

L'astronomie dans le monde



Vénus

Basé sur un communiqué CNRS

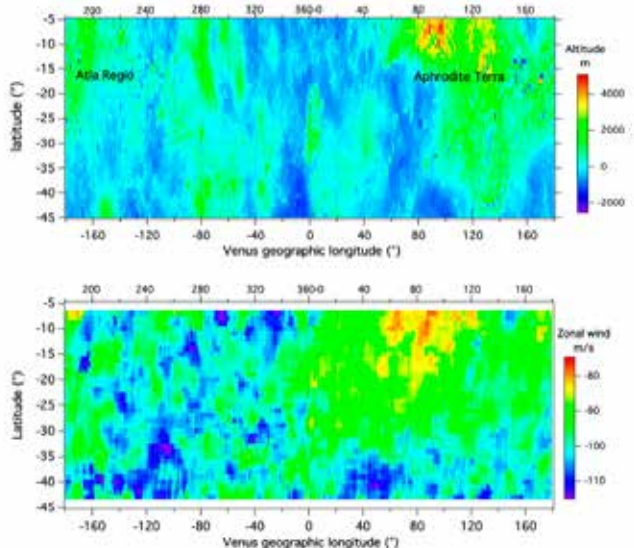
La planète Vénus est souvent qualifiée de sœur jumelle de la Terre qui a mal tourné. En effet, la température au sol y est de 450° C, à cause de l'effet de serre dû à l'épaisse atmosphère de dioxyde de carbone (CO₂). Elle est aussi entièrement voilée par une épaisse couche nuageuse qui s'étend jusqu'à 70 km au-dessus de la surface. De l'extérieur, le sommet des nuages apparaît très homogène, sauf quand on scrute la planète en lumière ultraviolette. Des détails apparaissent alors, plus ou moins sombres, dont les déplacements ont permis de décou-

vrir en 1961 que les nuages se déplaçaient à grande vitesse d'est en ouest (de l'ordre de 100 m/s ou 360 km/h). On a d'abord cru que Vénus tournait sur elle-même à cette vitesse, un tour complet en 4 jours. Il n'en est rien : elle tourne beaucoup plus lentement, en 243 jours, dans le même sens que les nuages. On a donc qualifié de « super-rotation » ce régime des vents à haute altitude.

D'autre part, les observations au radar qui permettent de percer les nuages (notamment la mission américaine Magellan) ont établi des cartes détaillées de la surface de

En haut, carte du relief de Vénus obtenue par le radar de la mission NASA Magellan. L'altitude du relief est codée en couleur. Dans la zone observée, il y a, au sud de l'équateur, un massif montagneux important, Aphrodite Terra, et un autre moins haut, Alta Regio.

En bas, carte de l'intensité du vent dressée par Venus Express (en m/s, codée en couleur, le rouge correspondant à une vitesse plus faible, donc un vent ralenti). Il y a une région de vent minimum (en valeur absolue) centrée à environ 30° de longitude en aval d'Aphrodite Terra, et qui s'étend vers le sud. (NASA/Magellan, VMC/Venus Express)



Vénus, où l'on trouve des montagnes, sans doute d'origine volcanique.

L'analyse des mesures recueillies par la mission Venus Express de l'ESA entre 2006 et 2014 conduit à une surprenante découverte, liant ce qui se passe au sommet des nuages au relief montagneux sous-jacent, qui se trouve pourtant bien au-dessous. Les scientifiques ont constaté que les nuages étaient moins sombres en UV au dessus du grand massif montagneux d'Aphrodite Terra, et que le vent y était fortement ralenti, passant à 82 m/s au lieu de 100 m/s en moyenne. C'est un peu comme si les nuages au-dessus de l'Himalaya étaient plus brillants qu'ailleurs, et qu'ils se déplaçaient moins vite. Mais alors que sur Terre, même les nuages les plus hauts sont proches des sommets, sur Vénus il s'agit de 65 km de différence d'altitude. C'est cependant par analogie avec un cas terrestre similaire que les chercheurs ont pu proposer un mécanisme explicatif pour Vénus.

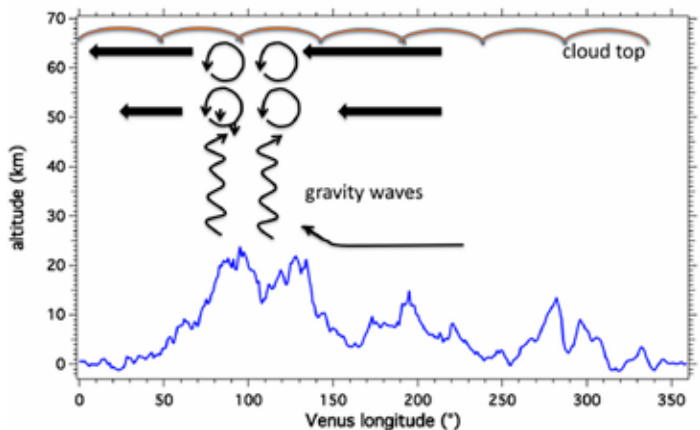
Au niveau du sol de Vénus, le vent est très faible, mais la densité est très grande : 90 fois la densité atmosphérique terrestre. Le passage de l'air sur la montagne peut donc provoquer la génération d'ondes orographiques (ou de relief) : ondes de gravité, sorte de vagues d'air, qui dans certaines conditions réunies sur Vénus, peuvent se propager vers le haut en s'amplifiant. Arrivées un peu en dessous du sommet des nuages, leur propagation

