASA/JPL/Space Science Institute)

Les rayures de tigre sont les conduits directs par lesquels ces particules sont projetées dans l'espace. Encelade livre ainsi des échantillons de ce qui se cache profondément en dessous.

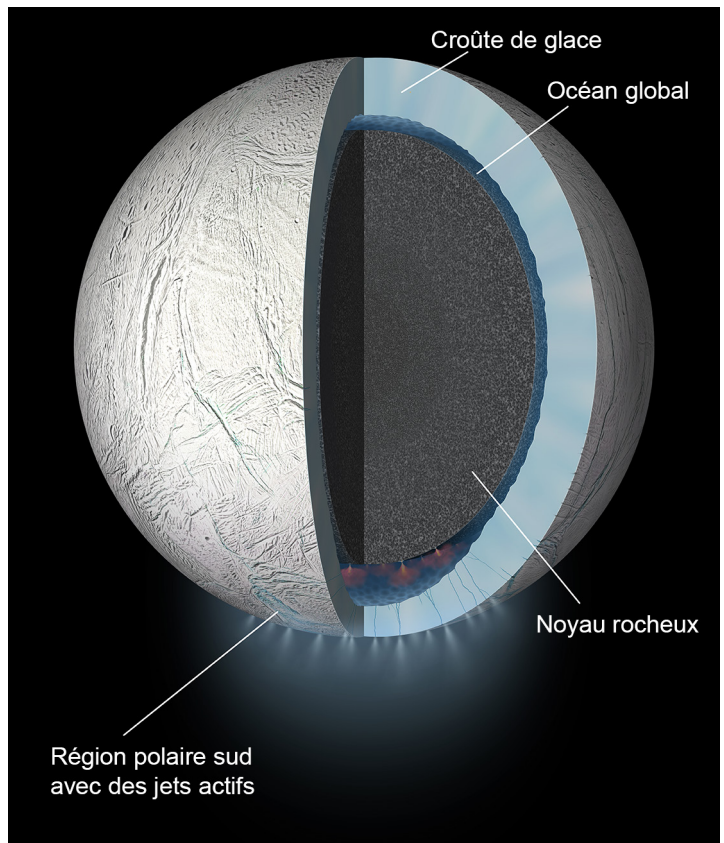
Cassini a trouvé des quantités substantielles d'hydrogène dans les panaches, ce qui, avec la silice, semble bien prouver l'activité hydrothermale au fond de l'océan. Le modèle théorique renforce cette hypothèse en démontrant un délai plausible pour le processus et un mécanisme convaincant qui expliquerait pourquoi les panaches contiennent de la silice. Le modèle aiderait également à expliquer pourquoi d'autres matériaux sont transportés à la surface.

Sur Terre, des bouches hydrothermales similaires en haute mer abritent une multitude d'organismes fascinants qui se régalent des minéraux libérés.

À l'avenir, les engins spatiaux pourraient recueillir davantage de données pour permettre aux scientifiques d'étudier plus avant les propriétés physiques et chimiques des systèmes hydrothermaux potentiels d'Encelade. Pour déterminer si ces événements pourraient soutenir la vie, les scientifiques devraient tester les panaches pour des traces chimiques d'activité biologique – des biosignatures.

Les plans de la NASA pour la prochaine décennie incluent des missions qui passeraient, orbiteraient et atterrieraient sur Encelade afin de recueillir plus d'informations.

*Schéma de l'intérieur d'Encelade.
(NASA/JPL-Caltech)*



La rotation d'Europe

Basé sur un communiqué NASA/JPL

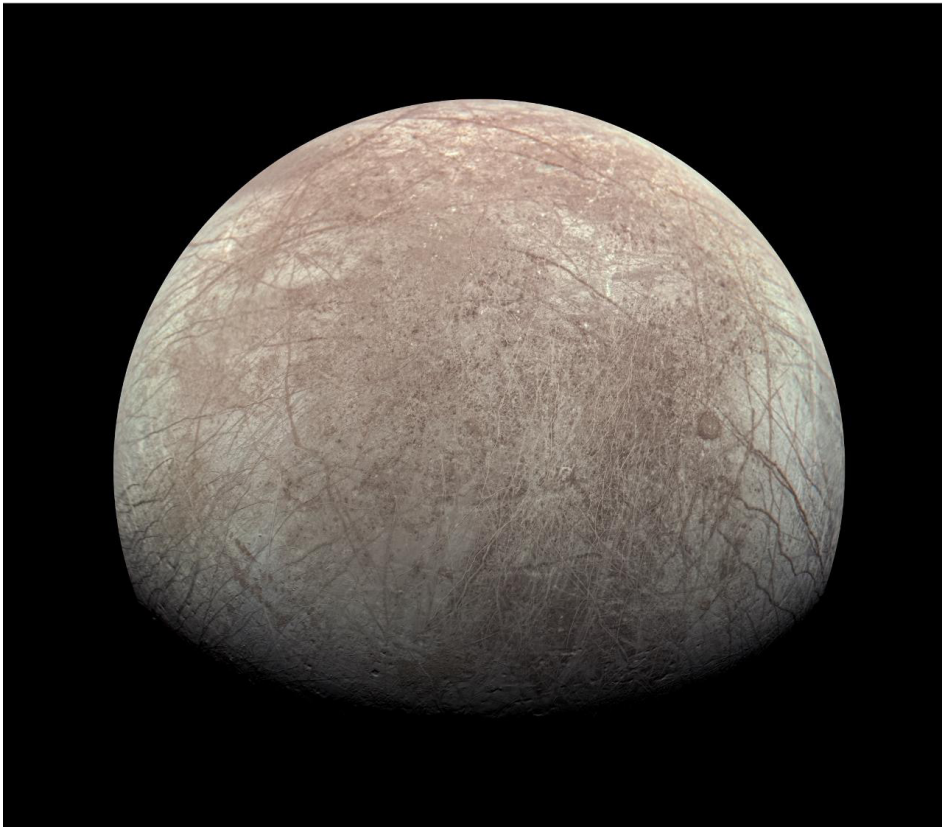
Il existe des preuves solides de la présence d'un océan sous la coquille glacée d'Europe, une des lunes galiléennes de Jupiter. On pense que l'enveloppe flotte librement, tournant à un rythme différent de celui de l'océan qu'elle surmonte et de l'intérieur rocheux. Une nouvelle modélisation est la première à montrer que les courants océaniques d'Europe pourraient contribuer à la rotation de cette coque de glace.

Pendant des décennies, les scientifiques ont débattu pour savoir si l'enveloppe d'Europe tourne plus vite que l'intérieur. Mais plutôt que de lier ce phénomène au mouvement de l'océan, les scientifiques se concentraient sur une influence extérieure :

Europe vue par JunoCam, la caméra d'engagement public à bord du vaisseau spatial Juno, lors du survol rapproché le 29 septembre 2022.

