

L'astronomie dans le monde

DDO 68

La galaxie DDO 68 (= UGC 5340) semblait avoir toutes les caractéristiques d'une galaxie primordiale, si ce n'est qu'elle est dans l'Univers proche. Des observations réalisées par le télescope spatial Hubble semblent toutefois révéler la présence d'étoiles vieilles. DDO 68 cacherait donc bien son âge.

Les vieilles galaxies ont eu le temps de grossir au fur et à mesure des collisions et fusions qu'elles ont subies. Elles sont peuplées d'étoiles de toutes sortes, petites et grandes,

jeunes et vieilles. Elles ont été enrichies en éléments lourds au travers des multiples générations d'étoiles qui se sont succédé, alors que les galaxies jeunes sont essentiellement composées des éléments produits directement par le Big Bang, hydrogène, un peu d'hélium, et des traces de lithium.

Une anomalie cosmique, la galaxie DDO 68, photographiée avec le télescope spatial Hubble. (NASA, ESA)



La distance des Pléiades

La distance des Pléiades posait une énigme depuis que le satellite Hipparcos, l'arpenteur du ciel, avait mesuré une valeur de 390 années-lumière, nettement plus petite que celle admise jusque-là (430 al). Cette différence, minime en apparence, conduisait à des difficultés théoriques insurmontables lorsque l'on essayait de modéliser les étoiles de l'amas. Cet amas jeune et proche est un véritable laboratoire cosmique pour les astronomes et sert de référence pour étudier les amas stellaires plus distants. Il est donc essentiel d'en bien comprendre les caractéristiques et la physique.

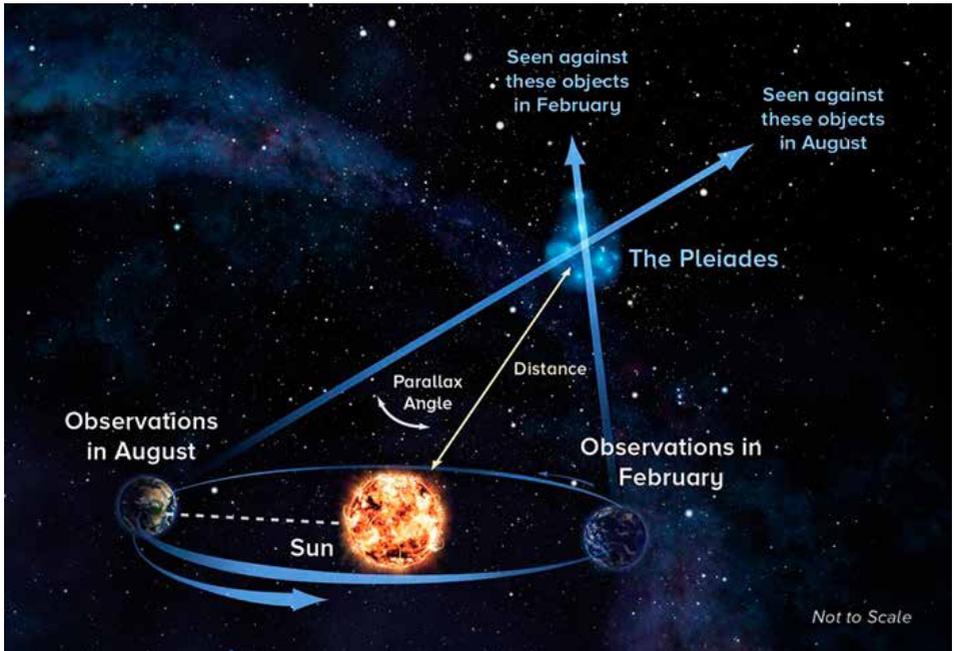
En combinant les données d'une série de radiotélescopes recueillies en 18 mois, les astronomes ont pu obtenir une parallaxe très précise conduisant à la valeur de 443 al (plus ou moins un pour cent), confirmant ainsi d'autres analyses, menées en 2004. Hipparcos aurait donc tort, mais on ne sait pas pourquoi.



*Les Pléiades.
NOAO/AURA/NSF*

On mesure la parallaxe en observant depuis des points opposés de l'orbite terrestre.

Alexandra Angelich, NRAO/AUI/NSF



La distance des Pléiades mesurée par diverses méthodes. Les barres d'erreurs représentées pour chaque méthode sont visiblement sous-estimées, en particulier celles d'Hipparcos. L'erreur adoptée pour la technique VLBI est certainement plus réaliste.

Carl Melis et al/Science

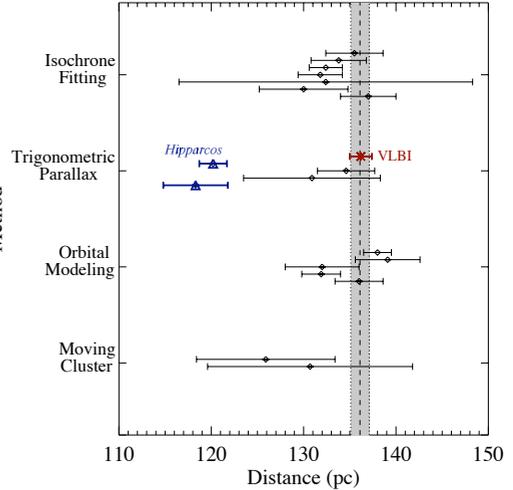
Il s'agira d'en découvrir la raison car le télescope spatial Gaia récemment lancé doit travailler sur les mêmes principes.

Le réseau interférométrique de radiotélescopes comprenait le Very Long Baseline Array (VLBA, lui-même un ensemble de 10 antennes allant d'Hawaii aux Îles Vierges), le radiotélescope Robert C. Byrd de Green Bank (West Virginia), le radiotélescope de 300 mètres d'Arecibo (Puerto Rico) et, tout près de chez nous, le radiotélescope d'Effelsberg. Ce système complexe donnait l'équivalent d'un télescope de la taille de la planète en ce qui concerne la résolution. Comme références, les astronomes ont utilisé des quasars, dont J0347+2339, situé non loin de la ligne de visée. Les quasars sont en effet des sources ponctuelles, extrêmement éloignées, et donc sans mouvement appréciable de parallaxe.

La rotation de M87

MUSE, un nouvel instrument installé sur le VLT de l'ESO, a permis de mesurer le mouvement global des étoiles dans la galaxie elliptique géante M87 (NGC4486). Il correspond à une lente rotation générale avec des vitesses moyennes de l'ordre de 10 à 20 km/s.

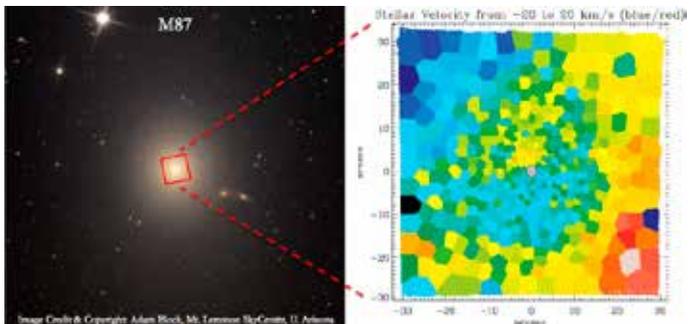
À la distance de cette galaxie, il n'est pas possible de mesurer les vitesses individuelles des



étoiles. Les mouvements képlériens dans le champ de gravité les entraînent à des vitesses de plusieurs centaines de km/s, tout comme le Soleil et ses voisins tournent dans la Voie lactée à plus de 200 km/s. Mais contrairement à ce qui se passe dans le disque de notre galaxie spirale, les étoiles de M87, une elliptique, ont des mouvements désordonnés. C'est donc une moyenne que l'on observe et les résultats de MUSE montrent qu'il y a une légère tendance dans un sens plutôt que l'autre. En regardant de près on voit même que cette tendance s'inverse à mi-distance du centre. L'intérieur semble donc tourner plutôt dans le sens inverse.

Carte des vitesses de la galaxie M87. Les régions bleues correspondent à des vitesses de rapprochement de 20 km/s, les rouges à des vitesses de récession de 20 km/s.