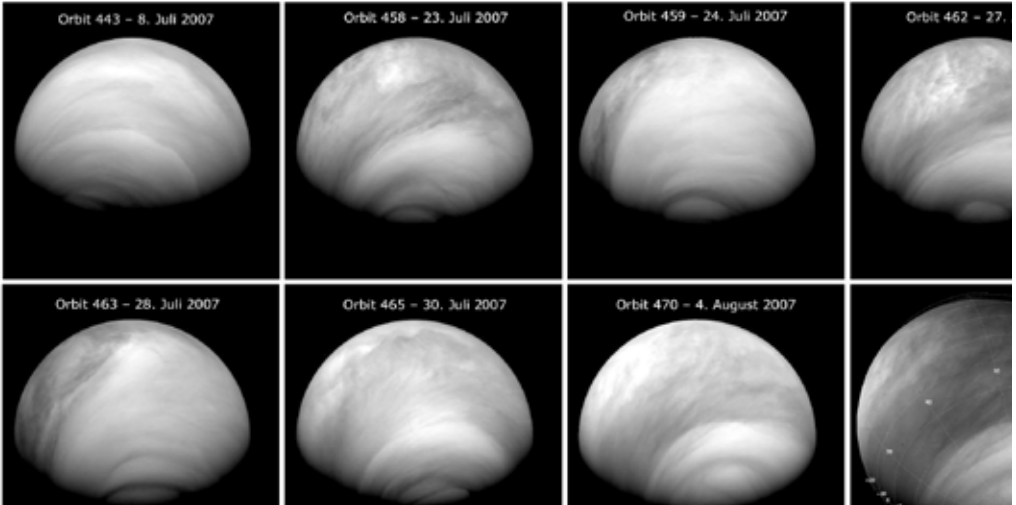
verticale s'arrête et elles déferlent brutalement, comme les vagues de la mer au bord du rivage. Ces ondes sont fixes géographiquement par rapport aux montagnes de Vénus, tandis que le vent normal vers 65-70 km d'altitude atteint une vitesse de 100 m/s par rapport au sol : en conséquence leur déferlement constitue un obstacle à l'écoulement, un frein qui explique le vent plus faible observé un peu en aval des reliefs.

Mais l'écoulement horizontal continue, la vitesse du vent augmente alors pour retrouver sa vitesse moyenne de 100 m/s. Cette ré-accelération provoque au sommet des nuages un étirement de la masse d'air horizontale, une sorte de vide se forme qui provoque une aspiration de l'air qui se trouve en dessous. Or, comme on constate avec Venus Express que les nuages sont alors plus sombres en UV, cela démontre que cet air qui vient du bas est chargé d'un composé (encore non-identifié) qui absorbe le rayonnement UV solaire. On soupçonnait déjà que la source de l'absorbant UV de Vénus venait du dessous : en voilà une nouvelle preuve éclatante, si l'on peut dire quand il s'agit de nuages sombres !

Une autre observation de Venus Express vient conforter ce schéma de façon complètement indépendante. Le spectromètre infra-rouge de Venus Express a relevé une zone géographique où il y a plus de vapeur d'eau qu'ailleurs : la même zone que les

Schéma des ondes de gravité stationnaires générées au niveau du sol par le vent soufflant sur les flancs des montagnes. La courbe bleue représente l'altitude moyenne du relief dans la région comprise entre -5 et -15° de latitude (exagérée d'un facteur 7 sur ce schéma). Les ondes de gravité se propagent vers le haut, jusqu'à leur déferlement un peu en dessous du sommet des nuages. Elles freinent alors le vent moyen, représenté par les flèches noires.





nuages sombres en UV. Et ceci s'explique très bien, car on sait que, plus on s'enfonce dans l'atmosphère au-dessous du sommet des nuages, plus l'air est riche en vapeur d'eau. En ré-accéléérant, le vent aspire l'air chargé en vapeur d'eau et apparaissant très sombre dans le domaine UV.

Les modèles de circulation générale de l'atmosphère de Vénus sont construits comme ceux qu'on utilise pour la prévision de la météorologie terrestre. L'un des plus sophistiqués est le modèle français du Laboratoire de Météorologie Dynamique. Bien qu'il soit capable de reproduire la super-rotation observée sur Vénus, et qu'il prenne en compte le relief exact de la planète, il n'a pu reproduire les présentes observations de Venus Express. Cela demeure donc un objectif théorique stimulant de trouver l'ingrédient qui manque au modèle pour reproduire les observations. Ce nouveau phénomène d'origine orographique influence le régime des vents, et s'oppose à la super-rotation. Il faudra donc en tenir compte pour une description précise de la façon dont celle-ci est générée et entretenue.

Cette interaction d'ondes de gravité stationnaires avec le vent horizontal a été pour la

Images prises par Venus Express en juillet 2007 et montrant des nuages sombres et clairs visibles uniquement en ultraviolet. On pense que les nuages brillants contiennent de l'acide sulfurique.

Le déplacement des détails permet d'estimer la vitesse du vent, principalement orientée d'est en ouest.

(ESA/MPS/DLR/IDA)

première fois proposée pour la Terre en 1981, pour expliquer le comportement saisonnier du vent dans la mésosphère terrestre, vers 50-70 km d'altitude.

On peut noter que les deux petits ballons injectés en 1985 dans l'atmosphère de Vénus au cours des missions soviétiques Vega-1 et Vega-2 ne s'étaient pas comportés de façon identique pendant leur dérive de deux jours à 53 km d'altitude : le ballon de Vega-2, passant au-dessus du massif d'Aphrodite Terra, avait eu une trajectoire plus perturbée, et une dérive plus lente, que celle du ballon de Vega-1 passant plus au nord de la montagne sur une région de plaine. La génération d'ondes de gravité par le vent au sol soufflant sur Aphrodite Terra avait alors déjà été évoquée pour expliquer le comportement différent des deux ballons.

Phobos et Deimos

Basé sur un communiqué CNRS

L'origine des deux lunes de Mars, Phobos et Deimos, restait un mystère. Elles ressemblent beaucoup à des astéroïdes, mais on ne comprend pas comment Mars aurait pu les capturer pour en faire des satellites en orbite presque circulaire dans le plan équatorial de la planète. Selon une théorie concurrente, Mars aurait subi à la fin de sa formation un impact géant avec un embryon de planète; mais pourquoi les débris d'un tel impact auraient-ils formé deux petits satellites plutôt qu'une énorme lune, comme celle de la Terre? Une troisième possibilité serait que Phobos et Deimos se soient formés en même temps que Mars, ce qui impliquerait qu'ils aient la même composition que leur planète; cependant, leur faible densité semble contredire cette hypothèse. Aujourd'hui, deux études indépendantes viennent conforter la théorie de l'impact géant.

