

L'astronomie dans le monde



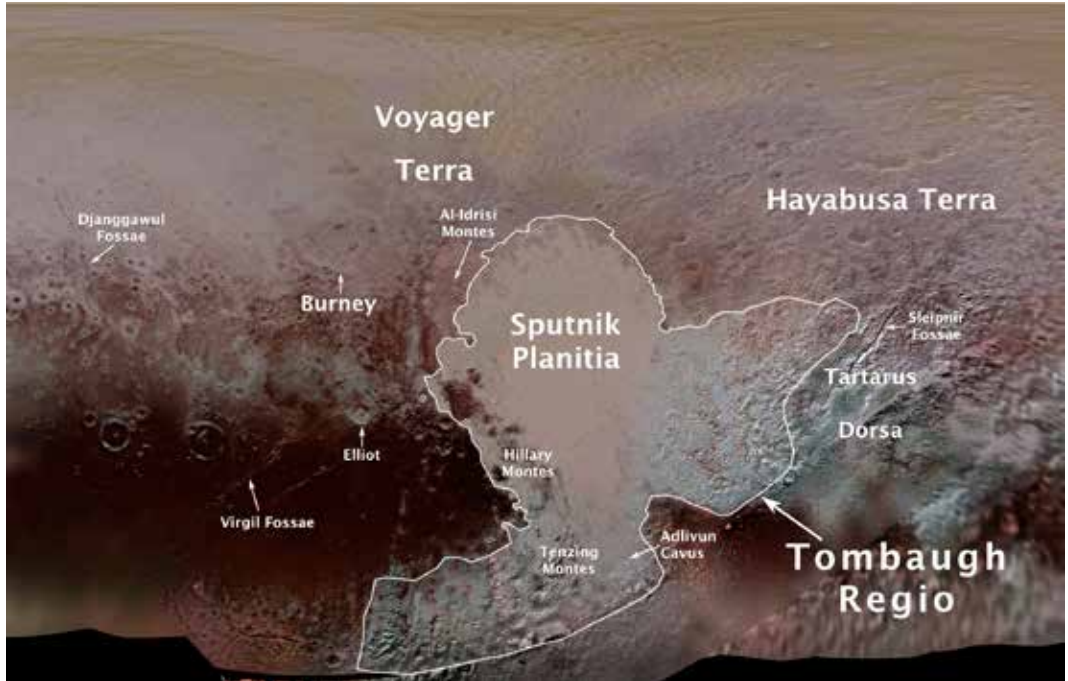
Géographie de Pluton

L'Union Astronomique Internationale a attribué des noms à 14 formations géologiques de Pluton. C'est la première liste officielle approuvée par l'UAI et elle fait appel à la mythologie infernale, aux grands explorateurs, aux missions spatiales et aux savants impliqués dans l'étude de Pluton et de la ceinture de Kuiper.

L'équipe de la mission New Horizons avait proposé des noms à l'UAI après le passage de la sonde près de Pluton et de ses lunes. Certains noms ont été suggérés par le grand public à l'occasion de la campagne « our Pluto » lancée par l'UAI, l'institut SETI et le projet New Horizons. Quelques noms avaient été utilisés de manière informelle par les chercheurs de New Horizons pour décrire les chaînes de montagnes, les plaines, les vallées et les cratères découverts sur Pluton et Charon.

Les noms approuvés sont listés ci-dessous :

- Tombaugh Regio honore l'astronome Clyde Tombaugh (1906-1997) qui découvrit Pluton en 1930 depuis l'observatoire Lowell en Arizona.
- Le cratère Burney honore Venetia Burney (1918-2009) qui, à l'âge de 11 ans suggéra le nom de Pluton pour la nouvelle planète découverte par Tombaugh.
- Sputnik Planitia est une grande plaine nommée pour Spoutnik 1, le premier satellite artificiel de la Terre, lancé par l'Union Soviétique en 1957.
- Tenzing Montes et Hillary Montes honorent Tenzing Norgay (1914-1986) et Sir Edmund Hillary (1919-2008), le sherpa indo-népalais et l'alpiniste néo-zélandais qui vainquirent les premiers le Mont Everest.
- Al-Idrisi Montes honore le cartographe et géographe arabe Ash-Sharif al-Idrisi (1100-1165/66), dont le travail est parfois traduit comme « La joie de celui qui veut dépasser les horizons ».
- Djanggawul Fossae est un réseau de dépressions longues et étroites nommées en référence aux Djanggawuls, trois êtres ancestraux de la mythologie australienne qui voyagèrent entre l'île des morts et l'Australie, créèrent le paysage et le garnirent de végétation.
- Sleipnir Fossa fait référence au cheval à huit pattes de la mythologie scandinave qui conduisit le dieu Odin aux Enfers.
- Virgil Fossae honore le grand poète romain et le guide de la Divine Comédie
- Adlivun Cavus est une profonde dépression nommée pour Adlivun, l'enfer de la mythologie inuite.
- Hayabusa Terra est une grande région dont le nom salue la mission japonaise (2003-2010) qui ramena sur Terre les premiers échantillons d'un astéroïde.
- Voyager Terra honore les deux sondes lancées en 1977 pour effectuer le premier « Grand Tour » des quatre planètes



Les premiers noms officiels de Pluton sont indiqués sur cette carte construite à partir d'images prises par New Horizons. (NASA/JHUAPL/SwRI/Ross Beyer)

géantes. Les sondes Voyager abordent actuellement la frontière entre le Système solaire et l'espace interstellaire.

- Tartarus Dorsa est une chaîne montagneuse nommée pour Tartarus, le gouffre le plus profond et le plus sombre de la mythologie grecque.
- Le cratère Elliot est nommé pour le chercheur James Elliot (1943-2011), pionnier de l'utilisation des occultations stellaires dans l'étude du Système solaire qui a conduit à la découverte des anneaux d'Uranus et à la détection de l'atmosphère ténue de Pluton.

Qui nous observe ?

Dans notre bulletin d'avril (*Le Ciel*, vol. 79, p. 192), nous avons envisagé l'observabilité depuis Trappist-1 de transits des planètes du Système solaire devant le Soleil. La position de l'étoile près de l'écliptique rendait la chose plausible, et il apparaissait que les conditions ne seront remplies que dans quelques siècles.

Le problème a maintenant été considéré de manière plus générale par une équipe anglo-germanique. Y a-t-il des planètes où des aliens pourraient actuellement être en train d'observer des transits de la Terre ? Les astronomes ont pris pour base les exoplanètes connues. La majorité d'entre elles ont été découvertes par la méthode des transits. Parmi ces milliers de mondes, 68 se trouvent dans l'une des « zones de transit » (cf. figure, page suivante) et peuvent voir des transits d'au moins une de nos planètes et seulement neuf peuvent voir des transits de la Terre. Aucune de ces dernières ne se trouve en zone habitable.

Les auteurs confirment ce que l'étude de Trappist-1 nous avait déjà montré et qui semble assez évident. Les planètes inférieures et Mars montrent beaucoup plus de transits et pour beaucoup plus d'observateurs potentiels. Elles ont donc plus de chances d'être observées que les planètes géantes qui font des transits plus marqués, mais beaucoup plus rares.

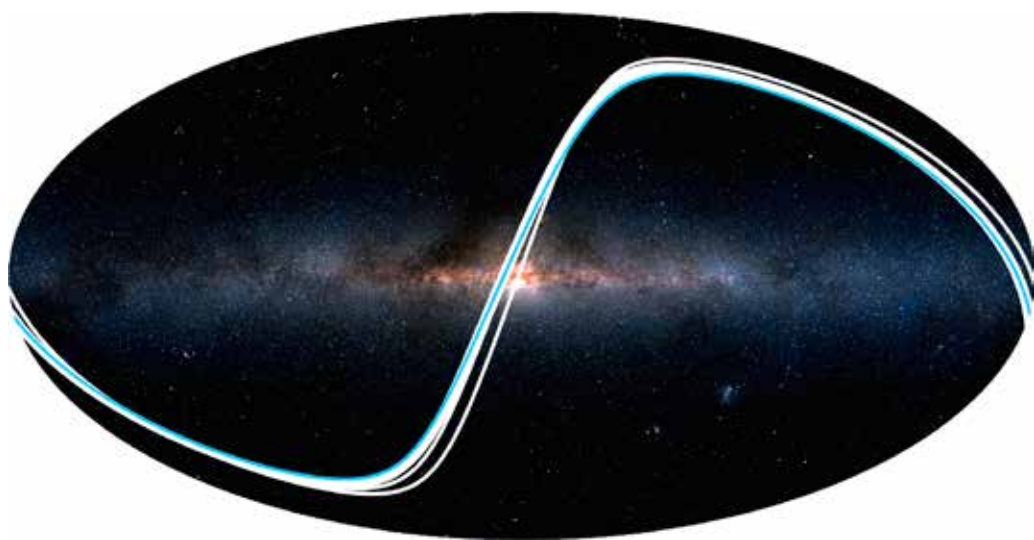
D'aucun endroit on ne pourrait détecter par les transits plus de trois planètes du Système solaire car les plans des orbites ne coïncident pas parfaitement.