Comme pour la Lune par rapport à la Terre, un côté d'Europe fait toujours face à Jupiter, et c'est le côté d'Europe visible ici. La surface d'Europe est sillonnée de fractures, de crêtes et de bandes, qui ont effacé un terrain vieux d'environ 90 millions d'années.

(NASA/JPL-Caltech/SwRI/MSSS ; K.M. Gill, CC BY 3.0)



Jupiter. Ils avaient alors émis l'hypothèse que lorsque la gravité de la géante gazeuse tire sur Europe, elle tire également sur la coquille de la lune et la fait tourner légèrement plus vite.

Un élément clé de l'étude implique le calcul de la traînée – la force horizontale que l'océan de la lune exerce sur la glace au-dessus de lui. La puissance du flux océanique et la force de traînée exercée sur la couche de glace pourraient même expliquer une partie de la géologie observée à la surface d'Europe. Des fissures et des crêtes pourraient résulter du fait que la coquille glacée s'étire et s'effondre lentement au fil du temps alors qu'elle est poussée et tirée par les courants océaniques.

On savait, grâce à des expériences en laboratoire et à des modélisations, que le réchauffement et le refroidissement de l'océan d'Europe pouvaient entraîner des courants. Les nouveaux résultats mettent en évidence un couplage entre l'océan et la rotation de la coquille de glace qui n'avait jamais été envisagé auparavant.

En utilisant des techniques développées pour étudier l'océan terrestre, les chercheurs se sont appuyés sur les superordinateurs de la NASA pour créer des modèles à grande échelle de l'océan d'Europe. Ils ont exploré les complexités de la circulation de l'eau et comment le chauffage et le refroidissement affectent ce mouvement.

L'océan interne d'Europe est chauffé par le bas, en raison de la désintégration radioactive et de l'échauffement par les effets de marée dans le noyau rocheux. Comme l'eau qui chauffe dans une bouilloire, l'eau chaude d'Europe remonte jusqu'à la surface de l'océan. Dans les simulations, la circulation se fait d'abord verticalement, mais la rotation de la lune détourne l'eau dans une direction plus horizontale – dans les courants est-ouest et ouest-est. Les chercheurs, en incluant la traînée dans leurs simulations, ont pu déterminer que si les courants sont assez rapides, il peut y avoir une traînée suffisante sur la face intérieure de la coquille de glace pour accélérer ou ralentir sa rotation. L'intensité de l'échauffement interne, et donc les schémas de circulation dans l'océan, peuvent changer

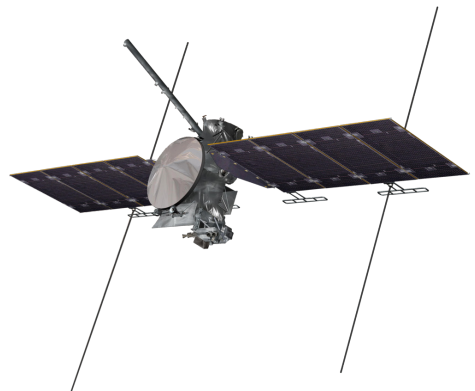
avec le temps, donnant à certains moments une accélération ou un ralentissement.

Il sera peut-être possible, grâce aux futures mesures recueillies par la prochaine mission Europa Clipper de la NASA, de déterminer avec précision la vitesse de rotation de la coque glacée. Lorsque les scientifiques compareront les images recueillies par Europa Clipper avec celles capturées dans le passé par les missions Galileo et Voyager de la NASA, ils pourront examiner les emplacements des caractéristiques de la surface de la glace et déterminer si ces positions changent au fil du temps.

Europa Clipper, actuellement dans sa phase d'assemblage, de test et d'opérations de lancement au JPL, devrait être lancé en 2024. Le vaisseau spatial commencera à tourner autour de Jupiter en 2030. La mission vise à déterminer si Europe, avec son océan intérieur profond, présente des conditions propices à la vie.

Ce travail pourrait être important pour comprendre comment les vitesses de rotation d'autres mondes océaniques peuvent avoir changé au fil du temps. Maintenant que nous connaissons le couplage potentiel des océans intérieurs avec les surfaces de ces corps, nous pouvons en apprendre davantage sur leurs histoires géologiques ainsi que sur celle d'Europe.

Vue d'artiste de la future sonde Europa Clipper. (NASA/JPL)



Rayons crépusculaires sur Mars

Basé sur un communiqué NASA/JPL

Alors que les couchers de Soleil sur Mars sont particulièrement maussades, le rover vétérinaire Curiosity en a capturé un superbe au début d'une nouvelle campagne d'imagerie des nuages. Alors que le Soleil descendait à l'horizon le 2 février, des rayons de lumière ont illuminé un banc de nuages et, pour la première fois, des « rayons crépusculaires » ont été très clairement observés sur la Planète rouge.

Ces images font suite aux observations de nuages noctulescents réalisées en 2021. Alors que la plupart des nuages martiens ne planent pas à plus de 60 kilomètres au-dessus du sol et sont composés de glace d'eau, les nuages des dernières images semblent être à une altitude plus élevée, où il fait particulièrement froid. Cela suggère que ces nuages sont constitués de glace de dioxyde de carbone, de la neige carbonique.

Comme sur Terre, les nuages fournissent aux scientifiques des informations complexes mais cruciales pour comprendre la météorologie. En examinant quand et où ils se forment, les scientifiques peuvent en apprendre davantage sur la composition et les températures de l'atmosphère martienne, ainsi que sur les vents qui y règnent.

L'enquête sur les nuages de 2021 comprenait surtout des images prises par les caméras de navigation en noir et blanc de Curiosity, offrant un aperçu détaillé de la structure des nuages. Mais l'enquête de ce début d'année s'est appuyée souvent sur la caméra couleur du rover, ou Mastcam, qui aide les scientifiques à voir comment les particules de nuages se développent au fil du temps.

En plus de l'image des rayons du Soleil, Curiosity a capturé un ensemble de nuages colorés en forme de plume le 27 janvier. Lorsqu'ils sont éclairés par la lumière du Soleil, certains types de nuages peuvent créer une irisation, ce qui renseigne sur la taille des particules et leur croissance au fil du temps.