Adam Block, Mt. Lemmon SkyCenter, University of Arizona



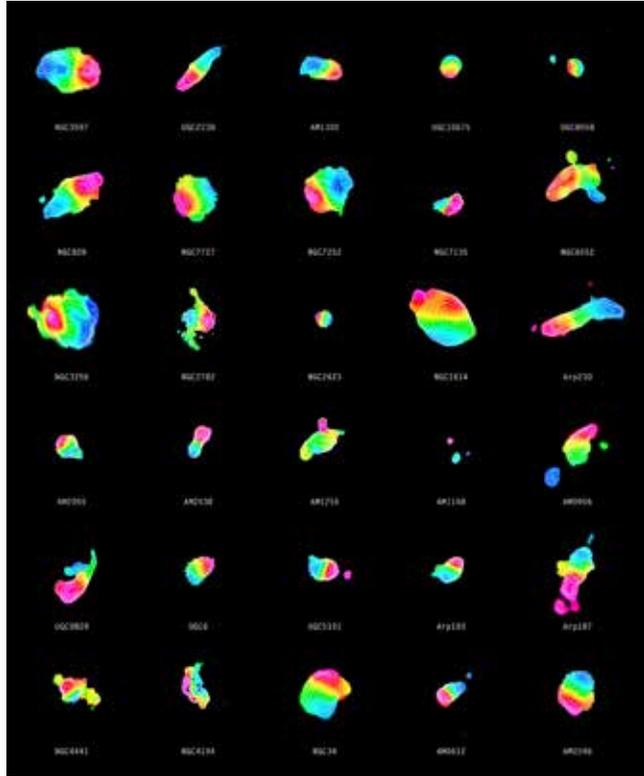
Galaxies disques

Basé sur un communiqué ESO

Au cours des violents processus de fusion et de cannibalisme réciproque, non seulement la masse, mais également l'aspect des galaxies varie, et cette lente évolution de leur forme s'accompagne d'un changement de type.

Des simulations informatiques réalisées depuis les années 1970 prévoient que la fusion de deux galaxies à disque se soldait par la formation d'une galaxie elliptique. Il s'ensuivait que la plupart des galaxies contemporaines devaient arborer une forme elliptique. Ce résultat théorique se heurtait toutefois aux observations : 70% des galaxies observées sont dotées d'un disque. Mais de plus récentes simulations suggèrent que les collisions galactiques pouvaient également donner lieu à la formation de galaxies à disque.

Afin de déterminer visuellement l'aspect final des galaxies résultant d'un processus de fusion, les astronomes ont étudié la distribution de gaz au sein de 37 galaxies achevant ce processus. Le réseau ALMA et de nombreux autres radiotélescopes¹ ont été utilisés pour observer l'émission de monoxyde de carbone (CO), un indicateur de présence de gaz moléculaire.



Chacun des objets colorés de cette image correspond à l'une des 30 galaxies en cours de fusion. Les contours des galaxies individuelles matérialisent la distribution de monoxyde de carbone ; les couleurs sont quant à elles relatives aux mouvements de gaz. En rouge, le gaz qui s'éloigne de nous ; en bleu, le gaz qui s'approche de nous. La combinaison de ces informations indique que le disque de gaz est en rotation autour du centre galactique. ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/SMA/CARMA/IRAM/J. Ueda et al.

¹ Ces données ont été acquises par ALMA ; le réseau de radiotélescopes dédié à la recherche en astronomie millimétrique : un réseau millimétrique situé en Californie et constitué de 23 antennes paraboliques ; le Réseau Submillimétrique, un ensemble de huit antennes paraboliques installées sur le Mauna Kea à Hawaï ; l'interféromètre du Plateau de Bure ; le radiotélescope de 45 mètres de l'Observatoire Radio de Nobeyama de la NOAJ ; le télescope de 12 mètres de l'Observatoire de RadioAstronomie National aux États-Unis ; le télescope de 14 mètres de l'Observatoire de RadioAstronomie des Cinq Collèges aux États-Unis ; le télescope de 30 mètres de l'IRAM ; et le Télescope Submillimétrique Suédois de l'ESO en complément.

Le travail de recherche dépasse, par son ampleur, toute étude antérieure de la distribution de gaz moléculaire au sein des galaxies. Il offre, en outre, un aperçu unique du processus de formation de la Voie lactée. Cette étude a ainsi révélé que la plupart des fusions se tra-

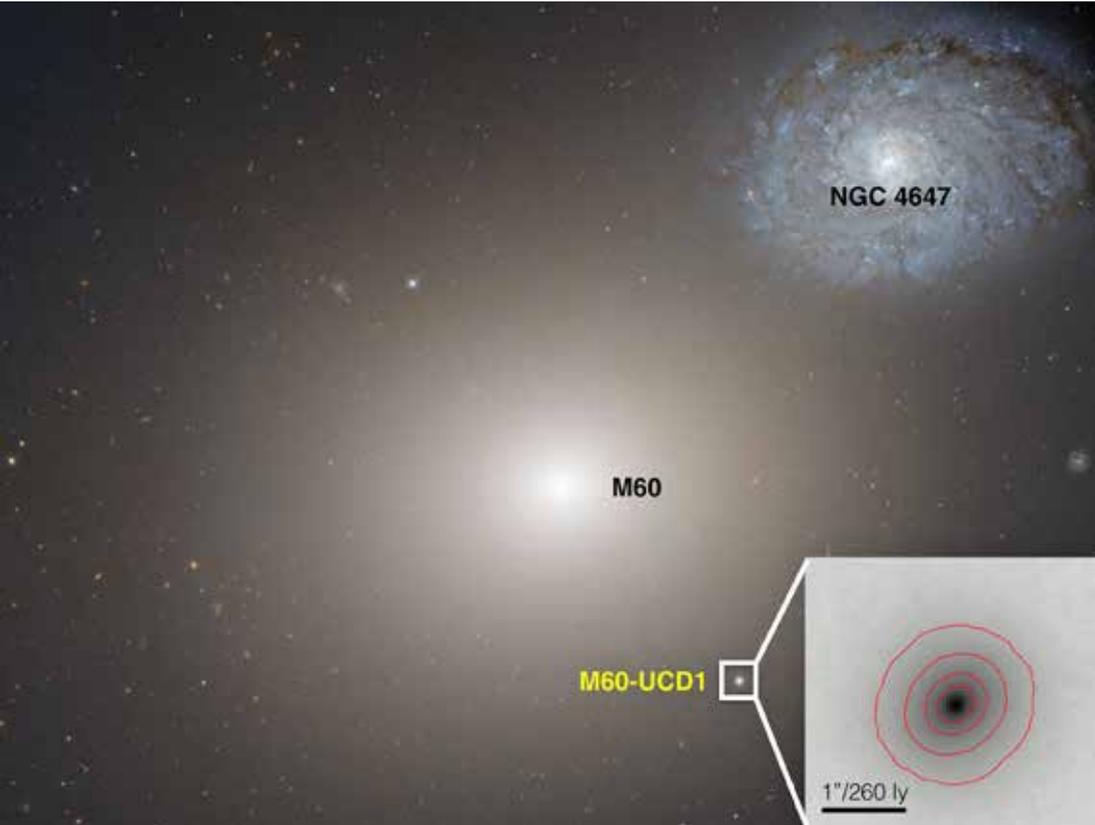
duisent par une distribution du gaz moléculaire en forme de crêpe, et donc par la formation de galaxies à disque. Ce résultat expliquerait l'abondance de galaxies spirales telles que la Voie lactée dans l'Univers.

Toutefois, il reste beaucoup à découvrir. Il faut maintenant se pencher sur la formation des étoiles au sein de ces disques de gaz. Il faut également scruter des tranches d'Univers plus lointaines. Nous savons que la majorité des galaxies de l'Univers distant sont également dotées de disques. En revanche, nous ne savons pas s'ils résultent de fusions de galaxies ou de la lente retombée du gaz froid. Peut-être a-t-on découvert un processus à l'œuvre depuis les débuts de l'Univers.