Statistiquement on trouve qu'un alien pris au hasard dans notre environnement galactique aurait une chance sur 40 d'être en mesure de voir les transits d'au moins une planète de notre système. La probabilité de détecter les transits de deux planètes est dix fois moindre et celle d'en observer trois encore dix fois moindre. Si l'on considère les exoplanètes non encore découvertes dans les zones favorables, les auteurs de l'étude estiment qu'il devrait y avoir une dizaine de mondes habitables d'où l'on pourrait détecter des transits d'une de nos planètes avec les moyens équivalents à ceux dont nous disposons. La mission actuelle K2

du télescope spatial Kepler scrute précisément des régions voisines de l'écliptique et pourra sans doute révéler l'un ou l'autre de ces mondes privilégiés.

Les planètes liégeoises de Trappist-1 ratent de peu – de quelques siècles – la qualification. Observée depuis Trappist-1, la Terre effectuera 2573 transits d'une durée maximale d'à peu près 13 heures et d'une très faible amplitude photométrique (0,01% ou 0,0001 magnitude) entre ~3584 et ~6156. Jupiter ne fera que 56 transits de maximum 31 heures entre 9531 et 10183 et il n'y aura que deux transits d'Uranus en 7972 et 8056. Ces trois séries de transits auront donc lieu à des époques distinctes et les « Trappistiens » devront faire montre de beaucoup de persévérance pour remarquer nos planètes.

Les « zones de transit » d'où l'on pourrait voir l'une ou l'autre planète du Système solaire passer devant le Soleil. La trace bleue représente la Terre et est donc centrée sur l'écliptique.
(2MASS / A. Mellinger / R. Wells)



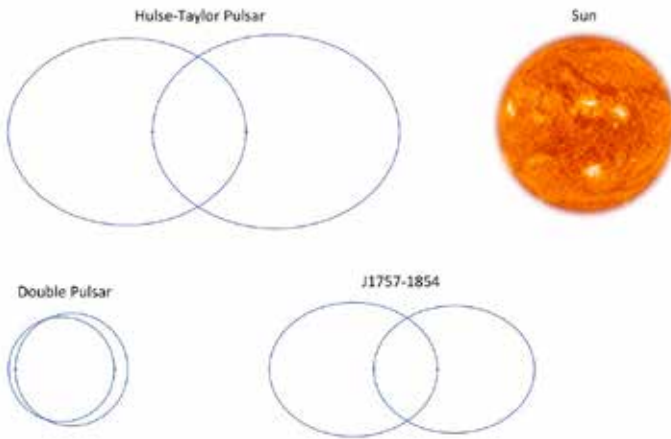
Pulsar binaire record

Il y a un demi-siècle, Jocelyn Bell découvrait le premier pulsar en scrutant des liasses d'enregistrements sur papier. Maintenant, c'est au travers de milliers de téraoctets de données et avec des algorithmes spécialisés sur des réseaux d'ordinateurs que la recherche des étoiles radio pulsantes s'effectue. C'est ainsi qu'un nouveau pulsar binaire – J1757-1854 – aux caractéristiques extrêmes a été découvert. La plupart des 2 500 pulsars connus sont isolés. Seuls quelques-uns sont des couples serrés. Le recensement « High Time Resolution Universe Survey for pulsars » effectué avec le radiotélescope de 64 mètres de Parkes a permis de trouver un système double montrant des accélérations de 70 g, un record en la matière. Lorsque les deux étoiles à neutrons sont au plus près, leur distance est inférieure au rayon du Soleil.



Le télescope de 64 m de Parkes. (CSIRO)

Les pulsars doubles sont d'excellents laboratoires pour tester la théorie de la relativité générale. Le premier objet de ce type, le pulsar de Hulse-Taylor a d'ailleurs valu le prix Nobel aux chercheurs. Ce nouveau pulsar, avec des propriétés encore plus marquées, constitue une aubaine pour les astronomes.



Orbite du nouveau pulsar double, J1757-1854, comparée à celles de deux autres pulsars binaires, Hulse-Taylor et J0737-3039, ainsi qu'au Soleil.
(Norbert Wex/ MPIfR, NASA/ SOHO)



*Vue d'artiste
d'une gerbe
atmosphérique
au-dessus d'un
détecteur de
particules de
l'observatoire
Pierre Auger, sur
fond de ciel étoilé.
(A. Chantelauze,
S. Staffi, L. Bret)*

Rayons cosmiques énergétiques

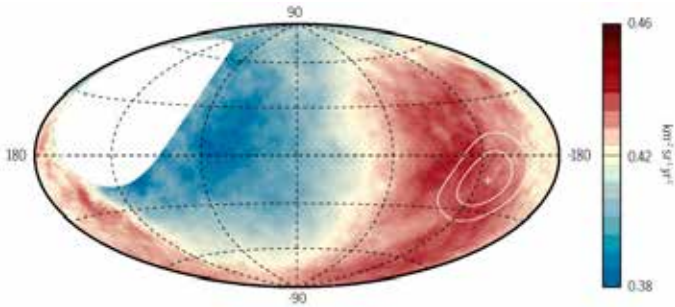
Basé sur un communiqué CNRS/INSU

C'est un débat vieux de 50 ans qui est désormais tranché : les rayons cosmiques les plus énergétiques ne proviennent pas de la Voie lactée, mais ont été propulsés depuis des galaxies situées à des dizaines, voire des centaines de millions d'années-lumière. L'observatoire Pierre Auger, en Argentine, qui collecte depuis 2004 des informations sur ces particules bombardant la Terre, a permis d'apporter cette preuve.

Les rayons cosmiques sont des noyaux atomiques (de l'hydrogène jusqu'au fer pour le plus lourd) qui traversent notre Univers à une vitesse proche de celle de la lumière.

Ceux de basse énergie proviennent du Soleil ou de notre galaxie, mais l'origine des particules les plus énergétiques restait débattue depuis leur découverte il y a un demi-siècle : sont-elles issues de la Voie lactée ou d'objets extragalactiques éloignés ? La question vient d'être réglée grâce à l'étude de 30 000 particules cosmiques d'une énergie un million de fois supérieure à celle des protons accélérés au LHC (large Hadron Collider situé au CERN). Elles ont été détectées entre 2004 et 2016 avec le plus grand observatoire de rayons cosmiques jamais construit, l'observatoire Pierre Auger, en Argentine. L'étude des directions d'arrivée de ces particules montre qu'à ces énergies, le flux de rayons cosmiques en provenance d'une zone du ciel pointant à 120 degrés du centre

*L'un des 1 600 détecteurs de
l'observatoire Pierre Auger
Ces détecteurs sont des
cuves remplies de 12 tonnes
d'eau pure, qui permettent
de détecter les particules de
la « gerbe atmosphérique »,
une cascade de particules
secondaires produites
lorsqu'un rayon cosmique
entre dans l'atmosphère
terrestre. En traversant les
cuves d'eau, les particules
secondaires produisent un
flash de lumière par effet
Tcherenkov.*



Carte du ciel montrant le flux de rayons cosmiques. La région présentant un excès de rayons cosmiques est entourée. Le centre galactique est au centre de l'ellipse. (Collaboration Pierre Auger)

galactique est environ 6% plus élevé que si le flux était parfaitement uniforme. Cette direction ne peut pas être associée à des sources potentielles dans le plan de la galaxie ou en son centre. C'est la première preuve convaincante d'une origine extragalactique pour ces rayons cosmiques.

Le flux de ces rayons cosmiques très énergétiques (au-delà de 2 joules) est d'environ 1 par kilomètre carré et par an. Quand ces rayons entrent en collision avec les molécules de la haute atmosphère, ils créent une cascade de plus de 10 milliards de particules secondaires, appelée gerbe atmosphérique, qui peut s'étendre sur plus de 40 kilomètres carrés quand elle arrive au sol. L'observatoire Pierre Auger détecte certaines de ces particules secondaires (électrons, photons et muons) grâce à un réseau de 1 600 détecteurs – des cuves d'eau pure espacées de 1 500 mètres, qui s'étendent sur une surface de 3 000 kilomètres carrés dans la pampa argentine (soit un peu plus que la taille du Luxembourg). En comparant les temps d'arrivée des particules dans différents détecteurs, on peut déterminer la direction d'où provient le rayon cosmique qui a produit la gerbe atmosphérique.

Cette découverte indique clairement une origine extragalactique pour ces particules cosmiques, le motif observé dans le ciel ne pou-

vant être le fruit du hasard qu'avec une chance sur cinq millions. Cependant, cette étude ne permet pas encore de localiser précisément les sources. En effet, la région la plus brillante en rayons cosmiques s'étend sur une vaste portion du ciel, où le nombre de galaxies est relativement élevé. De plus, le champ magnétique de la Voie lactée dévie les trajectoires de ces particules chargées de quelques dizaines de degrés et brouille les pistes.

Il existe des rayons cosmiques encore plus énergétiques que ceux auxquels cette étude s'attache. Ils ont comme inconvénient d'être encore plus rares, mais aussi l'avantage d'être moins déviés par le champ magnétique de notre propre galaxie ; leur direction d'arrivée pourrait donc pointer au plus près de leur lieu de production. En 2007, une étude avait noté une corrélation entre des noyaux actifs de galaxies et les directions d'arrivée des rayons cosmiques les plus énergétiques alors détectés, mais cette corrélation s'est par la suite révélée peu significative. Des études se déroulent actuellement sur une collection bien plus importante de rayons cosmiques ultra-énergétiques, et pourraient apporter des éléments de réponse. En parallèle, un programme d'amélioration de l'observatoire Pierre Auger est en cours et devrait permettre d'identifier plus clairement ces sources.