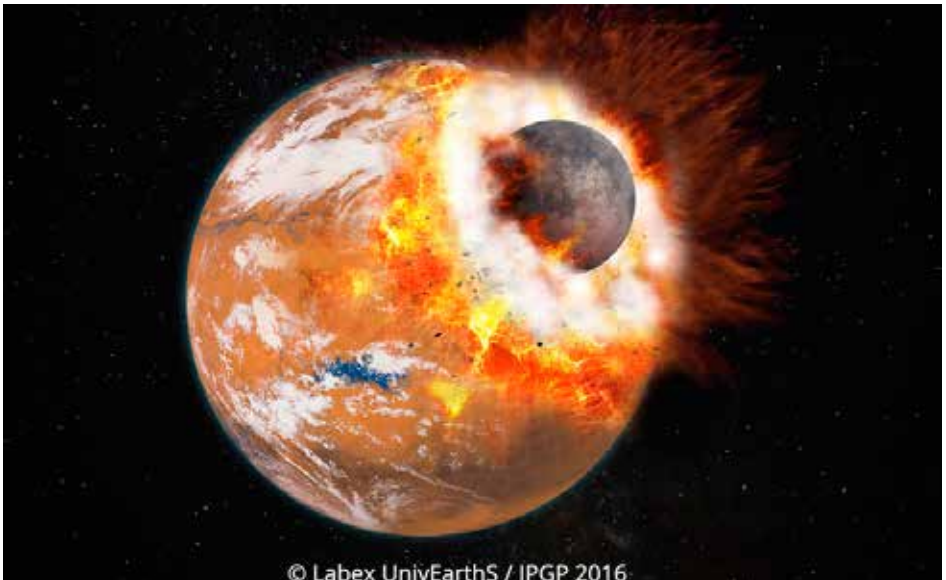
L'une d'elles propose pour la première fois un scénario complet et cohérent de formation de Phobos et Deimos, qui seraient nés des suites d'une collision entre Mars et un corps primordial trois fois plus petit, 100 à 800 mil-

lions d'années après le début de la formation de la planète. Les débris se seraient répartis en un disque très étendu autour de Mars, formé d'une partie interne dense, composée de matière en fusion et d'une partie externe très fine, majoritairement gazeuse. Dans la partie interne de ce disque serait née une lune mille fois plus massive que Phobos, et aujourd'hui disparue. Les perturbations gravitationnelles créées dans le disque externe par cet astre massif auraient catalysé l'assemblage de débris pour former d'autres petites lunes plus lointaines. Au bout de quelques milliers d'années, Mars se serait alors retrouvée entourée d'un cortège d'une dizaine de petites lunes et d'une énorme lune. Plusieurs millions d'années plus tard, une fois le disque de débris dissipé, les effets de marée

Vue d'artiste de l'impact géant qui aurait donné naissance à Phobos et Deimos et au bassin d'impact Boréalis.

L'impacteur devait faire environ le tiers de la taille de Mars. A cette époque, Mars était jeune et possédait peut-être une atmosphère plus épaisse et de l'eau liquide en surface.

(© Université Paris Diderot / Labex UnivEarthS)



suscités par Mars auraient fait retomber sur la planète la plupart de ces satellites, dont la très grosse lune. Seules ont subsisté les deux petites lunes les plus lointaines, Phobos et Deimos.

La seconde étude exclut la possibilité d'une capture, sur la base d'arguments statistiques et en se fondant sur la diversité de composition des astéroïdes. De plus les spectres de Phobos et Deimos sont incompatibles avec le matériau primordial qui aurait pu former Mars et indiquent qu'ils sont faits de poussières de taille inférieure au micron. La finesse de ces grains ne peut pas être expliquée uniquement comme la conséquence d'une érosion due au bombardement par les poussières interplanétaires. Cela signifie que les satellites sont composés dès l'origine de grains très fins, qui ne peuvent se former que par condensation du gaz dans la zone externe du disque de débris (et non à partir du magma présent dans la zone interne). C'est un point sur lequel s'accordent les deux études. Par ailleurs, une formation des

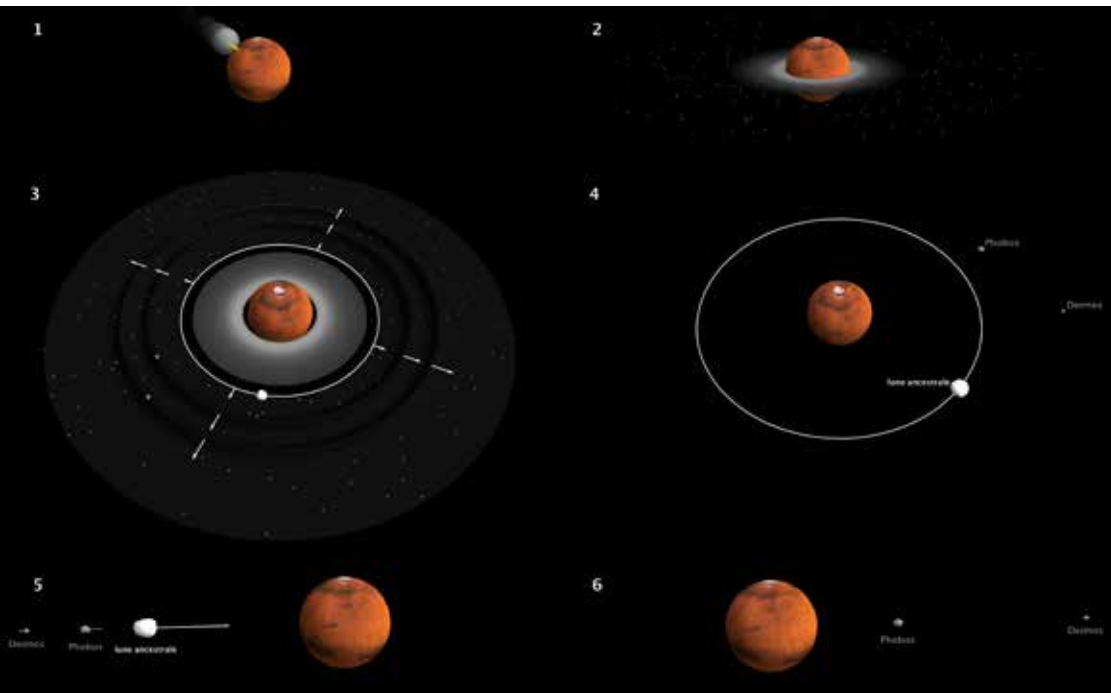
Chronologie des événements qui auraient donné naissance à Phobos et Deimos.