En haut, rayons crépusculaires au coucher du Soleil le 2 février 2023, le 3730^e jour martien, ou sol, de la mission. En bas, nuage irisé en forme de plume capturé juste après le coucher du Soleil le 27 janvier 2023, ou sol 3724. (NASA/JPL-Caltech/MSSS)

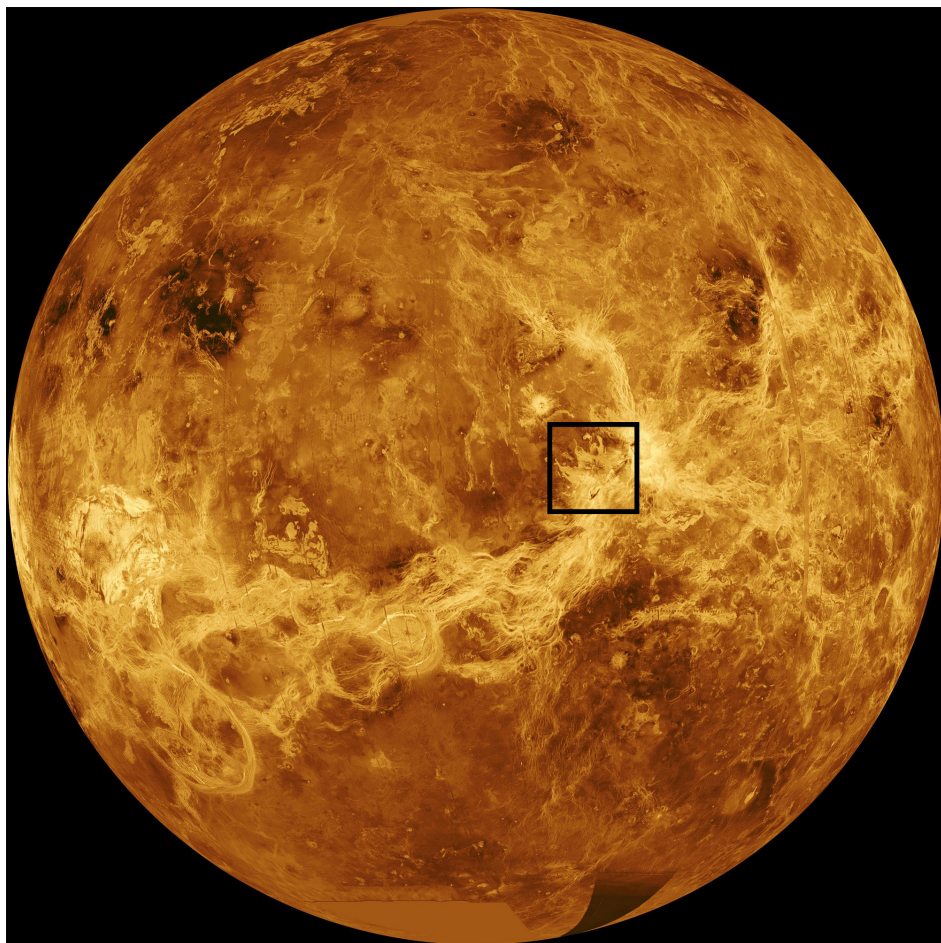
Volcan vénusien

Basé sur un communiqué NASA/JPL

Pour la première fois, des preuves géologiques directes d'une activité volcanique récente ont été observées à la surface de Vénus. Les scientifiques ont fait cette découverte après avoir examiné des images radar d'archives de Vénus prises il y a plus de 30 ans, dans les années 1990, par la mission Magellan de la NASA. Les images ont révélé un événement volcanique changeant de forme et augmentant considérablement en taille en moins d'un an.

L'étude de volcans actifs permet de comprendre comment l'intérieur d'une planète peut façonner sa croûte, conduire son

***Carte globale de Vénus
assemblée à partir des
données des missions
Magellan et Pioneer Vénus
Orbiter de la NASA. Maat
Mons, le volcan qui a montré
des signes d'éruption récente,
se trouve dans le carré noir
près de l'équateur de la
planète.
(NASA/JPL-Caltech)***



évolution et affecter son habitabilité. C'est le but de l'une des futures missions de la NASA vers Vénus, VERITAS (Venus Emissivity, Radio Science, InSAR, Topography, And Spectroscopy). VERITAS devrait être lancée dans une dizaine d'années. L'orbiteur étudiera Vénus en profondeur, depuis la surface jusqu'au noyau, afin de comprendre comment une planète rocheuse de la même taille que la Terre a pris un chemin très différent, développant des plaines volcaniques sous une atmosphère épaisse, chaude et toxique.

La sélection de la mission VERITAS par la NASA a inspiré les astronomes à rechercher les signes d'une activité volcanique récente dans les données de l'ancienne sonde Magellan. Après maintes comparaisons d'images prises lors de différentes orbites de Magellan, ils ont découvert une région montrant en huit mois des changements géologiques révélateurs d'une éruption.

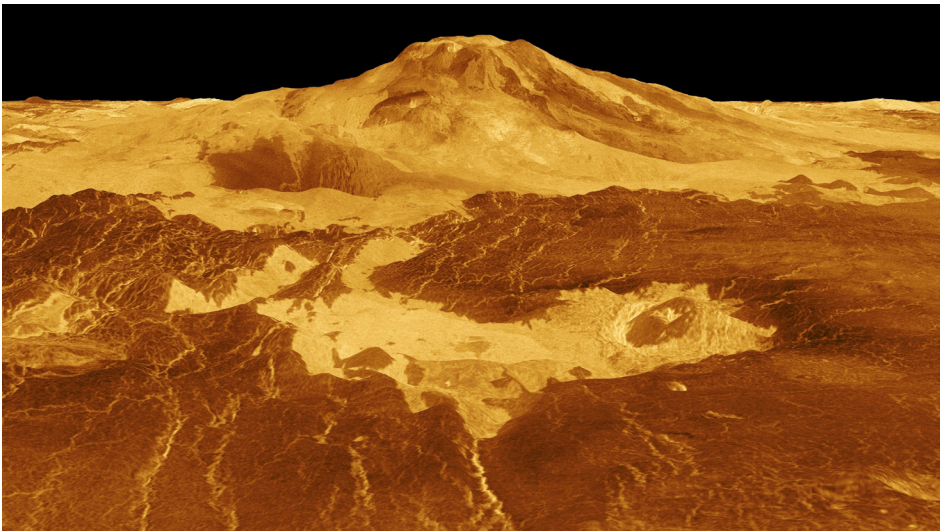
Les changements se sont produits dans Atla Regio, une vaste région montagneuse près de l'équateur de Vénus qui abrite deux des plus grands volcans de la planète, Ozza Mons et Maat Mons. On a longtemps pensé que la région était volcaniquement active, mais il n'y avait aucune preuve directe d'activité récente.

Les images radar de Magellan ont permis d'identifier une bouche volcanique associée à Maat Mons qui a considérablement changé entre février et octobre 1991.