M60-UCD1

Les observations réalisées avec le télescope de 8 mètres Gemini North (Hawaii) et le télescope spatial Hubble révèlent la présence d'un trou noir de 21 millions de masses solaires au cœur de la galaxie M60-UCD1, ce qui fait de celle-ci la plus petite galaxie connue pour abriter un trou noir supermassif. Ces conclusions se basent sur la grande vitesse des

Cette image prise avec le télescope spatial Hubble Space montre la grande galaxie M60 au centre et sa voisine, la naine ultra-compacte M60-UCD1 en bas, à droite. Cette dernière contient un trou noir supermassif en son centre. En haut à droite on voit la galaxie NGC4647. NASA/Space Telescope Science Institute/ European Space Agency



étoiles tournant autour du centre de la galaxie et les lois de Kepler qui impliquent la présence d'une masse importante. On pourrait invoquer un amas stellaire massif, mais les photos à haute résolution montrent un noyau très concentré, trop petit pour un amas d'étoiles.

On ignore comment une galaxie aussi petite pourrait fabriquer un trou noir qui représente pas moins de 15% de sa masse. Par comparaison la Voie lactée, notre galaxie, contient un trou noir qui ne fait que 4 millions de fois la masse solaire, soit seulement 0,01 % de sa masse totale.

On pense qu'autrefois – il y a peut-être dix milliards d'années – M60-UCD1 était beaucoup plus grosse et avait pu former un trou noir central de grande masse. Les parties extérieures de la galaxie ont été arrachées par les forces de marée lors d'un passage près du centre de sa voisine, la grande galaxie elliptique M60, l'une des plus grosses de l'Univers local. Il ne subsista plus alors qu'un tout petit noyau compact muni d'un trou noir démesuré.

Le sort de M60-UCD1 est probablement scellé. On ne connaît pas l'orbite de la galaxie naine mais il est probable que tôt ou tard elle frappera le centre de sa gigantesque voisine. Le trou noir de M60 est absolument monstrueux ; il pèse plus de 4 milliards de masses solaires, soit mille fois plus que celui de la Voie lactée. Il n'aura aucune difficulté pour absorber celui de M60-UCD1.

La photo de la page précédente montre une autre galaxie proche de M60. Il s'agit de la spirale NGC4647. Loin d'être une naine, elle est 25 fois moins massive que M60 et fait pâle figure auprès d'elle. Elle subit aussi l'attraction de sa voisine et finira également par fusionner avec elle.

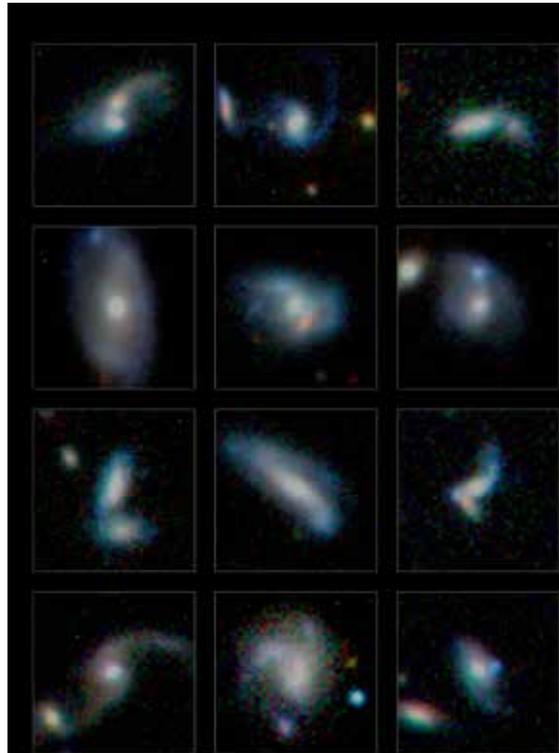
Une origine analogue est peut-être la norme pour les galaxies ultra-compactes et il est possible que beaucoup d'entre elles contiennent un trou noir supermassif.

*Quelques-unes des milliers de galaxies en train de fusionner et identifiées au cours du survey GAMA.
Pr. Simon Driver et Dr. Aaron Robotham, ICRAR.*

Galaxies géantes

Basé sur un communiqué NASA

L'analyse d'un échantillon de plus de 22 000 galaxies (le survey GAMA) prouve que les plus grosses galaxies sont beaucoup moins aptes à former de nouvelles étoiles que les petites et qu'elles grossissent en absorbant ces dernières – ce qui nous renvoie au sujet précédent et à M60.



Merging galaxies from the Galaxy and Mass Assembly (GAMA) Survey

Toutes les galaxies commencent petites et grossissent en convertissant le gaz en étoiles avec une grande efficacité. Parfois elles se font avaler par une plus grosse qu'elles ou en avalent une plus petite. Peu à peu l'efficacité du processus de formation stellaire diminue et il ne leur reste que le mécanisme de cannibalisation pour grossir. Peut-être est-ce l'influence du noyau galactique qui chauffe les nuages de gaz et les empêche de se contracter. La Voie lactée est arrivée à peu près à ce point de son évolution et l'on peut voir les restes de galaxies qu'elle a déjà dévorées. Dans quelques milliards d'années elle absorbera les Nuages de Magellan et la galaxie d'Andromède. Celle-ci étant plus grosse que notre galaxie, on dira plutôt que c'est elle qui nous mangera.

À terme, on peut imaginer que les amas de galaxies se réduiront à quelques géantes.

Le survey GAMA (Galaxy And Mass Assembly) utilise les télescopes spatiaux et au sol les plus modernes pour étudier la formation et l'évolution des galaxies et la cosmologie en général. Au cœur du projet il y a le survey spectroscopique de 300 000 galaxies dans un domaine de 290 degrés carrés réalisé avec le spectrographe multi-objet du télescope AAT (Anglo-Australian Telescope).

Source gamma

Les données récoltées par NuStar et d'autres observatoires spatiaux indiquent qu'un pulsar, PSR J1640-4631, alimente la source gamma de très haute puissance, HESS J1640-465.

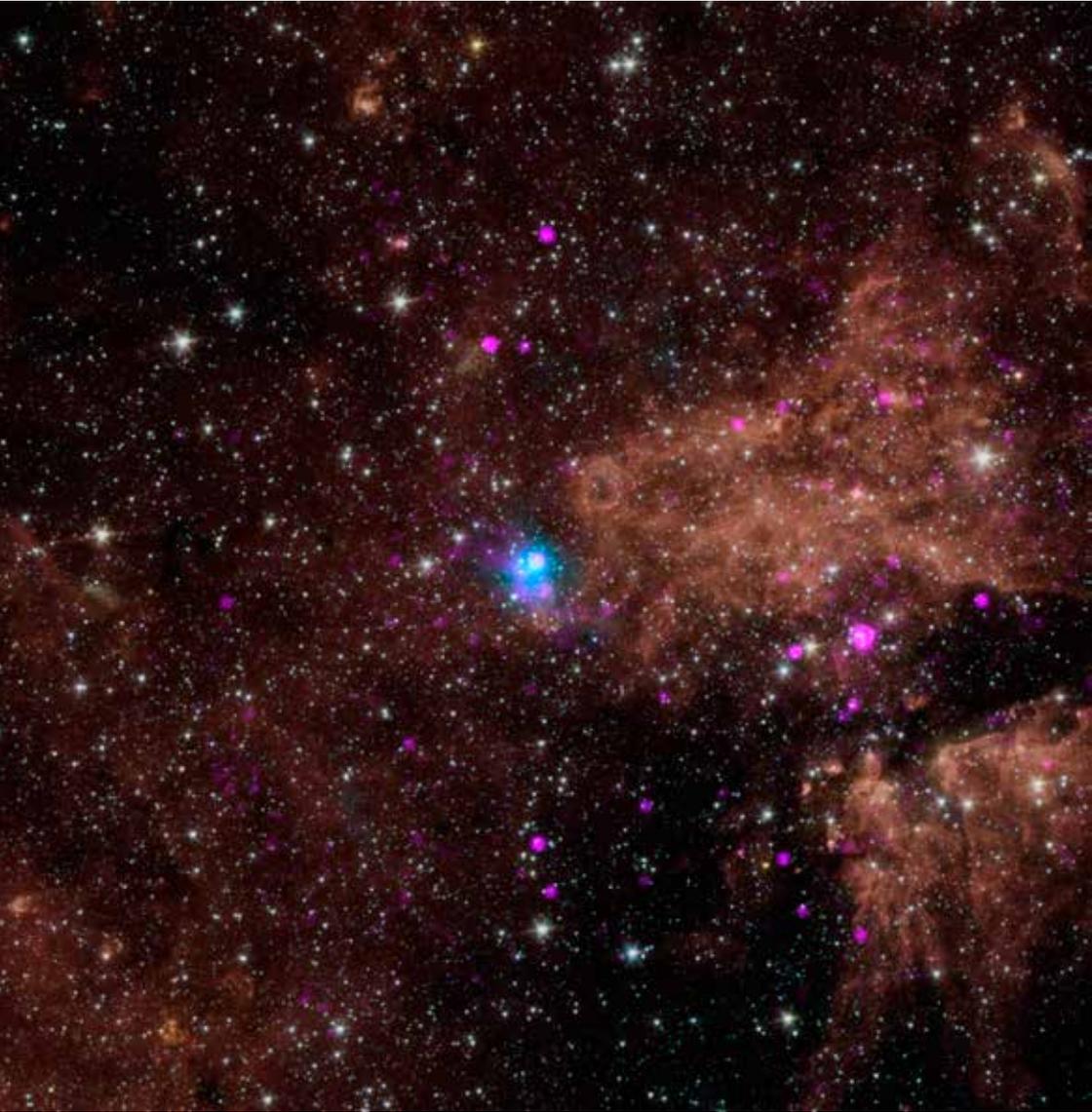
Notre galaxie retentit du frémissement de myriades d'anciennes supernovæ. En effet, lorsqu'une étoile massive explose, elle ne disparaît pas toujours mais peut émettre copieusement des rayons gamma de haute énergie. Comment expliquer cette énergie? L'observatoire spatial NuStar, (Nuclear Spectroscopic Telescope Array) a été lancé, entre autres raisons, pour tenter de résoudre ce problème. NuSTAR, grâce à ses yeux sensibles aux rayons X de haute énergie, a pu scruter une puissante source de rayons gamma et en a confirmé la nature : un pulsar, résidu de l'explosion d'une supernova. D'autres téles-