Mars est percutée par une protoplanète trois fois plus petite (1). Un disque de débris se forme en quelques heures. Les briques élémentaires de Phobos et Deimos (grains de taille inférieure au micromètre) se condensent directement à partir du gaz dans la partie externe du disque (2).

Le disque de débris produit rapidement une lune proche de Mars, qui s'éloigne et propage ses deux zones d'influence comme des vagues (3), ce qui provoque en quelques millénaires l'accrétion des débris plus éloignés en deux petites lunes, Phobos et Deimos (4).

Sous l'effet des marées soulevées par Mars, la grosse lune retombe sur la planète en quelques millions d'années (5), tandis que Phobos et Deimos, moins massifs, rejoignent leur position actuelle dans les milliards d'années qui suivent (6).

(© Antony Trinh / Observatoire Royal de Belgique)



lunes de Mars à partir de ces grains très fins pourrait être responsable d'une forte porosité interne, ce qui expliquerait leur densité étonnamment faible.

La théorie de l'impact géant, corroborée par ces deux études indépendantes, pourrait expliquer pourquoi l'hémisphère nord de Mars a une altitude plus basse que le sud : le bassin boréal est sans doute la trace d'un impact géant, comme celui qui a donné naissance à Phobos et Deimos. Elle permet aussi de comprendre pourquoi Mars a deux satellites et non un seul comme notre Lune, aussi née d'un impact géant.

Ces résultats suggèrent que les systèmes de satellites formés de cette manière dépendent de la vitesse de rotation de la planète, puisqu'à l'époque la Terre tournait très vite sur elle-même (en moins de quatre heures) alors que Mars tournait six fois plus lentement.

De nouvelles observations permettront bientôt d'en savoir plus sur l'âge et la composition des lunes de Mars. En effet, l'agence spatiale japonaise (JAXA) a décidé de lancer en 2022 une mission, baptisée Mars Moons Exploration (MMX), qui rapportera sur Terre en 2027 des échantillons de Phobos. L'analyse de ces échantillons pourra confirmer ou infirmer ce scénario. L'Agence spatiale européenne (ESA), en association avec l'agence spatiale russe (Roscosmos), prévoit une mission similaire en 2024.

Une nouvelle planète naine au-delà de Neptune

Basé sur un communiqué INSU-CNRS

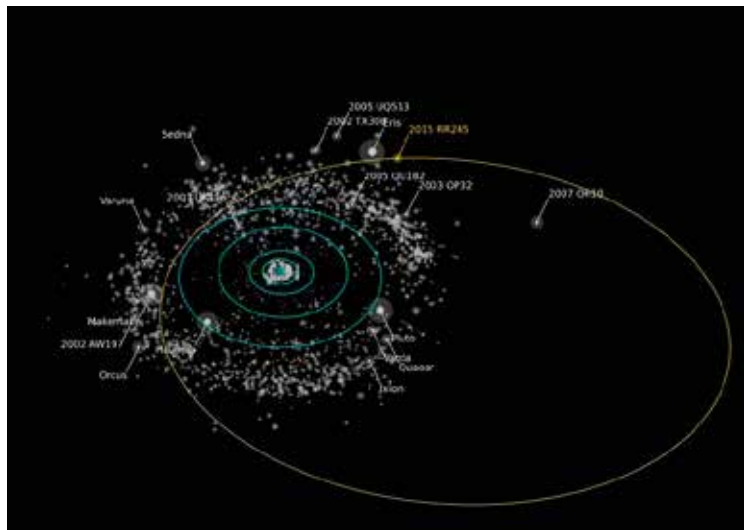
Les astronomes ont découvert une nouvelle planète naine dans le disque de petits mondes glacés gravitant au-delà de Neptune. Le nouvel objet a un diamètre d'environ 700 kilomètres et a l'une des orbites les plus grandes pour une planète naine, une boucle de 700 ans qui l'emmène jusqu'à 120 unités astronomiques du Soleil.

2015 RR245 a été découverte grâce au télescope CFH (Canada-France-Hawaii) du Mauna Kea lors du survey OSSOS (Outer Solar System Origin Survey). La lenteur de la petite planète indiquait qu'elle était alors deux fois plus loin que Neptune.

La taille de RR245 n'est pas encore exactement connue, car ses propriétés de surface doivent encore être mesurées. Elle est soit petite et brillante, soit grande et terne. La majorité des planètes naines comme RR245 ont été détruites ou éjectées du Système solaire lors du chaos engendré lorsque les planètes géantes se sont déplacées pour rejoindre leurs positions actuelles. RR245 est l'une des rares planètes naines, avec Pluton et Eris, à avoir survécu jusqu'à nos jours. RR245 orbite main-

***Le télescope CFHT à Hawaii.
(CFHT)***





La ligne orange montre l'orbite de RR245. Les objets aussi brillants ou plus brillants que RR245 sont indiqués. On estime que cet objet est le 18^e plus gros dans la ceinture de Kuiper (Alex Parker OSSOS team)

tenant autour du Soleil parmi la population résiduelle de dizaines de milliers de mondes trans-neptuniens beaucoup plus petits, dont la plupart sont encore inconnus. Ces mondes lointains ont une géologie exotique avec des paysages faits de nombreux matériaux congelés différents, comme nous le montre le survol récent de Pluton par la sonde New Horizons.