Dans l'image de février, le cratère est apparu presque circulaire, couvrant une superficie de moins de 2 kilomètres carrés. Il avait des bords intérieurs escarpés et montrait des signes de lave drainée sur ses pentes extérieures, des facteurs qui laissaient entrevoir une activité. Dans les images radar capturées huit mois plus tard, le même cratère avait doublé de taille et s'était déformé. Il semblait également être rempli jusqu'au bord par un lac de lave.

Comme les deux observations provenaient de points de vue opposés, elles avaient des perspectives différentes, ce qui les rendait difficiles à comparer. La faible résolution des données vieilles de trois décennies n'a fait que compliquer le travail.

Modèle 3D généré par ordinateur de la surface de Vénus montrant le sommet de Maat Mons, le volcan qui a montré des signes d'activité. L'un des cratères de Maat Mons s'est élargi et a changé de forme sur une période de huit mois en 1991, indiquant qu'un événement éruptif s'était produit. (NASA/JPL-Caltech)





*Illustration de la surface de Venus.
(NASA GSFC Conceptual Image
Lab)*

Les chercheurs ont créé des modèles informatiques du volcan dans diverses configurations pour tester différents scénarios d'événements géologiques, tels que des glissements de terrain. À partir de ces modèles, ils ont conclu que seule une éruption aurait pu provoquer le changement.

Seules quelques simulations correspondaient aux images, et le scénario le plus probable est qu'une activité volcanique s'est produite à la surface de Vénus pendant la mission de Magellan. Bien qu'il ne s'agisse que d'une observation, cela confirme qu'il existe de nos jours une activité géologique moderne.

Les scientifiques comparent la taille de la coulée de lave générée par l'activité de Maat Mons à l'éruption du Kilauea en 2018 sur la grande île d'Hawaii.

Vénus est un monde énigmatique, et Magellan a effleuré tant de possibilités. Maintenant que nous sommes certains que la planète a connu une éruption volcanique il y a seulement 30 ans, voici un petit aperçu des découvertes incroyables que VERITAS fera.

VERITAS utilisera un radar de pointe à synthèse d'ouverture pour créer des cartes glo-

bales 3D et un spectromètre proche infrarouge pour déterminer de quoi est faite la surface. Le vaisseau spatial mesurera également le champ gravitationnel de la planète pour déterminer la structure de l'intérieur de Vénus. Ensemble, les instruments offriront des indices sur les processus géologiques passés et présents de la planète.

Et alors que les données de Magellan étaient à l'origine difficiles à étudier – les données étaient livrées aux chercheurs par la poste sous forme de CD – les données de VERITAS seront disponibles en ligne pour la communauté scientifique. Cela permettra aux chercheurs d'appliquer des techniques de pointe, telles que l'apprentissage automatique, pour analyser la planète et aider à révéler ses secrets.

Ces études seront complétées par EnVision, une mission de l'ESA vers Vénus dont le lancement est prévu au début des années 2030. Le vaisseau spatial embarquera son propre radar à synthèse d'ouverture (appelé VenSAR), en cours de développement au JPL, ainsi qu'un spectromètre semblable à celui de VERITAS.

Didymos

Basé sur un communiqué

L'automne dernier, avant que DART ne soit réduite en pièces en frappant Dimorphos, la sonde a pu jeter un rapide coup d'œil au système Didymos-Dimorphos et recueillir des informations sur la dynamique du couple d'astéroïdes. En plus de démontrer la capacité d'éviter des chutes d'astéroïdes sur Terre, DART a révélé que Didymos disperse des matériaux dans l'espace et que, probablement, des millions d'autres petits astéroïdes font de même à travers le Système solaire.

L'image d'un astéroïde en tant que bloc de roche solide et immuable s'est estompée au cours des dernières années, au fur et à mesure que l'on en apprend davantage sur ces objets. Alors que certains astéroïdes correspondent peut-être à cette classification, beaucoup ne le font pas. Les astéroïdes sont les débris laissés par la formation du Système solaire, et beaucoup d'entre eux ne sont guère plus que des tas de gravats lâches, faiblement maintenus ensemble par la gravité.

L'astéroïde Bennu, qui a été visité par la mission OSIRIS-REx de la NASA en 2020, en est un excellent exemple. Quand OSIRIS-REx s'est posé pour prélever un échantillon, il s'est enfoncé de près de deux mètres dans la surface meuble. Le vaisseau spatial a également photographié des cailloux

éjectés dans l'espace, indiquant que ces objets sont plus actifs et dynamiques qu'on ne le pensait.

Didymos a fait l'objet d'un examen minutieux depuis un certain temps, initialement en préparation de DART, et maintenant en vue de la mission de suivi de l'Agence spatiale européenne, Hera. Maintenant que DART a vu l'astéroïde de près, les chercheurs disposent d'une multitude de données sur sa forme, sa masse et sa rotation.

Une chose qu'ils ont apprise, c'est qu'il tourne rapidement, effectuant une rotation complète en 2 heures et 16 minutes. À cette vitesse, Didymos serait au seuil de l'instabilité. À l'équateur, où les effets de la rotation sont les plus forts, les roches et la poussière sont capables de décoller de la surface, de léviter, voire de se placer en orbite.

Les particules massives peuvent s'élever pendant un certain temps, puis atterrir et redécoller, répétant de tels cycles encore et encore, ou atterrir simplement à des latitudes à partir desquelles un décollage supplémentaire n'est pas possible.

Certaines des roches flottantes atteignent l'orbite, et certaines d'entre elles sont susceptibles d'atteindre la lune Dimorphos.

Particules éjectées dans l'espace depuis l'astéroïde Bennu. Image obtenue par la sonde OSIRIS-REx. (NASA / Goddard / University of Arizona / Lockheed Martin)



Didymos (à gauche) et Dimorphos (à droite) vus par la mission DART quelques minutes avant l'impact. (NASA/Johns Hopkins APL)



De plus petites particules peuvent même s'échapper du système, emportées à jamais par le vent solaire.

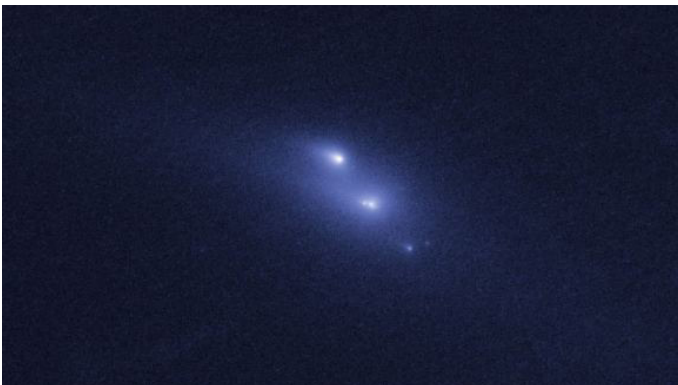
Fait intéressant, les gros objets ont tendance à léviter plus longtemps que les petits. En effet, du côté jour de l'astéroïde, la pression du rayonnement solaire repousse rapidement les plus petits grains vers la surface.