copies spatiaux comme Chandra et Fermi, et l'expérience HESS (High Energy Stereoscopic System) en Namibie, avaient déjà établi cette connexion pour d'autres sources mais ce cas-ci était particulièrement délicat en raison de la grande distance de l'objet. Les pulsars sont fréquemment à l'origine de ces rayons gamma, mais il peut y avoir d'autres sources comme l'enveloppe externe de restes de supernovæ, des binaires X, ou des régions de formation stellaire.

L'expérience HESS avait identifié plus de 80 sources gamma extraordinairement puissantes dans la Voie lactée. La plupart avaient pu être associées à d'anciennes supernovæ mais, pour beaucoup d'entre elles, la source des rayons gamma reste à découvrir.

La source gamma visée par la présente étude est HESS J1640-465, l'une des plus lumineuses. Les données des observatoires spatiaux X Chandra et XMM-Newton suggèrent bien que l'énergie provenait d'un pulsar mais des nuages interstellaires bloquaient la vue et rendaient l'interprétation hasardeuse. Grâce à son domaine d'énergie supérieur, NuSTAR pouvait pénétrer ces nuages de gaz. Il a pu enregistrer les pulsations rapides de la source avec une fréquence de 5 par seconde, confirmant ainsi sa nature, un pulsar que l'on baptisa PSR J1640-4631.

Comment un pulsar peut-il produire des photons de haute énergie? Ses puissants champs magnétiques engendrent des champs électriques qui accélèrent les particules chargées à des vitesses proches de celle de la lumière. Ces particules interagissent avec les champs magnétiques en émettant d'énergiques jets de photons X et gamma. La découverte du pulsar de HESS J1640-465 permet aux astronomes de tester ces théories. Les données de NuSTAR ont permis de mesurer le ralentissement de la fréquence du pulsar (environ 30 microsecondes par an), et même de voir comment ce ralentissement varie au cours du temps. NuSTAR permettra sans doute de découvrir d'autres pulsars cachés derrière de puissantes sources gamma et de faire progresser la connaissance de ces astres encore mystérieux.



*Le champ du pulsar PSR J1640-4631. Image composite des données NuSTAR (en bleu) couvrant le domaine des rayons X entre 3 et 79 keV (kilo-électron-volts) et des données Chandra (en rose) allant de 0,5 à 10 keV. En raison de la haute énergie de son rayonnement, le pulsar se voit comme un point bleu au centre de l'image. Il est situé à 42 000 années-lumière de nous. Il avait été repéré initialement comme une source intense de rayons gamma, HESS J1640-465. Le télescope spatial NuSTAR a permis de confirmer l'identification.
NASA/JPL-Caltech/SAO*

BICEP2

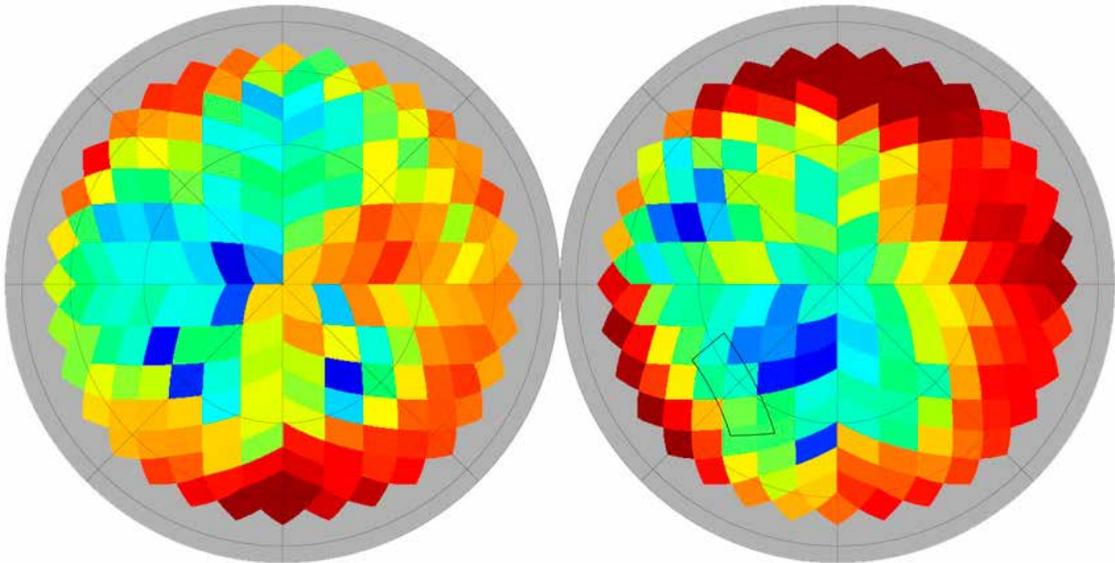
En mars, les astronomes annonçaient une importante découverte basée sur les données recueillies de 2010 à 2012 par le télescope BICEP2 (Background Imaging of Cosmic Extragalactic Polarization 2) situé au Pôle Sud (cf *Le Ciel*, mai 2014, 250). L'analyse du rayonnement de fond micro-onde (CMB) suggérait que l'on y voyait les ondes gravitationnelles se propageant dans le bébé-Univers. Ce résultat démontrait en même temps la réalité de l'explosion marquant le début du monde, le fameux Big Bang, et celle de la phase d'inflation initiale.

Dès l'annonce de cette découverte, des doutes étaient émis sur la façon dont des effets locaux, à l'échelle de notre galaxie, avaient été pris en compte. L'émission polarisée de poussières électrisées pouvait oblitérer le signal de fond et en fausser l'interprétation. Les scientifiques attendaient donc avec la plus grande impatience une confirmation ou une infirmation possible par d'autres télescopes, certains situés également au Pôle Sud. Ils attendaient surtout la publication des résultats de la mission spatiale Planck. Ces données, qui

sont maintenant publiées, couvrent tout le ciel au lieu de n'en observer qu'une toute petite partie. La carte de Planck ci-dessous montre que la zone observée par BICEP2 n'est pas la plus propre de la Galaxie, loin s'en faut. Si les astronomes de BICEP2 avaient choisi une zone du ciel différente, là où la carte de Planck est bien bleue, ils auraient eu nettement moins de contamination. Mais ils ne pouvaient pas le savoir.