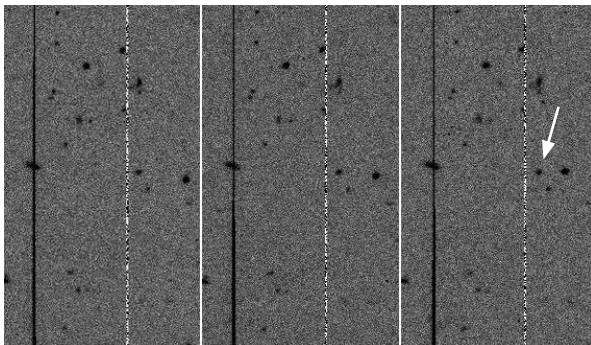
Après avoir passé des centaines d'années à plus de 12 milliards de kilomètres (80 unités astronomiques) du Soleil, RR245 se déplace actuellement vers son périhélie à 5 milliards de km (34 unités astronomiques) qu'elle atteindra environ en 2096. RR245 se trouve sur cette orbite très elliptique depuis au moins 100 millions d'années. Comme elle n'a encore été observée que durant une année, nous ne savons pas d'où elle vient ni comment son orbite évoluera dans l'avenir lointain. L'orbite sera précisée au cours des prochaines années, après quoi RR245 recevra un nom officiel. En reconnaissance de sa découverte, l'équipe OSSOS pourra soumettre une proposition à l'Union Astronomique Internationale.

Le projet OSSOS a été conçu pour cartographier la

structure orbitale du Système solaire externe et déchiffrer son histoire. Même si ce survey n'est pas optimisé pour détecter les planètes naines, il a déjà découvert plus de 500 objets trans-neptuniens grâce aux capacités exceptionnelles du télescope CFHT situé dans l'un des meilleurs sites d'observation au monde.

2015 RR245 est probablement l'un des derniers grands mondes trans-neptuniens à découvrir avant que de plus grands télescopes, comme le LSST, deviennent opérationnels au milieu des années 2020.

Trois clichés de découverte de RR245 (OSSOS)



Ondes gravitationnelles

Basé sur un communiqué CNRS

Le 26 décembre 2015, les détecteurs Advanced LIGO ont enregistré un nouveau signal d'ondes gravitationnelles, trois mois après la première détection (*Le Ciel*, mars 2016, p. 148). Cette fois encore, le signal – une infime déformation de l'espace-temps – provient de la « valse » finale de deux trous noirs qui finissent par fusionner, un phénomène appelé coalescence. Bien que le signal soit plus faible que le premier, cette deuxième détection est aussi confirmée avec plus de 99,99999 % de confiance.

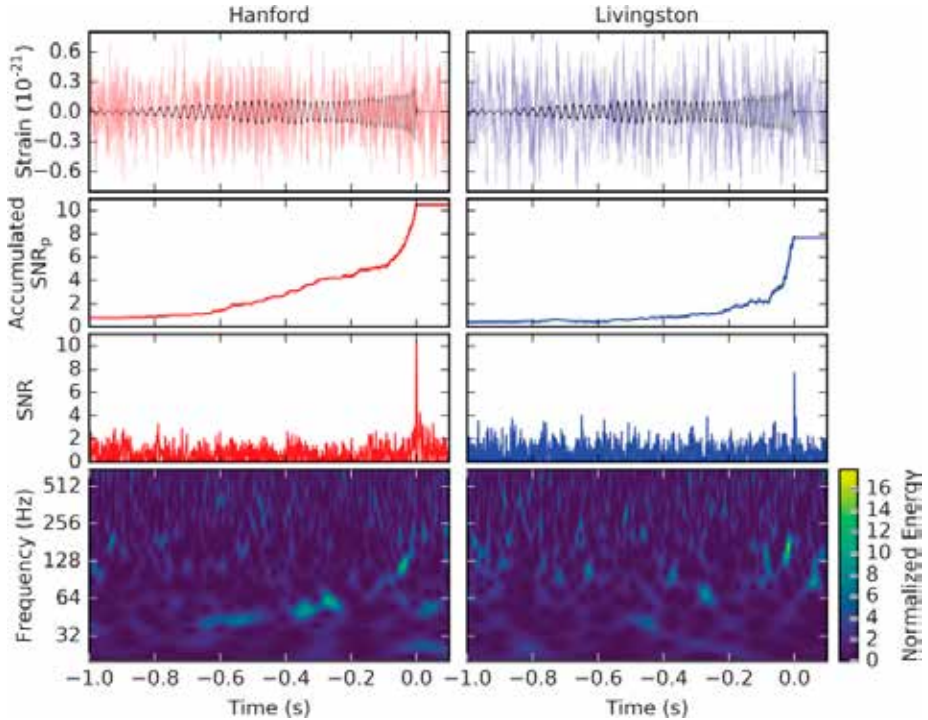
Cette deuxième observation renforce l'idée que les couples de trous noirs sont plutôt abondants et que ce type d'événements cataclysmiques est relativement fréquent. Elle augure d'autres détections à partir de fin 2016, lorsque redémarreront, après des travaux d'amélioration, les détecteurs Advanced LIGO (aux Etats-Unis) et Advanced Virgo (en Italie). L'analyse complète des données collectées

par les détecteurs LIGO entre septembre 2015 et janvier 2016 laisse d'ailleurs penser qu'un troisième événement de ce type a pu être observé, le 12 octobre – avec cependant un degré de certitude moindre. De quoi en apprendre davantage sur les couples de trous noirs, ces astres si compacts que ni lumière, ni matière ne peuvent s'en échapper.