Ces conclusions sont préliminaires, car basées sur des estimations de la taille, de la composition et de la forme de l'astéroïde, que la mission Hera devrait être en mesure de corroborer à son arrivée en 2027. Mais le principe à l'œuvre s'applique à l'ensemble du Système solaire : si la Terre tournait assez vite (un tour en 84 minutes), on pourrait littéralement sauter de l'équateur en orbite de la même manière que ces roches décollent des astéroïdes à rotation rapide comme Didymos.

La rotation excessivement rapide de Didymos – et d'autres astéroïdes similaires –

est due au Soleil. Ces astéroïdes sont sous l'influence de l'effet YORP, dans lequel le Soleil chauffe différentes parties d'un astéroïde à différentes températures en fonction de leur albédo. Cette chaleur est ensuite évacuée, produisant une poussée. C'est un effet minuscule, mais il se construit avec le temps et peut éventuellement pousser un astéroïde de plus en plus vite comme le vent faisant tourner un moulin à vent.

Il est peu probable que Didymos soit détruit rapidement. 97% des particules qui décollent de la surface atterrissent à nouveau dans les 5 heures. Mais c'est quelque chose que les planificateurs de mission devront peut-être prendre en compte pour les futurs engins spatiaux qui s'approchent de près des astéroïdes à rotation rapide, s'ils veulent éviter d'endommager leurs sondes.



Les astronomes ont vu des astéroïdes se fragmenter par suite de l'effet YORP. Ainsi, l'astéroïde P/2013 R3 photographié ici par Hubble en 2013. (NASA, ESA et D. Jewitt/ UCLA)

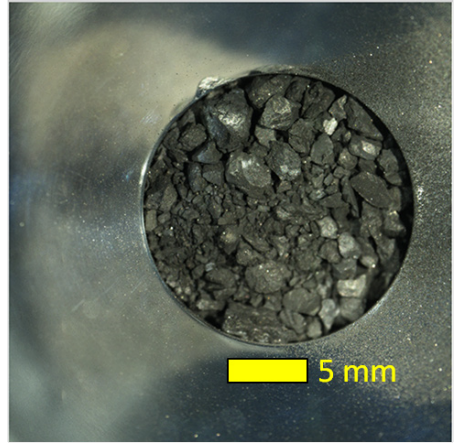
L'astéroïde Ryugu

Basé sur un communiqué INSU

En décembre 2020, le vaisseau spatial Hayabusa2 rapportait sur Terre des échantillons collectés à la surface de Ryugu, un astéroïde géocroiseur carboné du type Apollo. Cette famille se caractérise par une orbite dont le demi-grand axe est supérieur à une unité astronomique (ua) et le périhélie inférieur à 1,017 ua.

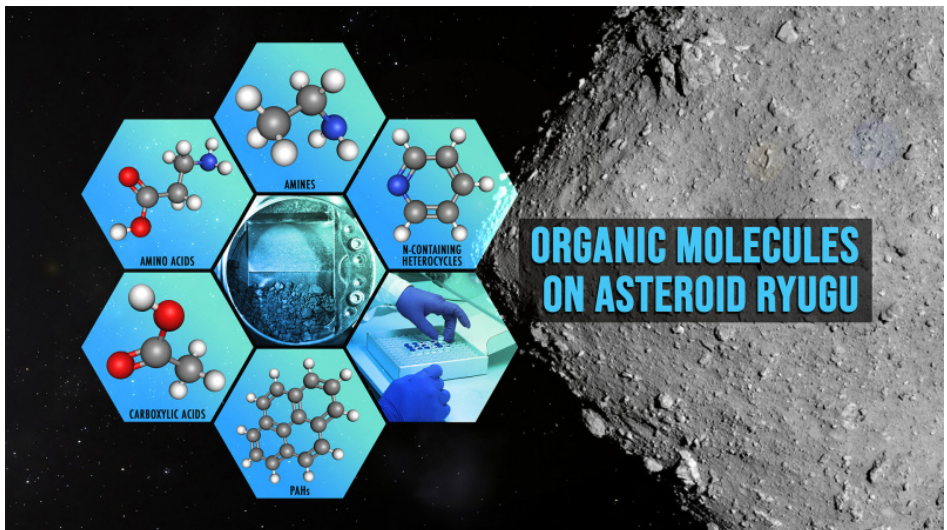
L'analyse de la matière organique soluble contenue dans ces échantillons révèle la présence de nombreuses molécules organiques, dont certaines sont considérées comme les briques de base du vivant. On peut y voir une nouvelle indication des origines extraterrestres de la vie sur Terre.

Entre 2018 et 2019, la mission japonaise Hayabusa2 de la JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) a profité de la proximité de l'orbite de Ryugu avec celle de la Terre pour visiter l'astéroïde et récolter des échantillons à sa surface. Ces échantillons ont été rapportés sur Terre avec les plus strictes précautions pour les préserver de toute contamination par la biosphère. Un consortium international entre le Japon, les États-Unis et



Échantillons provenant de l'astéroïde Ryugu. (JAXA)

Un large éventail de molécules organiques, dont des acides aminés essentiels à la vie, ont été trouvées dans l'échantillon collecté à la surface de l'astéroïde Ryugu par le vaisseau spatial japonais Hayabusa 2. (NASA/JAXA/Dan Gallagher)



l'Europe les a analysés pour en déchiffrer la composition.

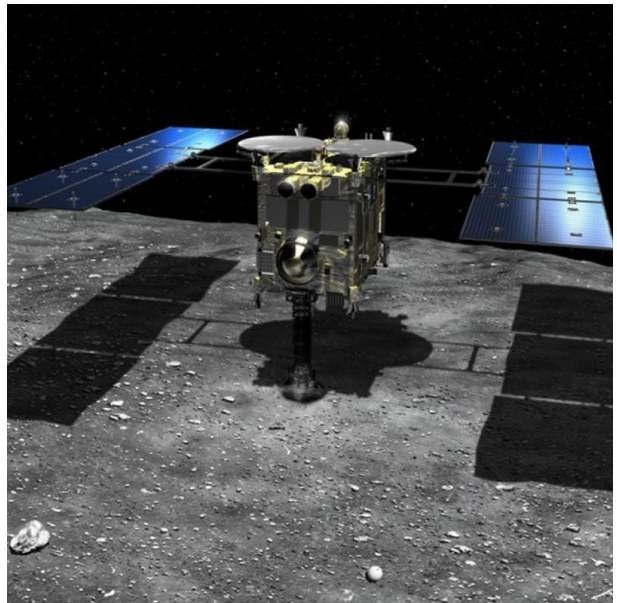
Les échantillons détiennent de nombreuses informations précieuses sur l'origine même du Système solaire, mais offrent aussi une vision de la matière organique disponible dans le milieu interstellaire au moment de sa formation et de celle de la Terre, il y a 4,5 milliard d'années : une occasion unique d'avancer dans la compréhension des origines chimiques de la vie !