*Vue aérienne de
l'interféromètre Virgo
en Italie.
(Virgo Collaboration)*

Ondes gravitationnelles

Le 14 juin, deux semaines après sa mise en service suite à une série d'upgrades, l'interféromètre Virgo détectait un sursaut d'ondes gravitationnelles, GW170814, à une distance de 1,8 milliard d'années-lumière. Pour la première fois un tel événement était vu par trois observatoires, Virgo et les deux interféromètres de LIGO. L'émission était due à la fusion de deux trous noirs de 25 et 31 masses solaires, une catastrophe cosmique entraînant la perte de trois masses solaires. L'énergie correspondante ($E=mc^2$) est inimaginable et est émise exclusivement sous forme d'ondes gravitationnelles, le trou noir résultant ne laissant rien échapper d'autre.

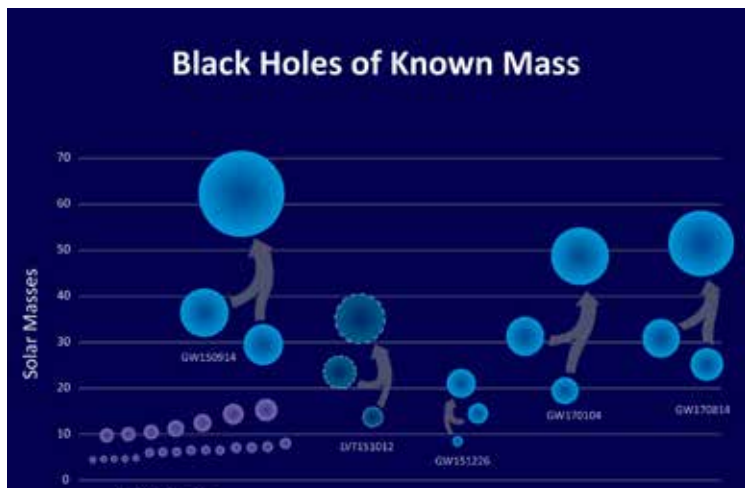
La première détection d'ondes gravitationnelles date du 14 septembre 2015¹.

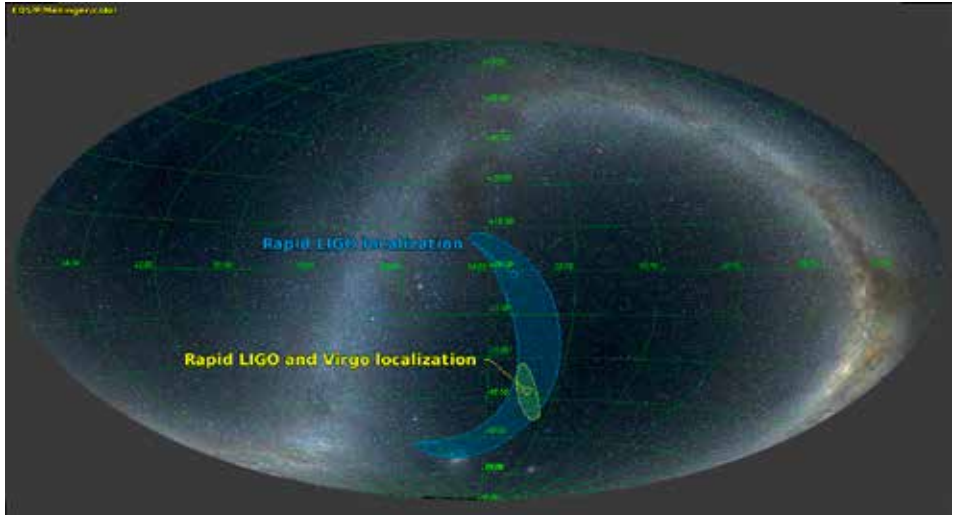
¹ Le prix de Nobel vient de récompenser Raïder Weiss, Barry C. Barish et Kip S. Thorne pour cette découverte

*La grande masse des
trous noirs détectés par
ondes gravitationnelles
démontre l'existence
d'une population dont
la masse excède 20 fois
celle du Soleil.
(LIGO / Virgo)*

Celle-ci est la quatrième (ou la cinquième si l'on tient compte d'un événement assez incertain LVT151012). Toutes ont pour origine la fusion de deux gros trous noirs stellaires, une révélation pour les astronomes car les observations des trous noirs dans les systèmes binaires conduisaient à supposer une limite maximale d'une vingtaine de masses solaires pour ces trous noirs.

GW170814 est étonnamment semblable à GW150914 et GW170104. On se demande comment des trous noirs aussi massifs peuvent naître. Sont-ils le résultat de l'explosion d'étoiles primordiales, de type III très pauvres





en éléments lourds et pouvant être beaucoup plus massives que les étoiles ultérieures ? Sont-ils eux-mêmes des trous noirs primordiaux venant du Big Bang ? Ou bien sont-ils le résultat de coalescences dans des amas stellaires très denses ?

Lorsque les détections seront suffisamment nombreuses, une statistique des masses devrait aider les astronomes à trancher.

Un autre résultat intéressant est que la rotation du trou noir résultant est, dans les quatre cas, égale à 70 % de la valeur maximale permise. Cela confirme une théorie concernant la fusion de trous noirs de masses similaires.

Le fait d'être mesuré par trois observatoires offre non seulement une confirmation sans appel de la réalité de l'événement mais permet aussi une localisation grossière de sa position sur la voûte céleste. L'observatoire LIGO de Livingston a été le premier à voir passer l'« onde d'Einstein » d'une durée de 0,27 seconde. Puis, après 8 millisecondes, ce fut l'observatoire LIGO de Hanford. Finalement, après 6 millisecondes supplémentaires, c'était au tour de VIRGO, près de Pise. Un peu de géométrie permet de trouver la direction de propagation des ondes. La précision ne peut cependant pas dépasser celle du timing. Si l'on se contentait des deux

La zone d'incertitude sur la position de GW170814 déterminée par les deux observatoires LIGO est en bleu sur cette carte céleste. Si l'on ajoute Virgo, cette zone se rétrécit (en jaune). (LIGO / Virgo / Mellinger)

observations LIGO, comme dans les cas précédents, on aurait une zone d'incertitude en forme de banane de 1 160 degrés carrés. En ajoutant la contrainte de Virgo, cette zone se réduit à une ellipse de 60 degrés carrés centrée sur 3 h 11 m d'ascension droite et $-44^{\circ}57'$ de déclinaison, non loin de θ Eridani. Une flopée de télescopes, au sol et dans l'espace, avaient aussitôt scruté la zone, dans l'espoir de découvrir une contrepartie dans le domaine électromagnétique. Espoir bien mince dans ce cas puisqu'on n'attend rien d'une collision de trous noirs. Une localisation précise se révélera cependant utile lorsque l'on détectera un cataclysme qui émet des photons en plus des ondes gravitationnelles (supernova, collision d'étoiles à neutrons). La rumeur dit qu'une telle observation a eu lieu en août. Les détails devraient être connus lorsque ces lignes paraîtront. D'autres événements sont en instance de vérification.

U Antliae

Basé sur un communiqué ESO

L'étoile U Antliae est, comme le nom l'indique aux spécialistes¹, la quatrième variable découverte dans la constellation australe de la Machine pneumatique. L'observateur attentif détecte, au moyen de simples jumelles, une étoile d'un rouge prononcé dont la luminosité varie légèrement d'une semaine à l'autre.

De nouvelles observations effectuées grâce au réseau ALMA viennent de révéler la présence d'une enveloppe sphérique d'une remarquable finesse autour de l'étoile. L'analyse détaillée de cette enveloppe a révélé la présence de nuages de gaz ténus formant des sous-structures filamenteuses.

U Antliae (aussi appelée HD 91793 ou HR 4153) est une étoile carbonée, évoluée, froide et lumineuse, située dans la branche asymptotique des géantes. Il y a 2 700 ans environ, U Antliae a traversé une brève période de rapide perte de masse. Durant cette phase dont la durée n'excédait pas quelques centaines d'années, la matière qui

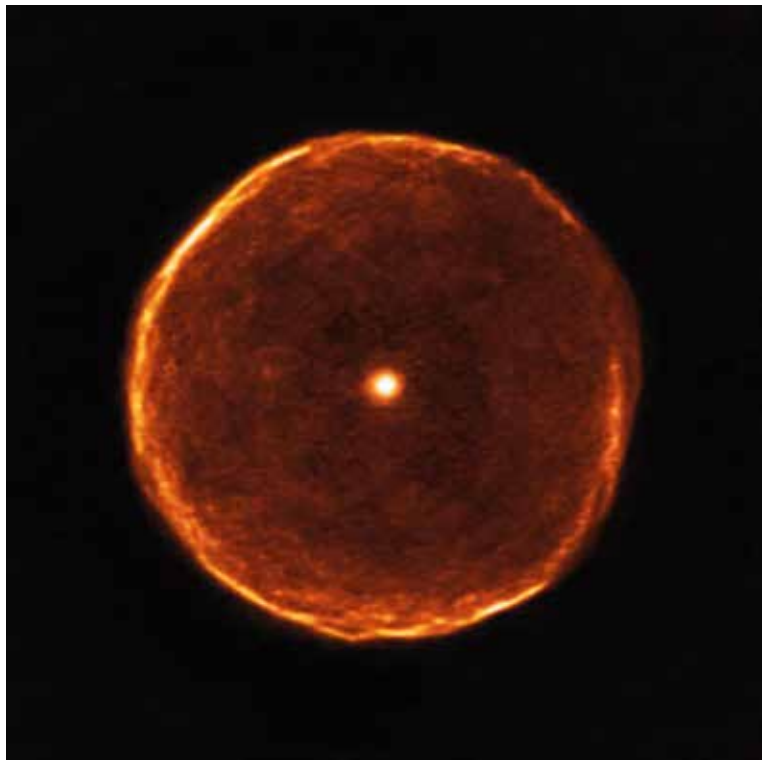
compose l'enveloppe observée par ALMA fut éjectée à grande vitesse.