Les trous noirs sont le stade ultime de l'évolution des étoiles les plus massives. Il arrive que certains évoluent en couple. Ils orbitent alors l'un autour de l'autre et se rapprochent lentement en perdant de l'énergie sous forme d'ondes gravitationnelles, jusqu'à un point où le phénomène s'accélère brusquement. Ils finissent par fusionner en un trou noir unique. C'est ce tourbillon final qui a été observé le 26 décembre 2015, permettant de déduire que la masse des trous noirs était de 8

Vue aérienne de l'antenne de détection des ondes gravitationnelles Virgo (à Cascina, en Italie). (EGO-VIRGO/IN2P3/CNRS Photothèque)





et 14 fois celle du Soleil (contre 29 et 36 pour la première détection, du 14 septembre 2015). Comme les trous noirs étaient plus légers, leur rapprochement a été moins rapide (le signal dure environ une seconde, contre 0,2 seconde pour le précédent). Le nombre d'orbites observées avant la fusion est donc beaucoup plus important que lors de la première observation, ce qui permet de tester de manière différente et complémentaire la théorie de la relativité générale élaborée par Albert Einstein. Cet événement s'est produit à environ 1,4 milliard d'années-lumière de la Terre; autrement dit, les ondes gravitationnelles se sont propagées dans l'espace pendant 1,4 milliard d'années avant d'être décelées par les deux détecteurs d'Advanced LIGO, situés en Louisiane et dans l'État de Washington (États-Unis).

À terme, l'analyse de ce genre d'observations pourra permettre de comprendre l'origine des couples de trous noirs : sont-ils issus d'un couple d'étoiles ayant chacune évolué

GW151226 observé avec les détecteurs LIGO de Hanford (à gauche) et Livingston. Malgré le bruit important, le signal peut être modélisé par les courbes en noir dans les figures du haut. Le rapport signal sur bruit (SNR) atteint des valeurs de 10 pour Hanford et 7 pour Livingston (moins sensible), qui sont très significatives.

(B. P. Abbott et al. / LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration)

en trou noir ou un trou noir est-il capturé par l'autre? Pour cela, il faudra un échantillon d'observations plus important – ce que promettent les redémarrages d'Advanced LIGO puis d'Advanced Virgo, à l'automne 2016. En effet, comme l'a démontré la première période de prise de données des détecteurs Advanced LIGO, les ondes gravitationnelles deviennent un nouveau moyen d'explorer l'Univers et l'interaction fondamentale qu'est la gravitation.

L'oxygène de la comète 67P

Basé sur un communiqué CNRS

Une nouvelle étude montre que l'oxygène récemment découvert dans la coma de la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko par le spectromètre de masse Rosina de la mission Rosetta1 est plus ancien que le Système solaire et provient du milieu interstellaire. L'oxygène aurait été formé à partir de molécules d'eau cassées par le bombardement des rayons cosmiques galactiques. Ces molécules étaient alors sous forme de grains de glace situés dans le nuage interstellaire qui a précédé la nébuleuse protosolaire. Les molécules d'oxygène ainsi formées se seraient stabilisées lors de leur inclusion dans les trous créés dans la glace d'eau par le bombardement des rayons cosmiques galactiques. Ces grains de glace auraient par la suite été transportés dans les parties externes de la nébuleuse protosolaire, et se seraient agglomérés pour former les comètes.

Même si elle a pu subir des transitions de phase (cristallisation de la glace originellement amorphe), l'eau est restée sous forme solide depuis sa formation dans les régions froides du milieu interstellaire jusqu'à son incorporation dans les comètes dans les parties externes de la nébuleuse protosolaire. Ce résultat permet d'expliquer la forte corrélation entre les taux de production de l'oxygène et de l'eau mesurés dans la coma de 67P/Churyumov-Gerasimenko, et est également compatible avec les différents scénarios prédisant la formation des comètes à partir de glaces amorphes, de clathrates ou de glaces cristallines. Il implique aussi que la température de la nébuleuse protosolaire n'a jamais pu excéder 150 K (température de sublimation de la glace d'eau) dans la région de formation des comètes.

La comète 67P. Mosaique de quatre images prises par Rosetta le 19 septembre 2014. (ESA/Rosetta/NAVCAM, CC BY-SA IGO 3.0)



Averse intergalactique

Basé sur un communiqué ESO

Le réseau d'antennes ALMA a permis de montrer que des nuages denses et froids peuvent se former en dehors du gaz intergalactique chaud puis plonger au cœur d'une galaxie et nourrir son trou noir supermassif central. Jusqu'à présent, les astronomes pensaient que les trous noirs supermassifs des galaxies les plus étendues se nourrissaient tranquillement du gaz chaud et ionisé du halo galactique. Il semble donc que les trous noirs peuvent également se gorger de soudaines averses de gigantesques nuages de gaz moléculaire froid.

Pour arriver à ce résultat les astronomes ont étudié l'amas d'une cinquantaine de galaxies Abell 2597. Cet amas baigne dans une atmosphère diffuse de gaz chaud ionisé qui fit l'objet d'études antérieures au moyen de l'observatoire spatial X Chandra de la NASA.

Au cœur de l'amas se trouve une galaxie elliptique géante et, près du noyau de celle-ci, les chercheurs ont pu observer trois vastes nuages froids « tombant » sur le trou noir supermassif à la vitesse d'un million de kilomètres par heure. Chaque nuage renferme autant de matière que plusieurs millions de Soleils et s'étend sur des dizaines d'années-lumière.

En temps normal, il s'avérerait particulièrement difficile de détecter des objets de si faible dimension à de telles distances cosmiques, même avec la formidable résolution d'ALMA. Mais les « ombres » qu'ils projettent vers la Terre, longues d'un milliard d'années-lumière, les ont trahis. Ces ombres se forment lorsque les nuages de gaz opaque se précipitant sur le trou noir bloquent en partie l'intense rayonnement millimétrique produit par les électrons spiralant autour des lignes de champ magnétique à proximité immédiate du trou noir supermassif central.

Des données complémentaires, acquises par le VLBA (Very Long Baseline Array) de la NSF (National Science Foundation), indiquent que les nuages de

gaz observés par ALMA sont distants du trou noir central d'à peine 300 années-lumière. À l'échelle astronomique, cela signifie qu'ils sont sur le point d'être engloutis.