Les scientifiques ont maintenant présenté les résultats initiaux de leurs analyses sur la matière organique soluble récoltée dans 3 grains de poussière de Ryugu. Plus de 20 000 molécules organiques composées de carbone, hydrogène, oxygène, azote et soufre ont pu être détectées par une panoplie d'instruments analytiques, dont la spectrométrie de masse combinée à la chromatographie liquide et gazeuse. Ces molécules ont une probable origine dans la nébuleuse primitive. Elles ont été altérées pendant quelques millions d'années seulement au sein de l'astéroïde primordial en présence d'eau liquide à une

température maximale de 100°C via des réactions chimiques de méthylation, hydratation, hydroxylation, et sulfuration. L'astéroïde a ensuite été détruit par une collision, qui a interrompu et figé ces réactions chimiques, nous donnant accès à un échantillon très primitif et représentatif du Système solaire originel.

La présence de nombreux acides aminés, dont la glycine, l'alanine et l'acide α -aminobutyrique, dans des proportions compatibles avec une origine abiotique (en l'absence de vie) a été confirmée. Ces composés présentent de fortes similitudes avec ceux détectés sur les météorites carbonées les plus hydratées de type Ivuna, du nom d'une chondrite tombée en Tanzanie en 1938. Contrairement à ces dernières qui ont traversé l'atmosphère et ont séjourné à l'air libre pendant un temps considérable, les échantillons collectés sur Ryugu et rapportés dans des conditions parfaitement contrôlées présentent une contamination très réduite. Cette matière organique primitive, directement prélevée dans le milieu interstellaire, révèle de nouveaux éléments essentiels à la compréhension de l'origine de la vie.

Vue d'artiste de la mission Hayabusa2 du Japon près de l'astéroïde Ryugu. (JAXA)



Toile cosmique

Basé sur un communiqué ICRAR

La toile cosmique, prédite par les astrophysiciens dès les années 1960, structure l'Univers à grande échelle. Elle consiste en un entrelacs de filaments faits de gaz et de galaxies, et séparés par d'immenses vides de millions d'années-lumière. Au cours des dernières décennies, la toile a commencé à être cartographiée, apportant ainsi la possibilité de répondre à certaines des plus grandes questions de l'astronomie.

Un domaine d'intérêt particulier est le comportement des champs magnétiques à l'échelle cosmique et le rôle qu'ils jouent dans la formation des structures galactiques et cosmiques. De nouvelles recherches permettent de mieux les comprendre.

Les champs magnétiques imprègnent l'Univers – depuis les planètes et les étoiles jusqu'aux plus grands espaces entre les galaxies. Cependant, de nombreux aspects du magnétisme cosmique ne sont pas encore

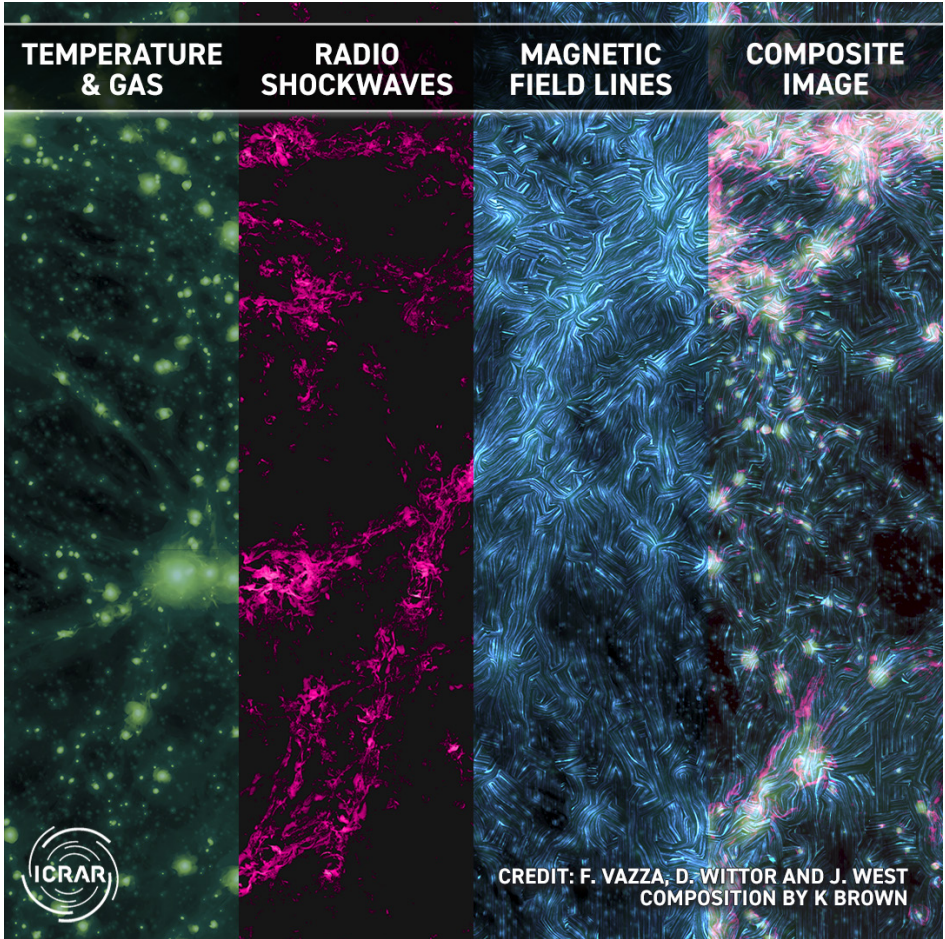
entièrement compris, en particulier aux dimensions de la toile cosmique.

Lorsque des nuages se heurtent dans l'Univers, il se produit des ondes de choc qui accélèrent les particules, amplifiant les champs magnétiques intergalactiques. Les astronomes ont enregistré des émissions radio provenant de la toile cosmique – la première preuve observationnelle de fortes ondes de choc. Ce phénomène n'avait encore été observé que dans les plus grands amas de galaxies et était censé être la « signature » de collisions dans le réseau cosmique. Les ondes de choc émettent des ondes radio qui devraient illuminer la toile cosmique, mais cela n'a jamais vraiment été détecté de manière concluante en raison de la faiblesse des signaux.