Les données récemment acquises par ALMA à des fréquences de 115 et 230 GHz ne se résument pas à une simple image. ALMA produit un ensemble de données tridimensionnelles, ou cube de données, dont chaque tranche se réfère à une observation effectuée à une longueur d'onde légèrement différente. En raison de l'effet Doppler, diverses tranches du cube de données renseignent sur le mouvement qu'effectue le gaz à différentes vitesses, en direction ou à l'opposé de l'observateur. Cette enveloppe se distingue par sa parfaite symétrie sphérique ainsi que par son extrême finesse. L'affichage des différentes vitesses permet de découper cette bulle cosmique en tranches virtuelles, tout comme la tomographie par ordinateur permet de découper en tranches le corps humain.

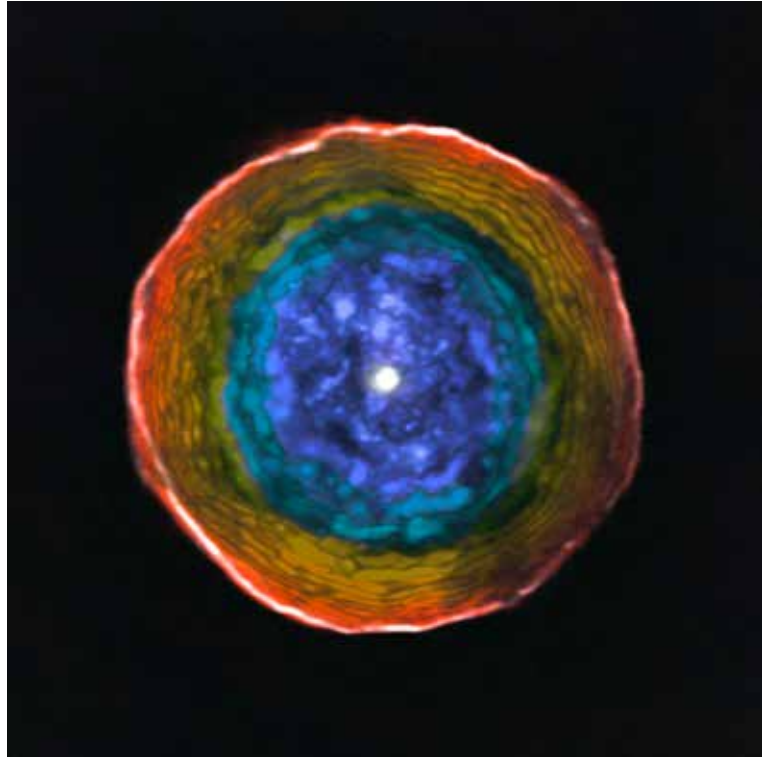
1 Les premières étoiles découvertes dans une constellation ont reçu une lettre à partir de R. U est donc la quatrième. Les romains n'avaient pas de machine pneumatique, mais antlia désignait une pompe à eau et c'est le nom choisi pour honorer l'invention de Denis Papin.

*Une fine enveloppe
de matière éjectée
entoure l'étoile
rouge froide U
Antliae.*

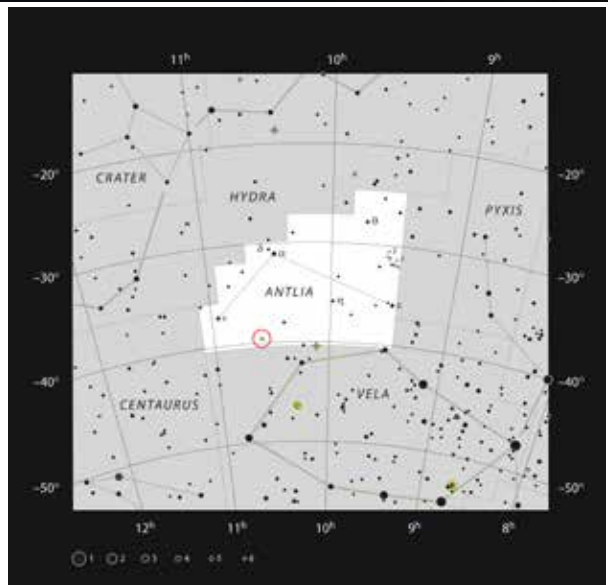
*(ALMA/ESO/
NAOJ/NRAO/
F. Kerschbaum)*



*Mouvements
d'expansion de la
matière autour de
l'étoile U Antliae.
En bleu on voit le
gaz situé entre nous
et l'étoile, et se
dirigeant vers nous.
À la périphérie, la
vitesse relative vers
nous s'annule (en
rouge). Pour ne pas
surcharger l'image,
on n'a pas représenté
le gaz situé derrière
l'étoile et qui s'éloigne
de nous. (ALMA/
ESO/NAOJ/NRAO/
F. Kerschbaum)*



*Carte de la
Machine
pneumatique
(Antlia) montrant
la position de
U Antliae.
(ESO, IAU et Sky
& Telescope)*





Déterminer la composition chimique des enveloppes et des atmosphères de ces étoiles, comprendre la formation de ces enveloppes consécutivement à une perte de masse, constituent le préalable à une meilleure connaissance des processus d'évolution des étoiles dans l'Univers jeune. Les enveloppes semblables à celle qui entoure U Antliae affichent une grande diversité de composants chimiques à base de carbone et d'autres éléments. Elles permettent également de recycler la matière et contribuent à hauteur de 70% à la poussière interstellaire.

Cette image du Digitized Sky Survey montre le champ de l'étoile rouge U Antliae.

Le halo rouge n'est pas l'enveloppe décelée par ALMA, il est dû à la diffusion de la lumière dans la plaque photographique originale. (ESO, Digitized Sky Survey 2 ; Davide De Martin)

40 Eridani BC

De nouvelles observations de l'étoile double 40 Eridani BC ont donné la période et la masse des composantes.

40 Eridani BC (aussi connue comme Omicron-2 Eridani) est une binaire bien connue, observée par de nombreux astronomes depuis les premières mesures de William Rutter Dawes en 1867. Elle est située à 16 années-lumière et facilement observable dans les télescopes d'amateur.

La mesure de la période orbitale, associée à la connaissance de la distance, permet de calculer la masse combinée des deux étoiles. Mais au fur et à mesure que les mesures s'accumulaient, il devenait évident que 40 Eridani BC était un système inhabituel.

Les mesures spectroscopiques impliquent que l'étoile la plus brillante est une naine blanche, c'est-à-dire les cendres comprimées d'une étoile qui s'est effondrée après avoir épuisé son combustible nucléaire. L'autre composante est une naine rouge, une étoile de faible masse, consommant son combustible avec la plus grande parcimonie et pouvant ainsi assurer sa faible luminosité pendant des centaines de milliards d'années. Les naines rouges sont probablement les étoiles normales les plus communes de la Galaxie alors que les naines blanches sont relativement rares. 40 Eridani B est la deuxième plus brillante naine blanche connue et la seule facilement visible dans des télescopes d'amateur.¹

40 Eridani B est la première naine blanche dont la masse a pu être déterminée par une méthode totalement différente, en mesurant son redshift gravitationnel, un décalage des raies spectrales vers le rouge provoqué par un champ de gravitation intense, et donc par les objets très denses.