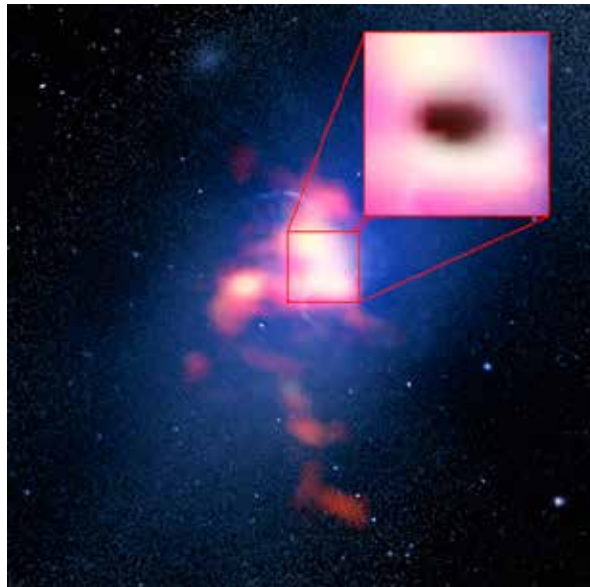
ALMA n'a pu détecter que trois nuages de gaz froid dans les environs du trou noir mais les astronomes estiment que des milliers d'objets semblables doivent coexister à proximité, et se précipitent en averses susceptibles d'alimenter le trou noir en continu sur une longue période de temps.

Les astronomes projettent à présent d'utiliser ALMA pour détecter l'existence de telles averses orageuses au sein d'autres galaxies.

La galaxie géante de l'amas Abell 2597.

En bleu une image prise par le télescope spatial Hubble. En rouge les données ALMA montrant la distribution du monoxyde de carbone à l'intérieur et autour de la galaxie. En encadré, l'image réalisée à partir des données d'ALMA de « l'ombre » indiquant que des nuages froids se déversent sur le trou noir.

(B. Saxton/NRAO/AUI/NSF)/G. Tremblay et al./NASA/ESA Hubble/ALMA/ESO/NAOJ/NRAO)



Méthanol protoplanétaire

Basé sur un communiqué ESO

Le vaste Réseau (Sub-)Millimétrique de l'Atacama (ALMA) a détecté du méthanol ou alcool méthylique, une molécule organique, au sein du disque protoplanétaire de TW Hydrae. Il s'agit de la toute première détection de ce composé au sein d'un disque de planètes en formation. Le méthanol est la seule molécule organique complexe jamais détectée au cœur de tels disques et dérivant clairement d'une forme de glace. Sa détection permet aux astronomes de mieux comprendre les processus chimiques impliqués dans la formation des systèmes planétaires et conduisant à la création des ingrédients nécessaires à l'apparition de la vie.

L'étoile jeune TW Hydrae se situe à quelque 170 années-lumière. Elle est entourée d'un disque protoplanétaire et sa proximité relative en fait une cible idéale pour les astronomes d'autant que ce système présente de grandes similitudes avec le Système solaire tel qu'il était dans sa jeunesse.

Les observations d'ALMA ont révélé la présence de méthanol gazeux (CH_3OH) dans ce disque protoplanétaire. Le méthanol, un dérivé du méthane, figure parmi les molécules organiques complexes les plus grandes détectées dans un disque à ce jour. Il constitue l'un des éléments de base d'espèces plus complexes, tels les composés d'acides aminés impliqués dans la chimie prébiotique.

À la différence des autres espèces chimiques détectées dans l'espace, la création de méthanol ne résulte pas d'un simple processus chimique en phase gazeuse ni de la combinaison d'une formation à la fois en phase gazeuse et en phase solide. Le méthanol est un composé organique complexe qui se forme uniquement en phase glacée, au travers de réactions de surface sur des grains de poussière.

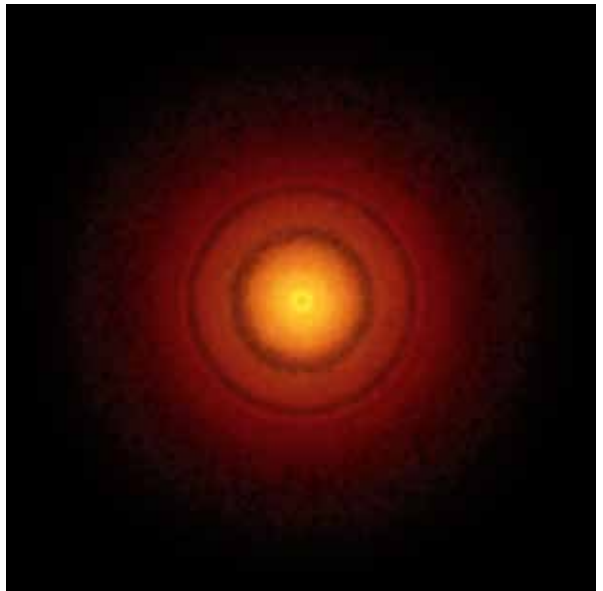
La finesse des observations d'ALMA a permis aux astronomes de cartographier le méthanol gazeux sur

l'ensemble du disque entourant TW Hydrae. Les données d'ALMA indiquent l'existence d'un anneau de méthanol situé entre 30 et 100 unités astronomiques (ua). S'ensuit l'hypothèse selon laquelle l'essentiel du réservoir de glace du disque se situe sur les grains de poussière les plus gros (jusqu'à quelques millimètres), à l'intérieur des 50 ua. Il s'est découpé du gaz, puis a dérivé radialement vers l'intérieur du disque, en direction de l'étoile. En plus de cet anneau on observe une émission significative à proximité de l'étoile.

L'observation de méthanol en phase gazeuse, combinée aux informations relatives à sa distribution spatiale, indique que le méthanol s'est formé sur les grains de glace du

Image acquise par ALMA du disque protoplanétaire autour de TW Hydrae, une étoile jeune proche. On distingue les anneaux et les divisions qui mettent en évidence des planètes en train de se former dans ce système.

(S. Andrews/Harvard-Smithsonian CfA; B. Saxton/NRAO/AUI/NSF; ALMA/ESO/NAOJ/NRAO)



disque, puis a été libéré sous forme gazeuse. Cette première observation permet de mieux comprendre la transition du méthanol de la phase glacée à la phase gazeuse, et plus généralement, les processus chimiques à l'œuvre au sein des environnements astrophysiques.