Les astronomes ont commencé à rechercher la « lueur radio » de la toile cosmique en

Les données du radiotélescope MWA (Murchison Widefield Array) en Australie-Occidentale ont fourni des cartes radio de tout le ciel. (Dragonfly Media)





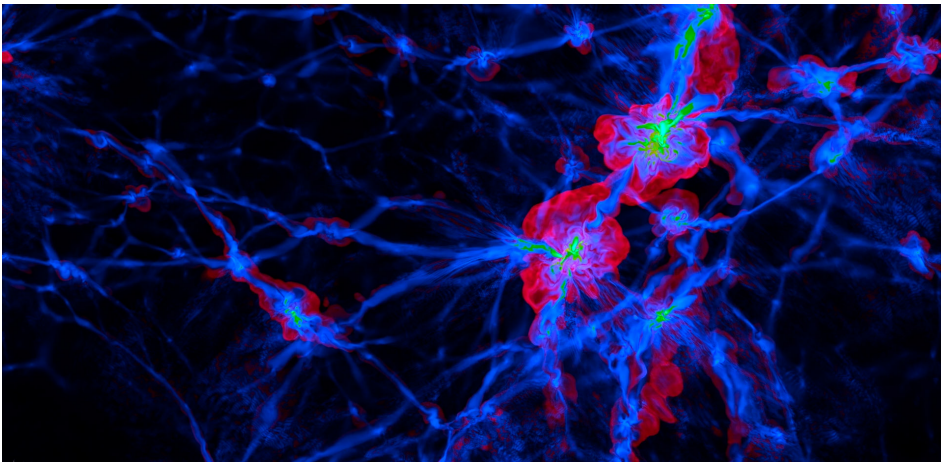
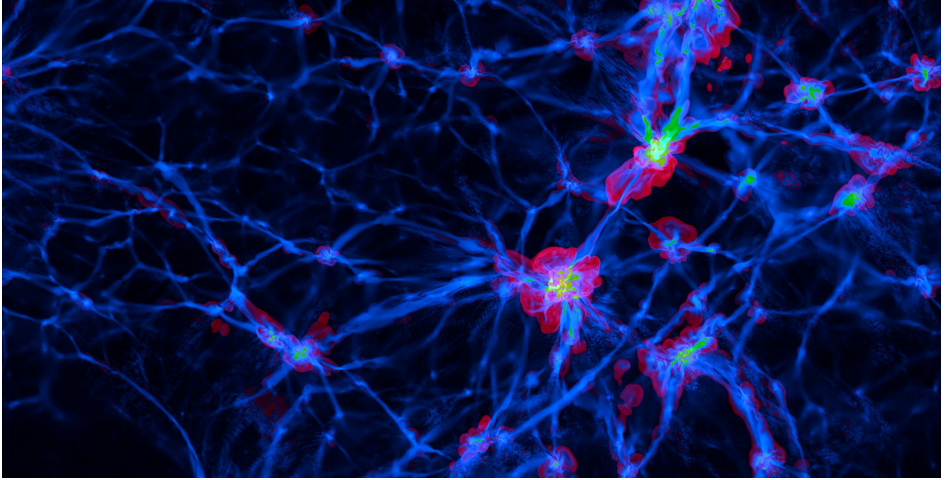
2020 et ont trouvé dès le début des signaux qui pourraient être attribués à ces ondes cosmiques. Cependant, ces signaux initiaux auraient pu être dus aux émissions de galaxies et d'objets célestes autres que les ondes de choc. Les astronomes se sont donc tournés vers un autre type de signal, moins sujet au « bruit » de fond – les ondes radio polarisées.

Très peu de sources émettent des ondes radio polarisées, de sorte que la contamination est moindre dans ce domaine. Les astronomes ont donc pu fournir des preuves beaucoup plus solides des émissions produites par des

Composition de trois observations de la toile cosmique (gaz, radio et champ magnétique).

ondes de choc dans les plus grandes structures de l'Univers, ce qui devrait se révéler d'une grande utilité pour confirmer les modèles de croissance de la toile à grande échelle.

Pour effectuer cette recherche, les astronomes ont utilisé des données et des cartes radio de tout le ciel provenant du Global Magneto-Ionic Medium Survey, du Planck Legacy Archive, du Owens Valley Long



Wavelength Array et du Murchison Widefield Array, et ils ont combiné toutes les données concernant les amas et les filaments connus du réseau cosmique.

La méthode de combinaison utilisée renforce le signal par rapport au bruit de l'image. Le résultat est ensuite comparé à des simulations cosmologiques sophistiquées. Ces simulations sont les premières du genre à inclure des prédictions de la lumière radio polarisée venant des ondes de choc cosmiques.

Extraits d'une simulation de l'évolution du champ magnétique de la toile cosmique. Le champ est représenté en bleu et vert, selon son intensité. Le rouge indique le gaz chaud. (Vazza F; ENZO; Piz-Daint CSCS Lugano)

La compréhension de ces champs magnétiques pourrait contribuer à élargir et affiner les théories relatives à l'évolution de l'Univers. Elle devrait aider à résoudre le mystère des origines du magnétisme cosmique.

V883 Orionis

Basé sur un communiqué ESO

Grâce au réseau ALMA, les astronomes ont détecté de l'eau à l'état gazeux dans le disque protoplanétaire entourant l'étoile V883 Orionis. Sa composition isotopique permet de retracer les origines de l'eau dans le Système solaire avant la formation du Soleil.

Comme l'eau simple et l'eau lourde se forment dans des conditions différentes, leur proportion relative peut être utilisée pour trouver quand et où l'eau s'est formée. Par exemple, il a été démontré que cette proportion dans certaines comètes du Système solaire est semblable à celle de l'eau sur Terre, ce qui suggère que les comètes pourraient avoir apporté de l'eau sur Terre.

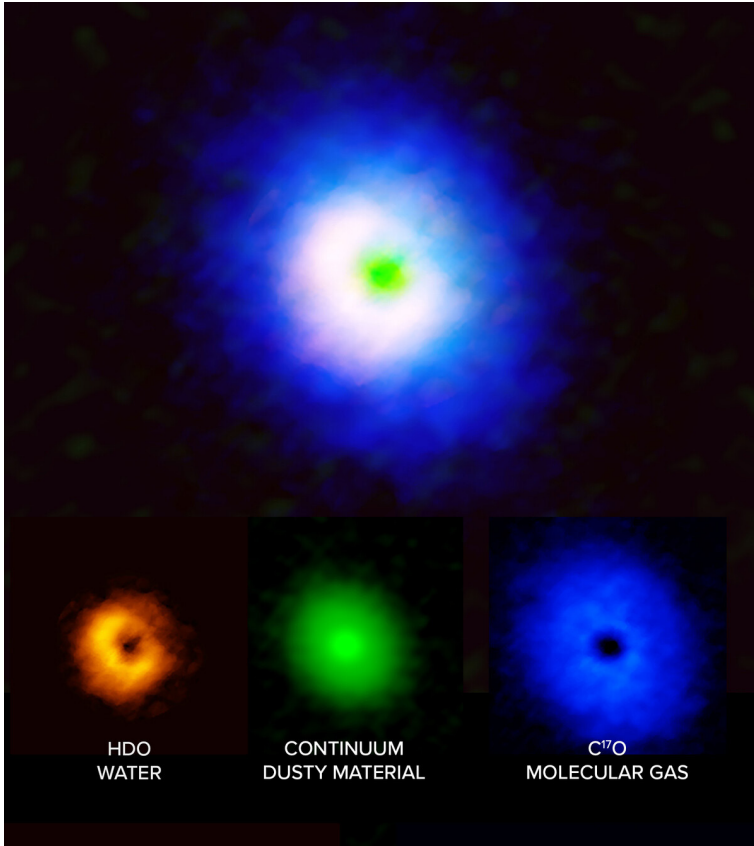
Le périple de l'eau depuis les nuages interstellaires vers les étoiles, puis des comètes vers les planètes a déjà été documenté mais, jusqu'à présent, le lien entre les étoiles jeunes