Les signaux enregistrés dans l'Antarctique proviennent en grande partie, et peut-être en totalité, des poussières galactiques et non de l'Univers jeune.

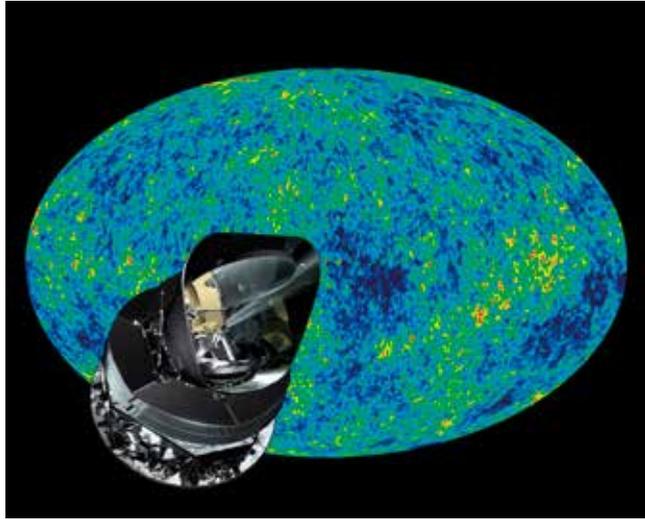
Cette carte des deux hémisphères galactiques est due au télescope spatial Planck. Elle montre la contamination par les poussières. Les zones rouges le long de l'équateur galactique sont les plus affectées, les bleues sont les plus propres. La petite région observée par BICEP2 est marquée d'un contour noir, sur l'hémisphère sud.
Planck Collaboration



***Le télescope spatial
Planck de l'ESA, sur fond
de CMB.
(ESA)***

Outre la limitation de leur échantillon à une petite zone céleste, l'équipe de BICEP2 avait optimisé la sensibilité de leur équipement en ciblant une seule fréquence, 150 GHz. Cette décision était sans doute malheureuse car, pour discriminer le fond cosmologique des autres sources, il est important d'avoir une idée de la répartition spectrale du rayonnement. Faute d'avoir cette information les chercheurs ont dû se contenter d'estimations faites par d'autres groupes, entre autres d'une présentation préliminaire faite par l'équipe de Planck.

Avec les données de Planck obtenues de 2009 à 2013 sur toute la sphère céleste, on peut maintenant mieux appréhender le problème des poussières et réaliser une meilleure analyse des données de BICEP2. Outre les observations menées à la fréquence de 353 GHz pour distinguer au mieux les poussières, les astronomes utilisent des mesures faites à



100, 143, et 217 GHz pour pouvoir interpoler et évaluer leur contribution à 150 GHz, la fréquence de BICEP2.

Après une ré-analyse soignée des données de l'Antarctique, peut-être subsistera-t-il encore un signal en provenance des ondes gravitationnelles, mais il sera certainement moins fort.



***Le télescope
BICEP2 au
Pôle Sud.
(National Science
Foundation)***

L'origine d'Uranus et Neptune

Basé sur des actualités du CNRS-INSU

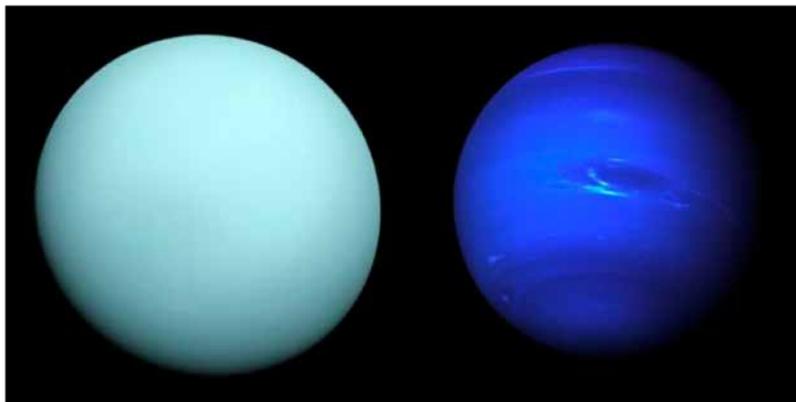
Uranus et Neptune sont les planètes les plus lointaines du Système solaire. Environ quinze fois plus massives que la Terre, elles sont composées jusqu'à 90% de glace et sont riches en carbone. En raison de leurs caractéristiques particulières, l'origine de ces planètes restait mystérieuse. Les observations du Système solaire externe et les modèles décrivant la formation de deux planètes ne permettaient pas d'expliquer comment elles se sont formées là où elles se trouvent aujourd'hui – une zone qui ne contenait pas assez de matériaux pour former Uranus et Neptune suffisamment vite avant la dissipation de la nébuleuse primordiale. Une fois la nébuleuse dissipée, il est en effet impossible pour les deux planètes de mettre en place leurs enveloppes gazeuses.

Récemment, l'observatoire spatial Herschel s'est intéressé à la composition isotopique d'Uranus et de Neptune et en particulier à la mesure du rapport isotopique D/H du deutérium (hydrogène lourd avec un neutron) sur l'hydrogène (normal, sans neutron). Le rapport D/H est un traceur utilisé en planétologie pour connaître l'origine des éléments ayant formé le Système solaire. Ce rapport isotopique est très sensible à la température de la nébuleuse primordiale : il est faible à des distances proches du Soleil et augmente à des distances plus élevées. Les modèles dynamiques suggèrent qu'Uranus et Neptune se sont formées dans la même zone lointaine que les comètes et devraient posséder un rapport D/H élevé.

Cependant, les mesures d'Herschel prouvent de manière surprenante que le rapport D/H dans les deux planètes est très inférieur à celui mesuré dans toutes les comètes.

Cette nouvelle étude résout tous ces problèmes à la fois. Le nouveau modèle proposé est basé sur des simulations détaillées de la distribution et du transport des éléments volatiles les plus abondants dans la nébuleuse primordiale (H_2O , CO et N_2). Ces simulations montrent la présence de pics de densité de solides dans des régions où la température de la nébuleuse devient suffisamment basse pour permettre à un élément gazeux de se condenser (les « lignes de glace »). Les résultats suggèrent qu'Uranus et Neptune se seraient formées au niveau de la ligne de glace du monoxyde de carbone (CO), ce qui expliquerait qu'elles soient constituées de solides riches en carbone mais appauvris en azote. L'accrétion de quantités importantes de CO avec une quantité faible de H_2O cométaire donne la valeur D/H mesurée dans l'atmosphère de ces planètes. De plus, comme la ligne de glace de l'azote se trouve légèrement plus loin, les planètes se sont alors naturellement formées appauvries en azote. Le modèle proposé fournit des abondances en carbone et en azote compatibles avec les observations, et permet d'établir que la formation d'Uranus et de Neptune s'est faite dans cette zone lointaine.