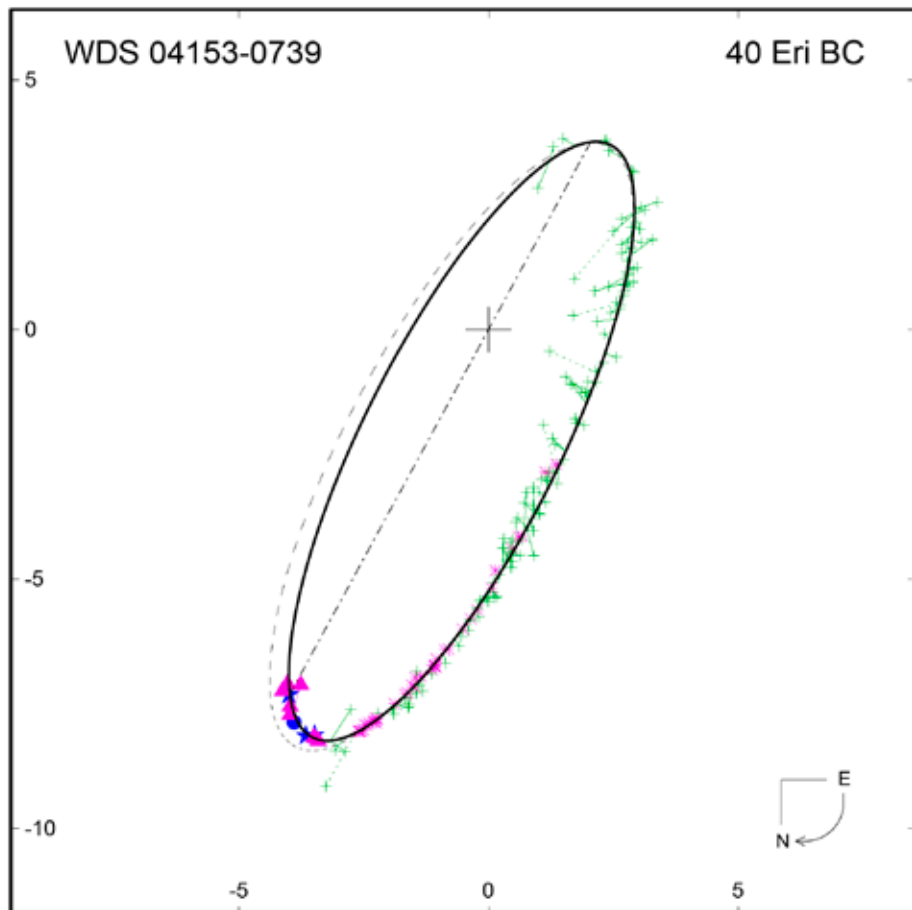
La méthode d'interférométrie « speckle », parfois appelée « des tavelures » en français, a été utilisée pour observer 40 Eridani BC durant six nuits au début de cette année. Le télescope utilisé était la grande lunette de 66 cm du US Naval Observatory.²

Les calculs antérieurs donnaient une discordance entre la masse de la naine blanche calculée par le redshift gravitationnel et celle déduite de l'astrométrie. Les nouvelles données ont permis de préciser les paramètres de l'orbite et il y a maintenant un bon accord entre les deux types de détermination.

La période de l'orbite s'établit à $230,29 \pm 0,68$ années, soit 20 de moins que la valeur précédemment admise. La masse de la naine blanche est de $0,573 \pm 0,018$ fois celle du Soleil, soit 0,15 de plus que ce que l'on pensait, et proche de celle obtenue par le redshift gravitationnel. Il n'est donc pas nécessaire d'invoquer des phénomènes physiques exotiques pour expliquer un écart de masse. Il est clair que l'impatience des astronomes les avait conduits à estimer ces paramètres trop tôt, sur un arc trop court de l'orbite.

1 Sirius B est plus brillante et plus proche de nous (8,6 années-lumière) mais la proximité de Sirius (alpha Canis Majoris) rend son observation très difficile, même lorsque la séparation angulaire est la plus grande (ce qui est le cas actuellement, voir figure p. 559). Curieusement Procyon, l'étoile alpha de l'autre Chien est également accompagnée d'une naine blanche, Procyon B, encore plus difficile à observer que Sirius B.

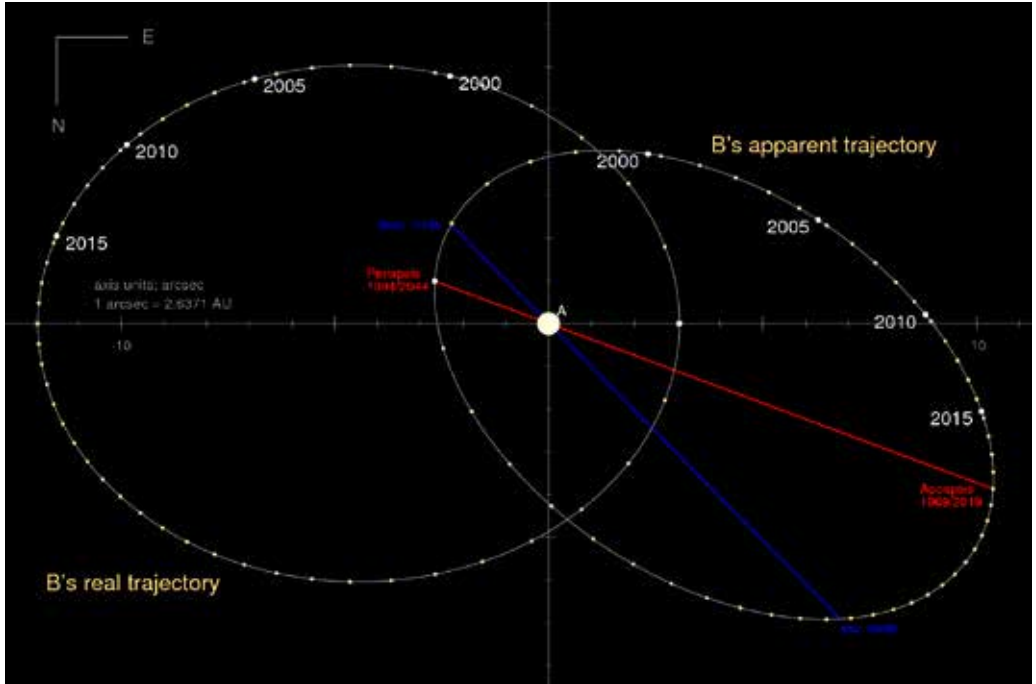
2 Ce vénérable équatorial date de 1873. Son objectif a été utilisé en 1877 par Asaph Hall pour découvrir les lunes de Mars, Phobos et Deimos. Remonté à son site actuel en 1893, le télescope a été utilisé depuis pour mesurer les étoiles doubles.



L'orbite nouvellement déterminée de 40 Eri BC est représentée avec toutes les mesures astrométriques : les mesures micrométriques sont indiquées par des croix vertes, les mesures photographiques par des astérisques pourpres, les mesures en optique adaptative par des disques bleus, les mesures CCD par des triangles pourpres et les nouvelles mesures speckle par des étoiles bleues. La ligne droite en traits interrompus est la ligne des nœuds, tandis que l'ellipse en tirets est l'ancien calcul de l'orbite.

L'échelle est donnée en secondes d'arc.

(U.S. Naval Observatory)



*Orbite de la naine blanche
Sirius B autour de A vue de
la Terre (ellipse inclinée).
L'autre ellipse montre
l'orbite réelle si elle était vue
de face.
(Wikipedia)*