et les comètes manquait. V883 Orionis s'avère être le chaînon manquant. La composition de l'eau dans le disque est très semblable à celle des comètes du Système solaire. Cela confirme l'idée que l'eau des systèmes planétaires s'est formée il y a des milliards d'années, avant le

Vue d'artiste du disque protoplanétaire de l'étoile V883 Orionis. Dans la partie la plus externe du disque, l'eau est gelée sous forme de glace et ne peut donc pas être facilement détectée. Une explosion d'énergie en provenance de l'étoile chauffe localement le disque et vaporise l'eau, ce qui permet aux astronomes de la détecter.

*L'image en médaillon montre les deux types de molécules d'eau étudiés dans ce disque : l'eau normale, avec un atome d'oxygène et deux atomes d'hydrogène, et une version plus lourde où un atome d'hydrogène est remplacé par du deutérium, un isotope lourd de l'hydrogène.
(ESO/L. Calçada)*



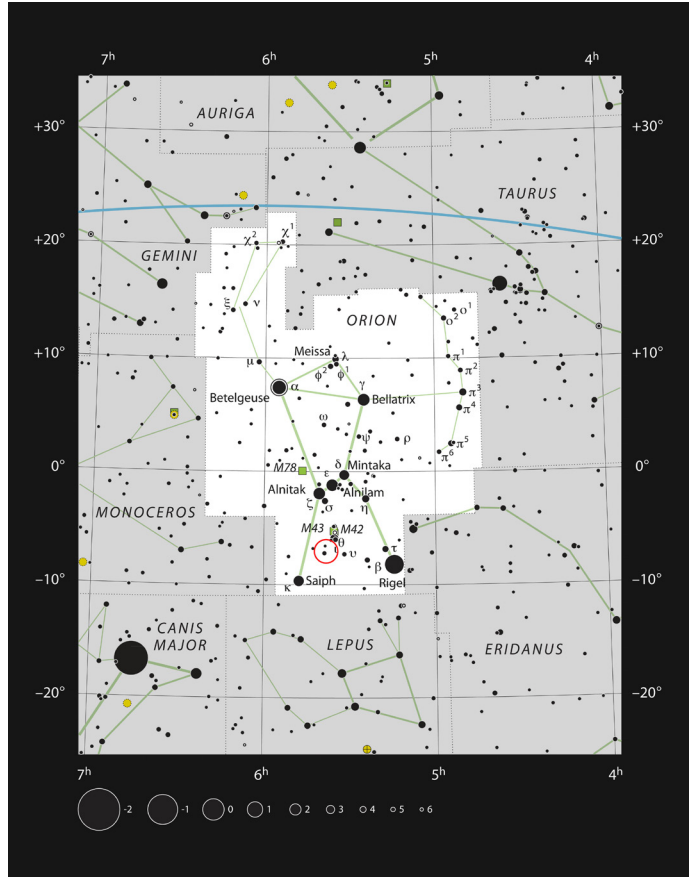


Soleil, dans l'espace interstellaire, et que les comètes et la Terre en ont hérité relativement inchangée.

L'observation de l'eau est délicate. L'eau présente dans les disques de formation de planètes existe principalement sous forme de glace, cachée à notre vue. L'eau à l'état gazeux peut être détectée grâce au rayonnement émis par les molécules, mais cela est plus compliqué lorsque l'eau est gelée et les molécules plus figées. La vapeur d'eau peut exister au centre des disques, près de l'étoile, où elle est plus chaude. Cependant, ces régions proches sont cachées par le disque de poussière lui-même, et sont également trop petites pour être observées.

Images prises par ALMA du disque de V883 Orionis, montrant la distribution spatiale de l'eau lourde (à gauche, orange), de la poussière (au milieu, vert) et du monoxyde de carbone (bleu, à droite). Comme l'eau gèle à des températures plus élevées que le monoxyde de carbone, elle ne peut être détectée sous forme gazeuse que plus près de l'étoile. L'écart apparent entre les images de l'eau et du monoxyde de carbone est dû à l'émission brillante de la poussière (en vert), qui atténue l'émission du gaz.
 (ALMA/ESO/NAOJ/NRAO, J. Tobin, B. Saxton NRAO/AUI/NSF)

Position de V883 Orionis dans Orion. Cette étoile est très faiblement lumineuse, et son observation requiert l'utilisation d'un grand télescope amateur. Elle est physiquement associée à la Nébuleuse d'Orion, située dans l'angle nord-ouest. (ESO/LAU and Sky & Telescope)



Heureusement, une étude récente a montré que le disque de V883 Orionis était exceptionnellement chaud. Une explosion spectaculaire d'énergie en provenance de l'étoile l'échauffe et vaporise l'eau, permettant ainsi sa détection.

L'équipe a utilisé ALMA, un réseau de radiotélescopes situé dans le nord du Chili, pour observer l'eau dans V883 Orionis. Grâce à sa sensibilité et à sa capacité à discerner les petits détails, les astronomes ont pu à la fois détecter l'eau et déterminer sa composition, ainsi que cartographier sa distribution dans le disque. D'après les observations, ce disque

contient au moins 1 200 fois la quantité d'eau contenue dans tous les océans de la Terre.

À l'avenir, les chercheurs espèrent utiliser le ELT (Extremely Large Telescope) de l'ESO et son instrument de première génération, METIS. Cet instrument infrarouge moyen sera capable de résoudre la phase gazeuse de l'eau dans ces types de disques, renforçant ainsi le lien entre le parcours de l'eau depuis les nuages de formation d'étoiles jusqu'aux systèmes planétaires. Cela donnera une vue beaucoup plus complète de la glace et du gaz dans les disques de formation de planètes.