*Uranus et Neptune
vues par la mission
Voyager 2 de la
NASA.
© NASA*



HAT-P-11b

Basé sur un communiqué ESA

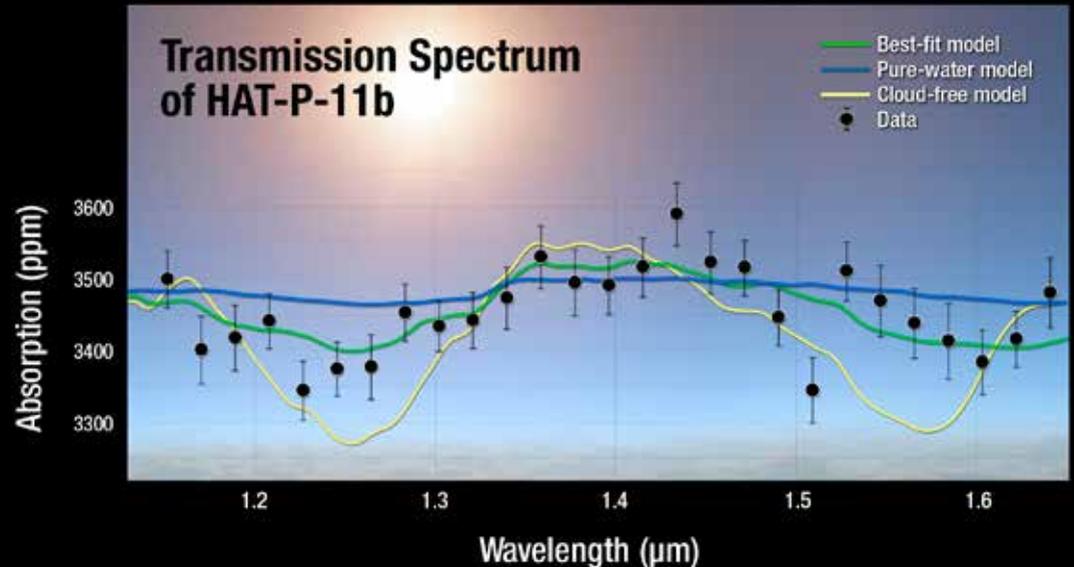
Il a fallu la combinaison des données des télescopes spatiaux Hubble, Spitzer et Kepler pour entrevoir le spectre de l'atmosphère de l'exoplanète HAT-P-11b, une exo-Neptune. C'est ainsi la plus petite exoplanète où l'on découvre de l'eau. Il s'y trouve aussi de l'hydrogène et, bonne nouvelle pour les observateurs, le ciel y est serein.

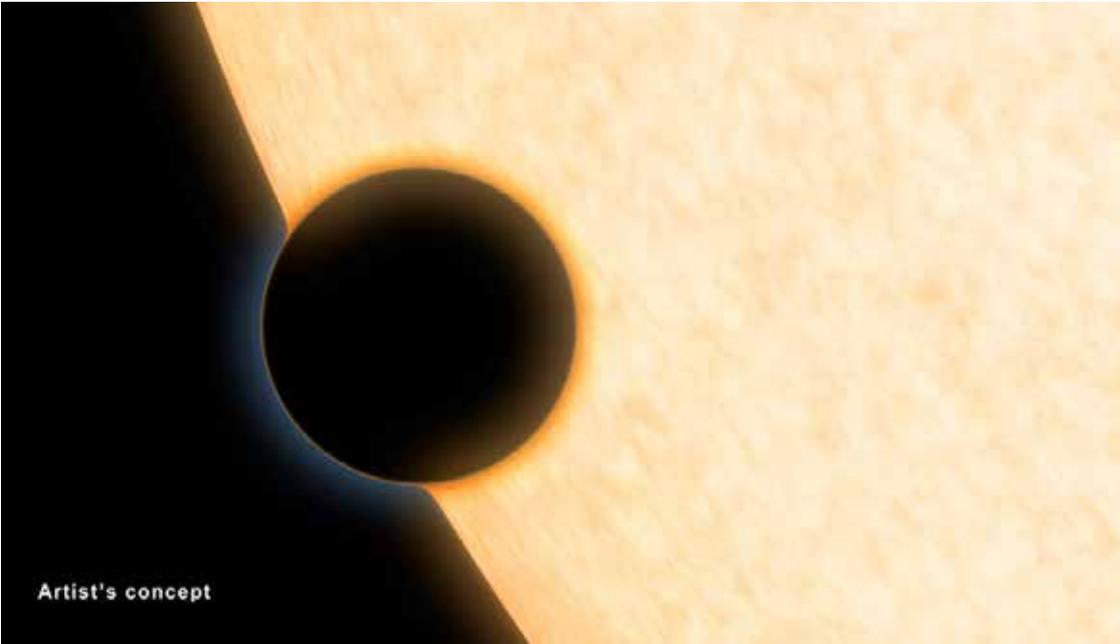
Cette découverte est une étape supplémentaire vers l'observation de molécules dans l'atmosphère de planètes comparables à la Terre. Les nuages des planètes empêchent de voir ce qu'il y a au-dessous. Si les petites exoplanètes pouvaient avoir un ciel aussi clair que HAT-P-11b, on aurait la possibilité d'étudier la composition moléculaire de leur atmosphère et en déduire l'évolution. Mais avant cette découverte, les petites planètes observées s'étaient révélées nuageuses.

HAT-P-11b est située à 120 années-lumière dans le Cygne. Elle tourne autour de l'étoile HAT-P-11 = GSC 03561-02092. La planète est connue également comme Kepler 3b, étant située dans un champ étudié par le télescope spatial Kepler. C'est cependant le réseau HATNet (Hungarian Automated Telescope Network) qui l'avait découverte en premier.

Contrairement à Neptune, la planète tourne très près de son étoile et en fait le tour en cinq jours. On pense qu'elle contient un noyau rocheux, un manteau fluide, ou de « glace », et une atmosphère épaisse. Jusqu'à présent la composition de celle-ci, comme celle des autres exo-Neptunes, était inconnue.

Spectre de transmission de l'exoplanète HAT-P-11b (points noirs), combinant des données des observatoires spatiaux Kepler, Hubble et Spitzer. On y a superposé des spectres théoriques avec et sans eau, ainsi que le meilleur ajustement correspondant à une atmosphère claire avec une proportion de vapeur d'eau. NASA/ESA/STScI





Artist's concept

Le spectre atmosphérique de HAT-P-11b a été obtenu avec la Wide Field Camera 3 du télescope spatial Hubble à l'occasion d'un transit de la planète devant l'étoile. La lumière de celle-ci porte les marques des molécules absorbantes de l'atmosphère. Les astronomes ont ainsi trouvé le signe de la vapeur d'eau et, par la même occasion, constaté l'absence d'épais nuages qui auraient empêché cette observation. Il fallait cependant vérifier une chose : que le spectre de la vapeur d'eau ne provenait pas de l'étoile. Elle aurait pu se trouver dans des taches stellaires froides. Des observations infrarouges du télescope spatial Spitzer et les données accumulées par Kepler pendant des années indiquaient que les taches étaient trop chaudes pour contenir de la vapeur d'eau.

Les résultats combinés des trois télescopes prouvent la présence d'eau et d'hydrogène (un gaz transparent). On pense que les exo-Neptunes existent en plusieurs variétés et que leur composition doit refléter le processus de leur formation. Il sera donc important de renouveler et d'affiner ce genre d'étude pour

Vue d'artiste d'une planète avec une atmosphère limpide, comme HAT-P-11b, passant devant son étoile. La lumière de l'étoile est partiellement absorbée par les divers composants gazeux.

Le bord bleu est dû à la lumière diffusée par l'atmosphère tandis que le liseré orange devant l'étoile indique l'absorption par la vapeur d'eau.

L'observation du Soleil au travers de l'atmosphère terrestre n'est qu'une variante du même effet. La diffusion atmosphérique donne le ciel bleu et le Soleil est d'autant plus rougi par la vapeur d'eau qu'il est bas sur l'horizon.

NASA/JPL-Caltech

de nombreuses planètes, depuis les Jupiters chauds jusqu'aux exo-Neptunes et, finalement, aux super-Terres, ces cousines de notre planète. Cette dernière tâche reviendra peut-être au futur télescope spatial JWST (James Webb Space Telescope) qui devrait être lancé en 2018.

suite page 502

Cadrans solaires de Wallonie

P. Noez



Ce cadran vertical, incrusté dans la maçonnerie, se trouve sur le pignon de la maison située rue Entre Deux Sarts, 17, à Horion-Hozémont, hameau des Cahottes. C'est un carré d'environ 60 cm de côté. La graduation des heures d'été va de 10 h à 21 h et celles d'hiver, en chiffres romains, de 10 h à 18 h. Ce cadran se trouve sur un mur qui décline de près de 35 degrés vers l'ouest ; on a donc pratiquement affaire à un cadran semi-occidental.