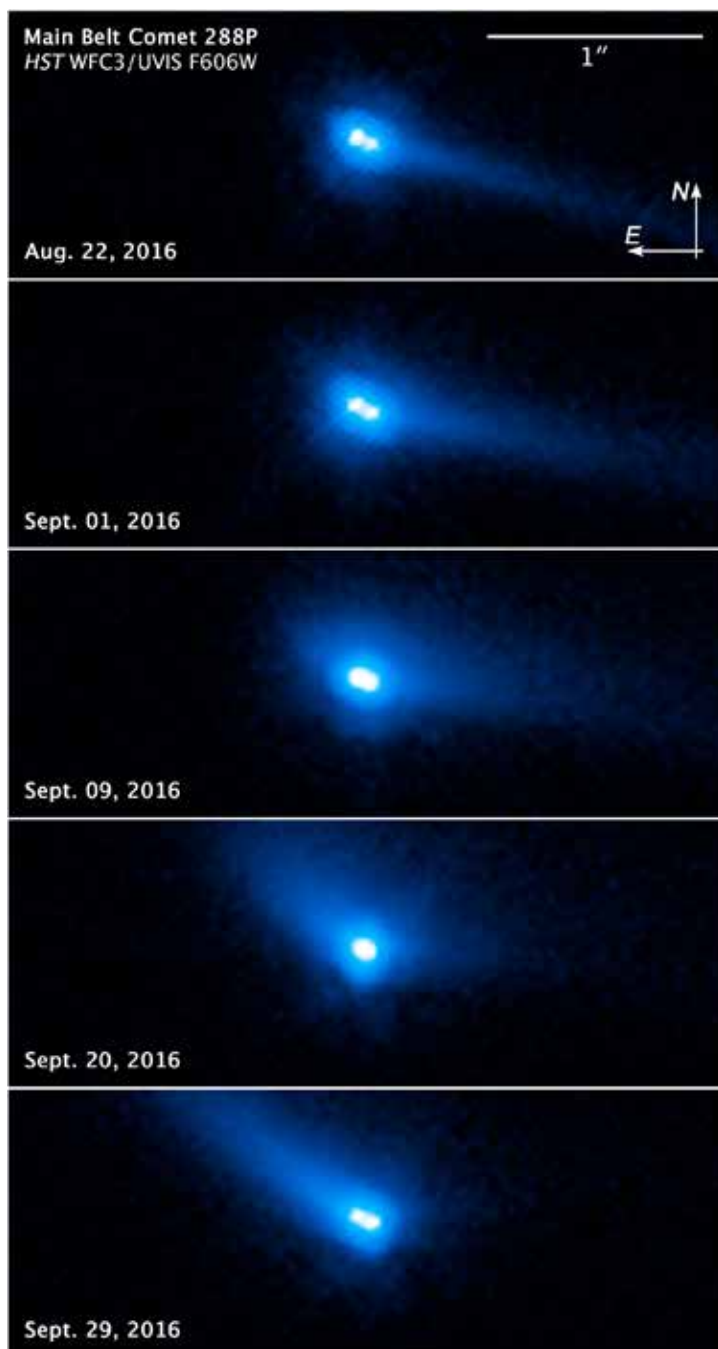
L'astéroïde 2006 VW139/288P

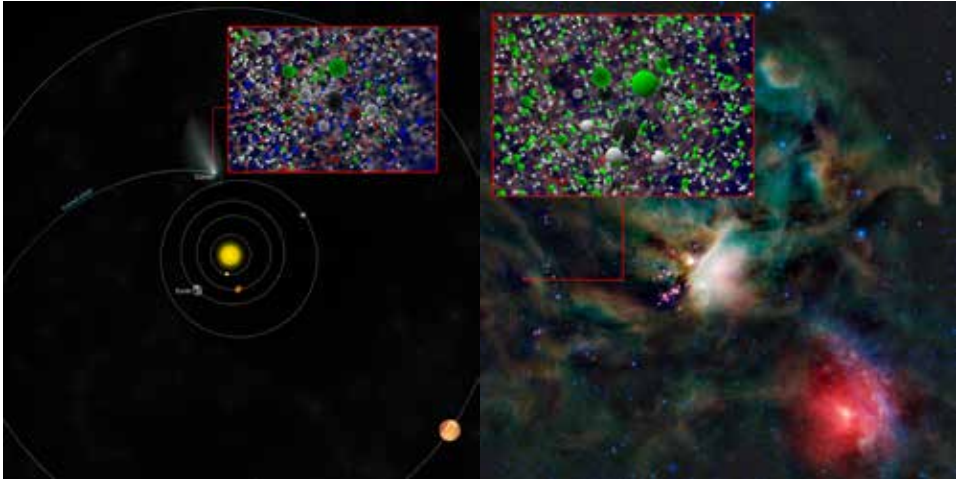
Les astronomes classent les petits corps du Système solaire selon leur position et leurs propriétés physiques. Les comètes sont des assemblages plus ou moins lâches de glaces et de poussières qui viennent de loin et forment une queue de gaz et de poussières en s'approchant du Soleil. Les astéroïdes sont rocheux ou métalliques et tournent entre Mars et Jupiter.

On sait que ce clivage est un peu simpliste et le télescope spatial Hubble en a administré une nouvelle preuve en photographiant un astéroïde double présentant une queue de poussière.

Cet objet curieux, 2006 VW139/288P, est ainsi le premier astéroïde binaire à être en même temps reconnu comme MBC (Main Belt Comet), c'est-à-dire comme comète de la ceinture principale.

On pense qu'il y a environ 5 000 ans, l'objet qui était alors simple, s'est brisé sous l'effet d'une rotation trop rapide.





Fréon cosmique

Basé sur un communiqué ESO

Des observations effectuées au moyen du grand réseau de l'Atacama (ALMA) et de la sonde Rosetta de l'ESA, ont révélé la présence de Fréon 40, un organohalogène, au sein du gaz qui environne une jeune étoile ainsi qu'une comète. Sur Terre, les organohalogènes résultent de processus organiques. C'est la première fois qu'ils font l'objet d'une détection dans l'espace interstellaire. Cette découverte invite à penser que les organohalogènes ne sont peut-être pas d'aussi bons marqueurs de la vie qu'espéré, mais qu'ils sont sans doute des composants essentiels de la matière à partir de laquelle les planètes se forment. Ce résultat souligne le défi que constitue la découverte de molécules susceptibles d'indiquer la présence de vie au-delà de la Terre.

Grâce aux données d'ALMA au Chili et de l'instrument ROSINA à bord de la sonde Rosetta, on a pu découvrir de faibles traces de Fréon-40 (CH_3Cl , chlorure de méthyle ou chlorométhane) autour du système stellaire en formation IRAS 16293-2422 situé à quelque 400 années-lumière de la Terre dans le complexe de rho Ophiuchi, ainsi qu'au sein de la célèbre comète 67P/Churyumov-Gerasimenko (67P/C-G) dans le Système solaire. Cette nouvelle observation d'ALMA constitue la

L'organohalogène chlorure de méthyle (Fréon-40) a été découvert par ALMA autour de la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko et de l'étoile jeune IRAS 16293-2422.
(B. Saxton/NRAO/AUI/NSF; NASA/JPL-Caltech/UCLA)

toute première détection d'un organohalogène dans l'espace interstellaire. Les données utilisées sont issues du sondage PILS (ALMA Protostellar Interferometric Line Survey) dont l'objectif est de cartographier la complexité chimique de IRAS 16293-2422 en l'imageant sur la gamme de longueurs d'onde couvertes par ALMA dans la fenêtre atmosphérique de 0,8 mm et à très petite échelle, de l'ordre de la taille du Système solaire.

Les organohalogènes se composent d'halogènes, tels que le chlore et le fluor, liés au carbone et parfois même à d'autres éléments. Sur Terre, ces composés résultent de divers processus biologiques – au sein d'organismes allant de l'homme aux champignons – ainsi que de processus industriels tels que la production de colorants et de médicaments. Le fréon fut massivement utilisé comme réfrigérant. Son effet destructeur sur la couche d'ozone protectrice de la Terre a conduit à interdire son utilisation.



*Cette vue étendue montre de spectaculaires nuages sombres et brillants de la zone de formation stellaire de rho Ophiuchi où se situe IRAS 16293-2422, dans la constellation du Serpenteire. Cette image a été constituée à partir de clichés issus du Digitized Sky Survey 2.
(ESO/Digitized Sky Survey 2 ; Davide De Martin)*

La récente découverte de l'un de ces composés, le Fréon-40, en des lieux antérieurs à l'origine de la vie, pourrait s'avérer décevante, des travaux antérieurs ayant suggéré que la présence de ces molécules pourrait indiquer la présence de vie.

La découverte de l'organohalogène Fréon-40 à proximité de ces jeunes étoiles de type Soleil constitua une véritable surprise. On n'avait tout simplement pas envisagé sa formation, et encore moins d'en trouver en si grande quantité. Il apparaît clair à présent que ces molécules se constituent facilement au sein des cocons stellaires, offrant ainsi un aperçu de l'évolution chimique des systèmes planétaires, le nôtre y compris.

L'étude des exoplanètes a désormais dépassé le simple stade de la quête de planètes – plus de 3 000 exoplanètes sont déjà connues – pour se focaliser sur la recherche de marqueurs chimiques censés indiquer la présence potentielle de vie. La détermination des molécules annonciatrices de vie constitue une étape cruciale mais l'établissement de la liste de marqueurs fiables demeure un processus délicat.

La découverte d'organohalogènes par ALMA dans le milieu interstellaire nous renseigne par ailleurs sur les conditions initiales de la chimie organique planétaire. La connaissance de cette chimie constitue une étape importante vers la compréhension des origines de la vie. Cette découverte suggère que les organohalogènes figurent probablement parmi les composants de la soupe primordiale tant sur la Terre jeune que sur les exoplanètes rocheuses naissantes.

Ces éléments invitent à penser que les astronomes ont peut-être fait fausse route ; plutôt que d'indiquer la présence d'une vie existante, les organohalogènes pourraient constituer un élément de compréhension de la chimie impliquée dans l'origine de la vie.

Ce résultat témoigne de la capacité d'ALMA à détecter des molécules présentant un intérêt astrobiologique dans l'environnement de jeunes étoiles et aux échelles où les planètes pourraient se former. Grâce à ALMA, nous avons dans un premier temps découvert

de simples sucres ainsi que les précurseurs d'acides aminés autour de diverses étoiles. La récente découverte de Fréon-40 autour de la comète 67P/C-G renforce le lien entre la chimie prébiotique des protoétoiles distantes et le Système solaire.

En outre, les astronomes ont comparé les quantités relatives de Fréon-40 qui contiennent différents isotopes de carbone dans le Système solaire jeune et la comète, et ils ont découvert des abondances semblables. Ce résultat renforce l'hypothèse selon laquelle un jeune système planétaire peut hériter de la composition chimique du cocon stellaire dont il est issu et suggère la possibilité que les organohalogènes puissent être acheminés sur les protoplanètes en cours de formation ou via des impacts cométaires.

Tempête de neige sur Mars !

Basé sur un communiqué CNRS/INSU

Il neige la nuit sur Mars et les chutes de neige sont particulièrement rapides, associées à de violentes tempêtes. L'identification de ce nouveau phénomène permet d'expliquer d'énigmatiques observations de la planète Mars, depuis l'orbite et le sol, et donne une nouvelle vision, bien plus dynamique, des nuages d'eau sur cette planète. Sur Mars comme sur Terre, des nuages d'eau apparaissent dans l'atmosphère. Les nuages martiens se forment par condensation de la vapeur d'eau atmosphérique en de petites particules de glace. Ces nuages sont une composante essentielle du climat de Mars car ils influencent le transport de vapeur d'eau à grande échelle et la forte variation saisonnière des dépôts de glace dans les régions polaires.

Sur Terre, les nuages d'eau sont très fréquemment associés à des tempêtes convectives et des précipitations d'eau et de neige. Sur Mars, il n'en est rien : les nuages martiens ne donnent pas naissance à des mouvements convectifs de l'atmosphère et les précipitations de neige se limitent à une lente sédimentation des particules de glace d'eau depuis le nuage. Du moins le pensait-on avant la parution de la nouvelle étude.