La répartition radiale des espèces chimiques dans les régions centrales du disque, en particulier la localisation des glaces, est essentielle pour la compréhension de la chimie des planètes naissantes. Par ailleurs, la détection de méthanol au sein des régions externes plus froides du disque indique que cette molécule est capable de s'échapper des grains à des températures bien inférieures à sa température de sublimation, requise pour donner lieu à une désorption thermique.

TRAPPIST-1

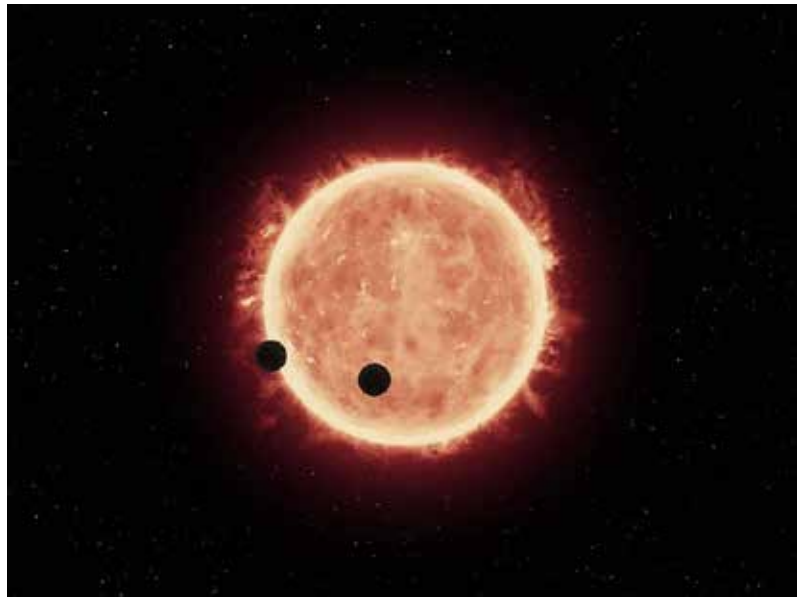
Le télescope spatial Hubble a permis la première recherche d'atmosphères autour de planètes tempérées de type terrestre, celles découvertes grâce au télescope liégeois TRAPPIST, à l'observatoire ESO de La Silla (voir *Le Ciel*, juin 2016, 334).

Le 4 mai, les astronomes ont profité d'un transit quasi simultané des planètes TRAPPIST-1b et TRAPPIST-1c pour mesurer la

lumière qui aurait pu être tamisée par leur atmosphère, le signal combiné pouvant offrir des indications sur leurs caractéristiques. Ces transits doubles n'ont lieu que tous les deux ans pour ces planètes dont les périodes de révolution sont de 1,5 et 2,4 jours. Les observations ont consisté en l'analyse du spectre infrarouge avec la caméra Wide Field 3 et ont montré l'absence probable d'une atmosphère claire, étendue d'hydrogène et d'hélium. Il pourrait cependant y avoir une atmosphère comparable à celle de Vénus, saturée en dioxyde de carbone avec une épaisse couche de nuages de hautes altitudes, ou à celle de la Terre, riche en azote et en oxygène et principalement claire, voire même à celle de Mars, très appauvrie.

Au moins l'une des planètes, TRAPPIST-1c pourrait être dans la zone habitable du système. Il reste évidemment à étudier plus en détail la composition de ces atmosphères pour évaluer la possibilité d'une vie à leur surface, une tâche qui sera probablement dévolue au successeur de Hubble, le futur télescope spatial James Webb.

Illustration du transit simultané de TRAPPIST-1b et TRAPPIST-1c devant leur hôte naine rouge. (NASA/ESA/STScI/J. de Wit/MIT)



Les jupiters chaudes de M67

Basé sur un communiqué ESO

L'amas ouvert Messier 67 contient bien plus de planètes de type jupiter chaude qu'on le croyait. Ce surprenant résultat fait suite à l'utilisation de divers télescopes et instruments, parmi lesquels le spectrographe HARPS à l'Observatoire de La Silla de l'ESO au Chili.

Pour arriver à ce résultat les astronomes ont collecté depuis plusieurs années des mesures très précises concernant 88 étoiles de M67. Cet amas a le même âge que le Soleil, et le Système solaire est probablement issu d'un environnement de densité semblable. Les spectres ont montré la présence d'une jupiter chaude pour trois des étoiles de l'amas. Ces signatures s'ajoutent aux preuves antérieures de l'existence de plusieurs autres planètes.

Une jupiter chaude est une exoplanète géante dont la masse est supérieure au tiers de celle de Jupiter. Elles sont qualifiées de « chaudes » parce qu'elles orbitent à proximité de leurs étoiles hôtes, comme en témoignent leurs périodes orbitales inférieures à dix jours. En ce sens, elles diffèrent notablement de notre Jupiter, dont la révolution autour du Soleil avoisine les 12 années terrestres et dont la température de surface est inférieure à celle de la Terre.

Les nouveaux résultats indiquent que 5% des étoiles de Messier 67 sont entourées de jupiters chaudes alors que ce taux n'est que de 1% pour les étoiles hors amas.

Il est hautement improbable que ces géantes exotiques se soient formées là où nous les détectons aujourd'hui, les conditions régnant aussi près de l'étoile ne favorisant pas la forma-

tion de planètes géantes. Il semblerait plutôt qu'elles se soient formées à plus grande distance, comme ce fut probablement le cas de Jupiter, puis qu'elles aient migré vers le centre.

La raison de cette migration pose question. Plusieurs scénarios sont envisageables mais on semble privilégier les interactions gravitationnelles avec des étoiles voisines, voire avec des planètes de systèmes voisins. Dans un amas tel que Messier 67, constitué d'étoiles situées à plus grande proximité qu'à l'accoutumée, de telles rencontres seraient bien plus fréquentes et pourraient expliquer la densité particulièrement élevée de jupiters chaudes.

Image de l'amas ouvert M67 constituée à partir d'images issues du Digitized Sky Survey 2. (ESO/Digitized Sky Survey 2, Davide De Martin)