Ses coordonnées :

Long. 5°25'45" Est
Lat. 50°36'56" Nord

[Cliché Roger Ringlet]

Consultez la page « **Cadrans solaires** » sur le site : <http://www.societeastronomiquedeliege.be>

Notre but

Notre souhait est que vous nous communiquiez (*) les positions d'autres cadrans solaires que vous connaissiez en Wallonie. Ces horloges solaires font en effet partie de notre «*petit patrimoine*», au même titre que les fontaines, les oratoires, les croix d'occis etc., et notre but est d'essayer d'en faire le recensement. Par avance, merci pour votre collaboration.

Adresse

(*) *Pierre Noez*,
quai de l'Ourthe, 44/232
4020 Liège

Tél. 04.343.97.45

E-Mail : pierre_noez@voo.be

Éphémérides de décembre

LD

Les heures sont données en Temps Universel : on ajoutera 1 h pour l'heure de la montre.

Adapté du *Hemelkalender* - Jean Meeus

Principaux phénomènes

- Le 02 à 00 h La Lune en conjonction géocentrique avec Uranus. Il y aura occultation sur le nord-ouest de l'Amérique du Nord. À Liège vers 00 h 45 la planète sera à un peu plus de 22' du bord sud de la Lune. Utilisez un instrument pour distinguer la planète de la Lune éclairée à 78%.
- Le 05 à 22 h Observez cette nuit le ballet d'Io, Europe et Callisto à l'ouest de Jupiter, Callisto se rapprochera d'Europe et n'en sera séparé que d'à peine 0,2" à 2 h 47.
- Le 06 à 06 h La Pleine Lune 1° au nord d'Aldébaran.
- Le 06 à 12 h 27 *Pleine Lune.*
- Le 08 à 10 h Mercure en conjonction supérieure.
- Le 09 à 06 h 17 Observez avec un instrument puissant l'ombre d'Io en transit à l'ouest de Jupiter (fin à 6 h 36), elle va être temporairement (de 6 h 19 à 6 h 33) occultée par Europe.
- Le 09 à 07 h Jupiter stationnaire entame un mouvement rétrograde vers l'ouest.
- Le 12 Jusqu'au 15 on guettera les Géminides avec un maximum de plus de 60 météores prévu le matin du 14. Le radiant est proche de l'étoile Castor. Cet essaim est lié non pas à une comète mais à un astéroïde *3200 Phaeton*. Les astronomes pensent que l'intense chaleur solaire a pu fracturer la roche en surface, dispersant ainsi des particules de poussière. Voir *Le Ciel* de décembre 2013 page 466.
- Le 12 à 04 h La Lune 6° au sud de Jupiter. Conjonction avec Régulus à 19 h sous l'horizon.
- Le 12 à 22 h Observez Europe se rapprocher d'Io pour une longue occultation en un mouvement d'aller-retour avec une double conjonction jusqu'à 2 h 20 (*). Vers 3 h 35 Callisto viendra se joindre au couple, les trois formeront ensuite un petit cercle de moins de 7" de diamètre. À 04 h 48 Callisto disparaîtra dans l'ombre de Jupiter.
- Le 14 à 12 h 51 *Dernier quartier de la Lune.*
- Le 14 à 20 h 49 Jusque 21 h 52 Io est occultée par Ganymède (*), l'occultation sera totale pendant 9 minutes.
- Le 16 à 06 h 12 Les ombres d'Io et d'Europe sur Jupiter. À 6 h 26, Europe occulte partiellement l'ombre d'Io.
- Le 17 à 01 h La Lune 3° au nord de Spica. À observer vers 3 h.
- Le 19 à 21 h La Lune 2° au nord de Saturne. À observer le matin vers 6 h.
- Le 19 à 22 h 25 Io et Europe achèvent un transit devant Jupiter alors qu'Io est partiellement occultée par Europe (*).
- Le 21 à 03 h 19 Io partiellement éclipsée par l'ombre de Callisto verra sa luminosité diminuer de 79%. Moins d'une heure plus tard, Io sera occultée par Ganymède (*).
- Le 21 à 23 h 03 **Solstice d'hiver.** Le Soleil atteint la longitude écliptique de 270° et la déclinaison minimale géocentrique de $-23^{\circ}26'05''$
- Le 22 à 01 h 36 *Nouvelle Lune.*
- Le 22 à 06 h Uranus stationnaire repart en sens direct vers l'est.
- Le 23 à 05 h La Lune 6° au nord de Vénus. Inobservable.
- Le 25 à 08 h La Lune 6° au nord de Mars. À observer après 17 h les 24 et 25.
- Le 26 à 21 h 50 Io et Europe au bord est de Jupiter suivent leurs ombres pour un transit.
- Le 28 à 18 h 31 *Premier quartier de la Lune.*
- Le 29 à 05 h La Lune en conjonction avec Uranus. Il y aura occultation sur le nord-ouest de l'Amérique du Nord. Sous l'horizon chez nous.

*voir aussi le tableau page 383 dans *Le Ciel* de septembre

Le ciel de décembre

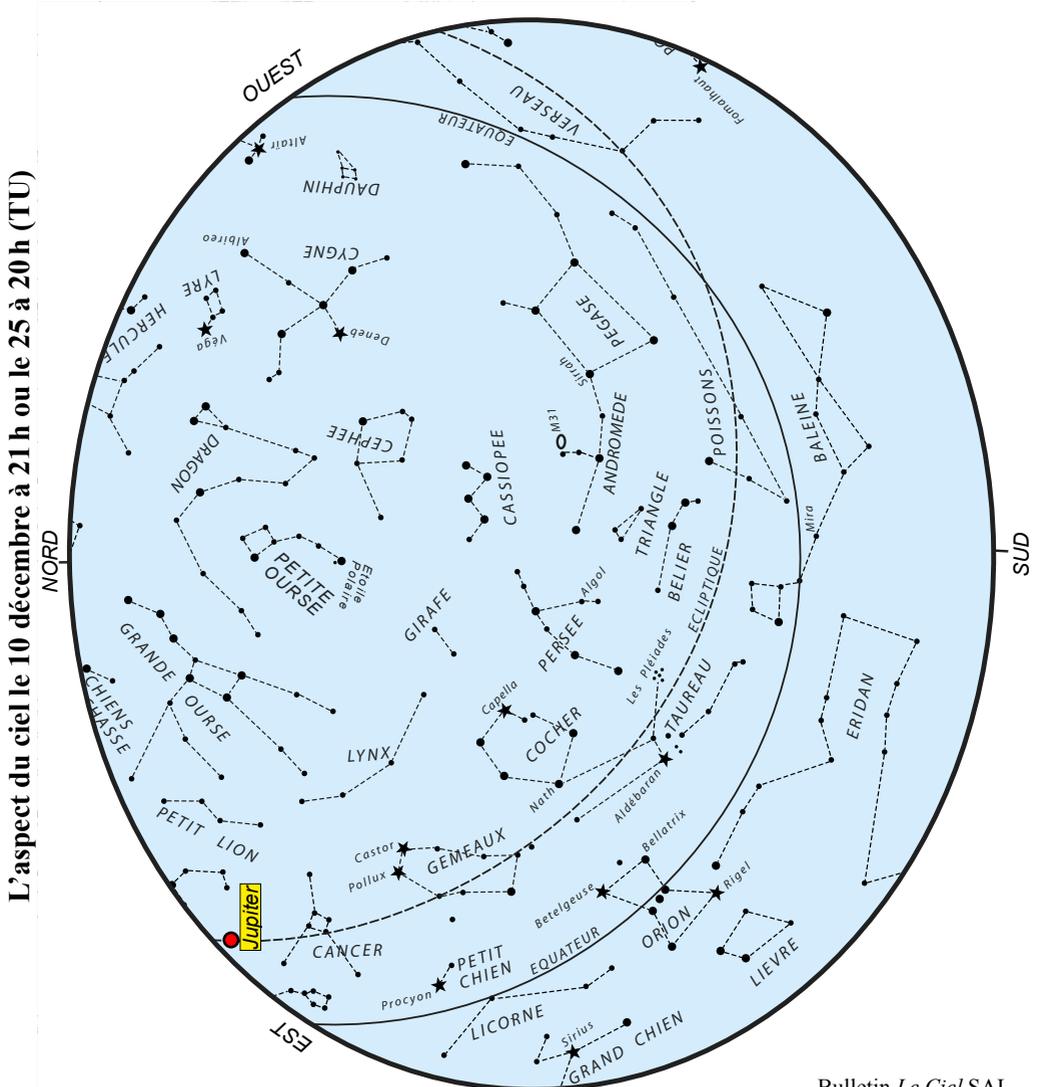
Les heures sont indiquées en **Temps Universel**.