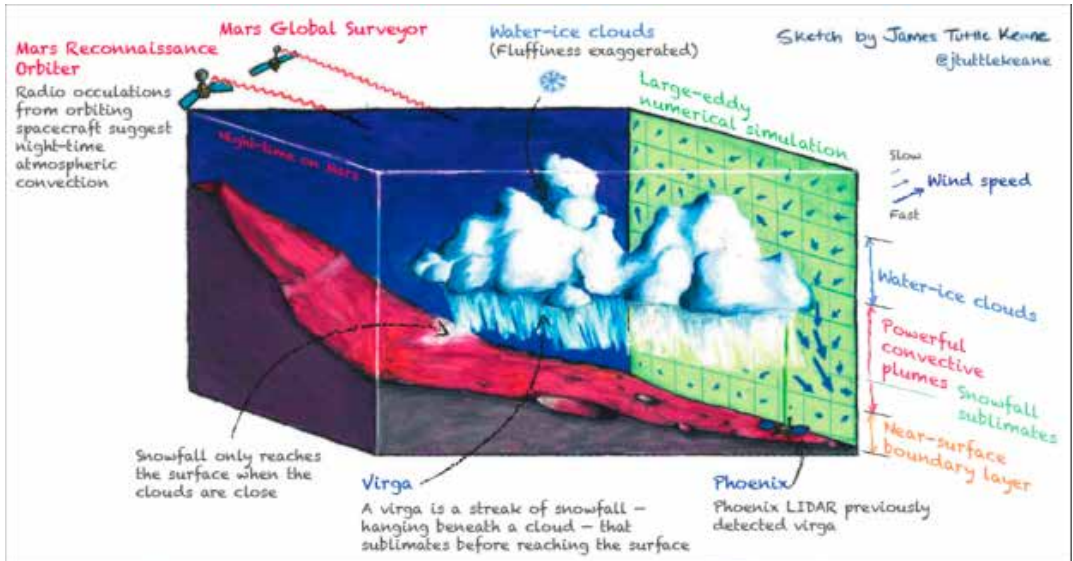
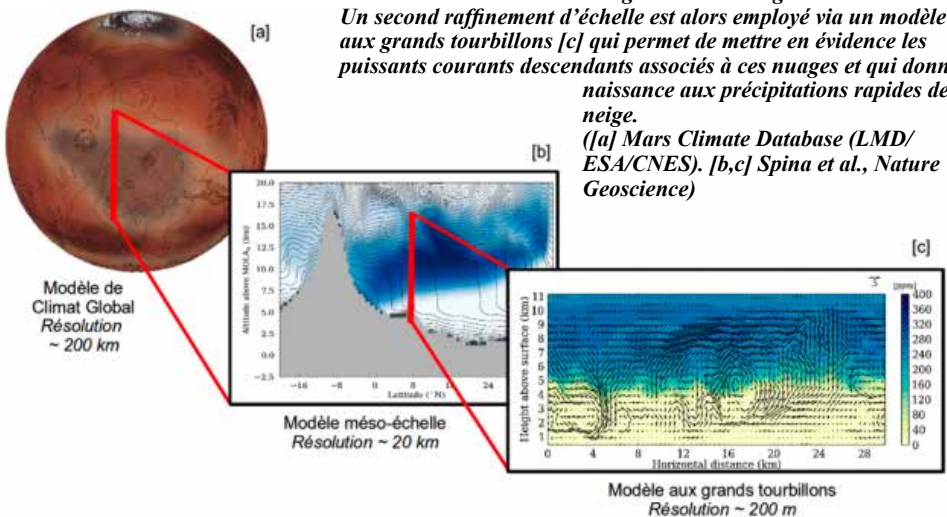
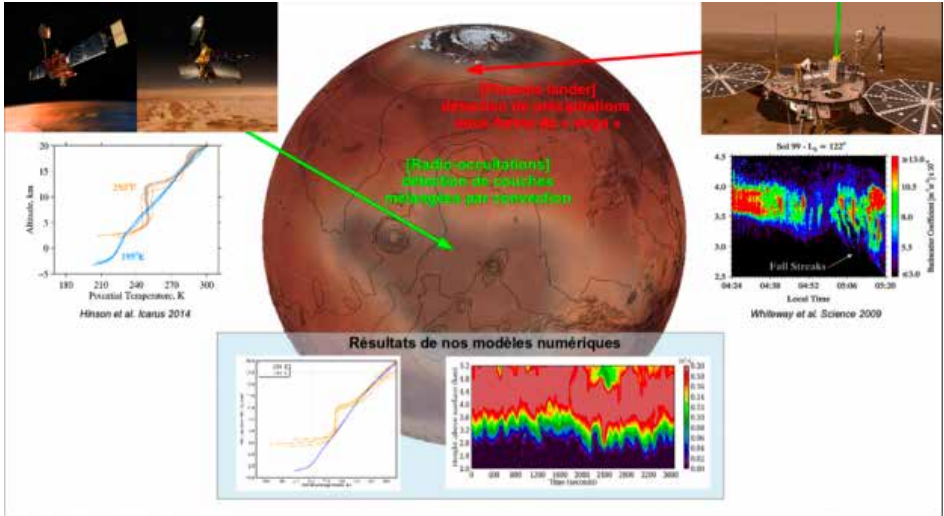


Schéma récapitulatif.
(News & views, Nature Geoscience, James Tuttle Keane.)

Figure 1 : Description de la hiérarchie des outils de modélisation employés dans l'étude. La couverture nuageuse nocturne sur Mars est prédite par un modèle de climat global [a], avant d'être raffinée par un modèle régional dit méso-échelle [b] qui permet de mettre en évidence les couches de mélanges sous les nuages d'eau martiens. Un second raffinement d'échelle est alors employé via un modèle aux grands tourbillons [c] qui permet de mettre en évidence les puissants courants descendants associés à ces nuages et qui donnent naissance aux précipitations rapides de neige.
([a] Mars Climate Database (LMD/ESA/CNES). [b,c] Spina et al., Nature Geoscience)





À gauche, dans les nuages de glace d'eau des régions équatoriales, les orbiteurs MGS et MRO ont révélé des couches de mélanges nocturnes dans la basse atmosphère de Mars, traduisant l'existence de puissants mouvements de convection.

À droite, le sondeur LIDAR à bord de Phœnix a découvert sous les nuages des régions polaires des structures de précipitation appelées virga.

(NASA, Mars Climate Database (LMD/ESA/CNES), Hinson et al. Icarus 2014, Whiteway et al. Science 2009, JPL-Caltech/University of Arizona/Canadian Space Agency, Nature Geoscience)

Les chercheurs ont démontré, par une série de simulations numériques explorant l'atmosphère de Mars à des échelles spatiales inédites, que chaque nuit sur Mars des tempêtes de neige convectives font rage dans certaines régions. La découverte de ce phénomène permet d'expliquer pour la première fois deux mystérieuses observations obtenues par des missions spatiales récentes : des couches mélangées nocturnes, révélées par radio-occultations depuis l'orbite, et des précipitations sous les nuages de glace d'eau, révélées par sondage atmosphérique via un laser embarqué sur l'atterrisseur Phoenix.

Comment ces tempêtes de neige se déclenchent-elles ? Ce sont des phénomènes nocturnes qui résultent de la déstabilisation de l'atmosphère causée par le refroidissement par émission de rayonnement infrarouge des particules de glace d'eau. Il s'ensuit de puissants mouvements convectifs au sein du nuage et en

dessous, insoupçonnés avant cette étude détaillée. Les particules de glace d'eau qui forment le nuage sont transportées dans les courants descendants, ce qui leur permet de précipiter à toute vitesse, formant les virgas détectées par la sonde Phœnix et observées également sur Terre.

La découverte de tempêtes de neige sur Mars est importante pour la compréhension du climat de Mars, et pour sa future exploration robotique et humaine. En effet, ces tempêtes locales mélangent fortement l'eau dans l'atmosphère de Mars, et leur impact n'est pas pris en compte dans les modèles de climat martien existants. Les implications des travaux des chercheurs s'étendent même au passé récent de Mars, lorsque les conditions de forte obliquité de la planète ont donné lieu à un cycle de l'eau plus intense et à un déplacement des grands glaciers des pôles vers les tropiques.



Oxyde de titane sur WASP-19b

Basé sur un communiqué ESO

L'exoplanète WASP-19b est dotée d'une masse semblable à celle de Jupiter. Elle est si proche de son étoile hôte que sa période de révolution n'est que de 19 heures et que la température de son atmosphère avoisine les 2 000 degrés Celsius.

Lorsque WASP-19b transite devant l'étoile, une fraction de la lumière stellaire traverse l'atmosphère planétaire, lui donnant une subtile signature parvenant finalement à la Terre. Grâce à l'instrument FORS2 qui équipe le Very Large Telescope, on a pu analyser avec soin cette lumière et déduire la présence dans l'atmosphère de faibles quantités d'oxyde de titane, d'eau et de traces de sodium, ainsi que d'une brume particulièrement diffusante.

La détection de telles molécules n'est pas une mince affaire. Non seulement faut-il des données d'une exceptionnelle qualité, mais leur analyse est très délicate. Pour ce faire les astronomes ont utilisé un algorithme capable

***Vue d'artiste de WASP-19b.
(ESO/M. Kornmesser)***

d'explorer plusieurs millions de spectres couvrant une large gamme de compositions chimiques, de températures, ainsi que les propriétés des nuages et de la brume.

Les astronomes ont collecté des données d'observation de WASP-19b sur plus d'un an. La mesure des variations relatives du rayon planétaire à différentes longueurs d'onde de la lumière traversant l'atmosphère de l'exoplanète, puis la comparaison des observations aux modèles atmosphériques, leur ont permis de déduire diverses propriétés de l'atmosphère exoplanétaire, parmi lesquelles figure la composition chimique.

L'oxyde de titane est rare sur Terre. Il est présent en revanche dans l'atmosphère d'étoiles froides. Dans les atmosphères de planètes chaudes telle WASP-19b, il se com-

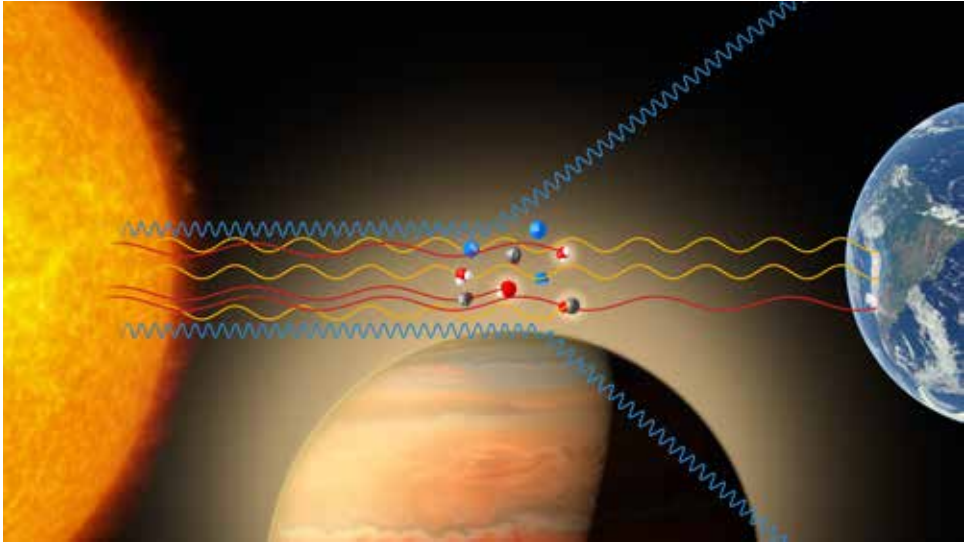


Schéma illustrant l'effet de l'oxyde de titane sur la lumière de l'étoile Wasp-19 lorsqu'elle traverse l'atmosphère de sa planète. (ESO/M. Kornmesser)

porte en absorbeur de chaleur. En quantité suffisante, ces molécules empêchent la chaleur de pénétrer ou de s'échapper de l'atmosphère, produisant ainsi une inversion thermique – la température de la haute atmosphère est supérieure à celle de la basse atmosphère, ce qui constitue une situation inverse de la normale. L'ozone joue un rôle similaire au sein de l'atmosphère de la Terre, l'inversion se produisant au niveau de la stratosphère.

La présence d'oxyde de titane dans l'atmosphère de WASP-19b peut avoir des effets considérables sur le gradient de température ainsi que la circulation atmosphérique.

La découverte de la présence d'oxydes métalliques tel que l'oxyde de titane et d'autres substances, permettra de mieux modéliser les atmosphères exoplanétaires. À l'avenir, lorsque les astronomes seront capables d'observer les atmosphères de planètes potentiellement habitables, les modèles auront suffisamment gagné en précision pour leur permettre de correctement interpréter ces observations.

La matière organique des comètes

Basé sur un communiqué CNRS/INSU

Terminée en septembre 2016, la mission Rosetta de l'ESA a révélé que la matière organique représente près de 40 % de la masse du noyau de la comète 67P Churyumov-Gerasimenko. Composée de molécules à base de carbone, d'hydrogène, d'azote et d'oxygène, elle constitue l'une des briques de base de la vie telle que nous la connaissons sur Terre. Or cette matière organique trouvée en masse n'aurait pas été fabriquée au moment de la formation du Système solaire, mais bien avant, dans le milieu interstellaire. C'est ce qu'avancent deux chercheurs. Une bonne par-

tie de cette matière organique cométaire serait même déjà bien connue des astronomes.

Voilà 70 ans que l'analyse du spectre de la lumière des étoiles montre partout dans le milieu interstellaire des absorptions inconnues, à des longueurs d'ondes bien précises : les « Diffuse interstellar bands » (DIB), attribuées à des molécules organiques complexes, qui constitueraient même, selon certains, le plus grand réservoir connu de matière organique dans l'Univers. Cette matière organique interstellaire se trouve généralement dans une même proportion par rapport à la matière interstellaire dans son ensemble, sauf dans le cas d'un nuage très dense, comme une nébuleuse proto-solaire : au cœur de la nébuleuse, où la matière est encore plus dense, les DIB plafonnent, voire diminuent. C'est le signe que les molécules organiques qui provoquent les DIB disparaissent, par agglutination les unes aux autres. Une fois collées ensemble, elles ne peuvent plus absorber autant que lorsqu'elles flottent librement dans l'espace.

Ce type de nébuleuse primitive finit par former, par contraction, un système planétaire comme le nôtre, composé de planètes... et de comètes. Or, on sait depuis la mission Rosetta que les noyaux de comètes se sont formés par accréation hiérarchique dans la nébuleuse : les petits grains se sont collés les uns aux autres pour former des grains plus gros, lesquels

se sont agglomérés à leur tour jusqu'à atteindre la taille d'un noyau de comète, de quelques kilomètres. Un processus non violent.

Les molécules organiques provoquant les DIBs et préexistantes dans les nébuleuses primitives n'ont donc probablement pas été détruites mais ont pu faire partie des grains constituant les noyaux cométaires, où elles sont toujours 4,6 milliards d'années plus tard. Une mission spatiale de retour d'échantillon, qui permettrait d'analyser en laboratoire la matière organique d'une comète, révélerait enfin la nature exacte de cette mystérieuse matière interstellaire responsable des absorptions relevées vers les étoiles.

Si la matière organique des comètes a bel et bien été fabriquée dans le milieu interstellaire, et si elle a pu jouer un rôle dans l'émergence de la vie sur la Terre comme les scientifiques l'imaginent aujourd'hui, alors elle a pu également atteindre un grand nombre d'autres planètes de l'Univers et, pourquoi pas, y engendrer également la vie.

***Le noyau de la comète
67P observé par la sonde
européenne Rosetta.
(ESA/Rosetta/MPS for
OSIRIS Team, MPS/UPD/
LAM/IAA/SSO/INTA/
UPM/DASP/IDA)***



Chondrites carbonées

Basé sur un communiqué CNRS/INSU

Les chondrites carbonées de type Vigarano (CV) possédant une aimantation rémanente, les modèles les plus récents s'accordent pour interpréter ces météorites comme provenant de la croûte non fondue d'un corps primitif différencié ; la désintégration de l'Aluminium-26 assurant la source de chaleur interne, et les différents degrés de métamorphisme et d'oxydo-réduction enregistrés par ces météorites indiquent une croûte stratifiée se refroidissant par le haut par conduction.

Une nouvelle étude thermodynamique des phases secondaires riches en calcium et en fer des principales chondrites carbonées remet en question à la fois la classification historique des chondrites carbonées et la stratification crustale de leur corps parent.

Par un travail d'inventaire conséquent sur la minéralogie de ces phases secondaires, les chercheurs mettent en évidence la présence de phases stables dans des conditions de très faibles activités de silice. La modélisation thermodynamique incluant, pour la première fois, l'effet de l'activité de la silice, leur a permis de définir les gammes de température et les conditions d'oxydoréduction de stabilité de ces minéraux. En démontrant que ces phases sont toutes stables dans des conditions uniquement réductrices, les auteurs montrent tout d'abord que la classification traditionnelle entre chondrites carbonées oxydées ou réduites n'a plus lieu d'être. Deuxièmement, que ces phases sont vraisemblablement le résultat de la précipitation à partir d'un fluide de faible

activité de silice et réducteur (rapport H_2/H_2O , CO/CO_2 élevés) dans des gammes de température compatibles avec la préservation de la matière organique ou de sa maturation. Ces données sont par ailleurs en adéquation avec la présence limitée de serpentine dans ces météorites, témoin d'une faible altération aqueuse des olivines, constituant principal de la matrice des chondrites carbonées.

Avec ces nouveaux résultats, les auteurs proposent une alternative au modèle de stratification thermique du corps parent des chondrites carbonées de type CV. Ils montrent en effet que ces phases secondaires sont le résultat de l'interaction entre des fluides hydrothermaux réducteurs, vraisemblablement supercritiques, et percolant à petite échelle, et un corps primitif carboné plus ou moins homogène. Reste maintenant à mieux cerner la composition de ces fluides, de comprendre comment ils ont pu se former, et les implications que l'on pourrait en tirer quant à la dynamique interne de ces corps parents primitifs, vieux, faut-il le rappeler, de près de 4 560 000 000 ans.

a) Modèles de formation des chondrites carbonées de type CV dans la « croûte » thermiquement stratifiée d'un corps parent et nouveau modèle proposé, dans lequel ces chondrites proviennent d'une croûte percolée par un fluide chaud réducteur.

b) Détail de la matrice de la chondrite Bali et d'une inclusion sombre dans la matrice d'Allende, montrant un abondance relativement élevée des minéraux secondaires (en rouge) et leur disposition qui peut être organisée autour des chondres et/ou selon des réseaux.