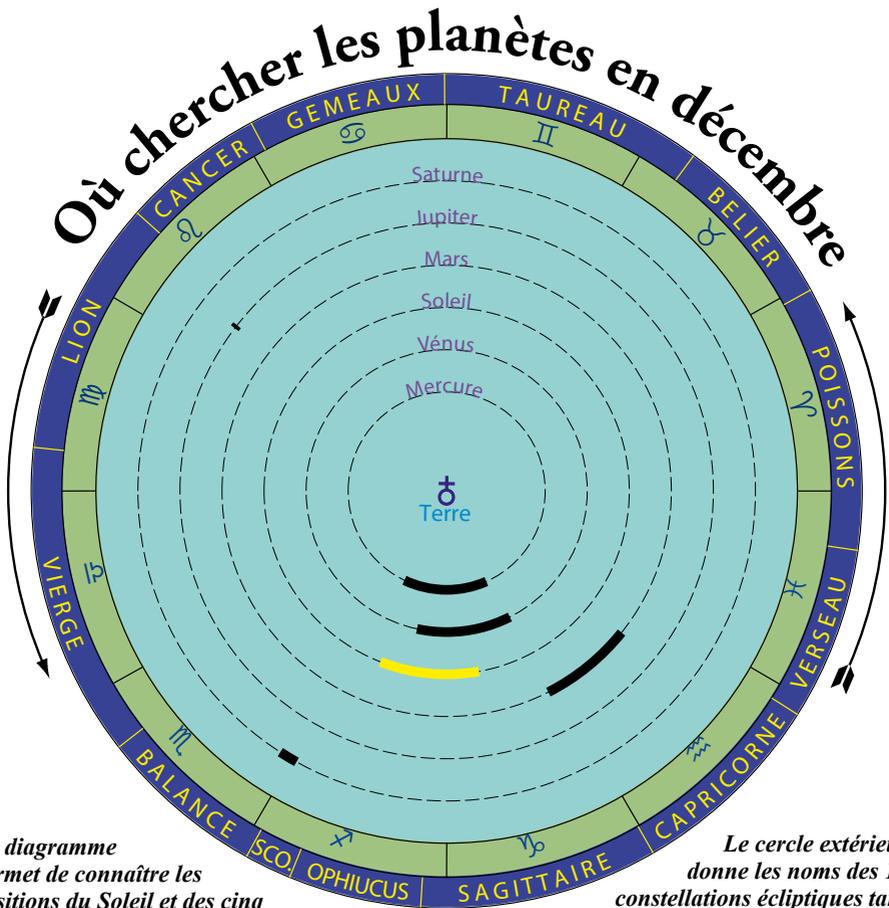
Pour obtenir l'**heure légale** en **2014** il faut ajouter :

1 heure pendant la période de l'heure d'hiver, soit du début de l'année jusqu'au dimanche 30 mars à 01h TU et du dimanche 26 octobre à 01h TU jusqu'à la fin de l'année.

2 heures pendant la période de l'heure d'été.

La position des planètes est donnée pour le 10 du mois.





Ce diagramme permet de connaître les positions du Soleil et des cinq planètes visibles à l'œil nu telles que les verra un observateur terrestre.

Le cercle extérieur donne les noms des 13 constellations écliptiques tandis que le cercle intérieur donne les symboles des 12 signes du zodiaque..

Le Soleil : quitte Ophiucus pour le Sagittaire le 18 à 11 h 12. C'est là qu'aura lieu le solstice d'hiver le 21 à 23 h 03.

Mars : reste visible en début de soirée. La planète se couche environ trois heures et demie après le Soleil.

Mercury : en conjonction avec le Soleil le 8. La planète ne sera pas visible en décembre.

Jupiter : se lève de plus en plus tôt et est visible une grande partie de la nuit dans le Lion 7° ou 8° à l'ouest de Régulus.

Vénus : les derniers jours du mois on pourra essayer de l'apercevoir à l'horizon sud-ouest, peu après le coucher du Soleil.

Saturne : réapparaît le matin à l'horizon sud-est vers le 5. À partir du 13 elle se lève plus de 2 heures avant le Soleil.

Rosetta

Basé sur un communiqué ESA

L'ESA précise que Philae, l'atterrisseur de Rosetta, se posera le 12 novembre à la surface de la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko. Le site d'atterrissage, le « J » (voir *Le Ciel*, octobre 2014, p 438), se situe sur le plus petit des deux lobes de la comète, le site de secours étant situé sur l'autre lobe.

Le site « J » a été choisi comme site principal à l'unanimité parmi quatre autres candidats car, sur une zone d'un kilomètre carré, la majeure partie des pentes font moins de 30° par rapport à la verticale locale et le nombre de gros rochers est assez faible. Ce site reçoit également suffisamment de lumière pour que Philae puisse recharger ses batteries et poursuivre sa mission scientifique à la surface après la phase initiale (64 heures) pendant laquelle il est alimenté par une pile.

Les équipes chargées des opérations et de la dynamique de vol à l'ESA ont analysé en détail les trajectoires de vol et étudié le moment propice pour que l'atterrisseur soit déployé au plus tôt.

Deux scénarios sûrs ont été établis, l'un pour le site principal, l'autre pour le site de secours. Tous deux prévoient une séparation et un atterrissage le 12 novembre.

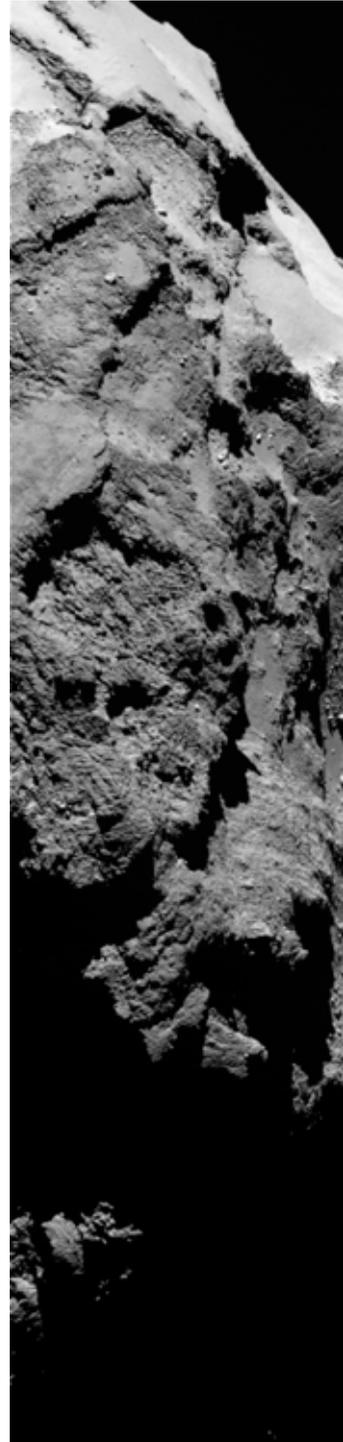
Selon le scénario d'atterrissage sur le site principal « J », Rosetta larguera Philae à 9h 35 (heure de Paris), alors qu'elle se trouvera à 22,5 km du centre de la comète; l'atterrissage aura lieu environ sept heures plus tard. Le signal qu'enverra Rosetta le 12 novembre pour confirmer l'atterrissage mettra 28 minutes et 20 secondes pour nous arriver vers 17 heures.

Si l'on décide d'utiliser le site de secours « C », la séparation aura lieu à 14h 04, à 12,5 km du centre de la comète. L'atterrissage aura lieu environ quatre heures plus tard, et la confirmation arrivera autour de 18h 30. Ces horaires peuvent varier de quelques minutes.

Quant ces lignes paraîtront, le choix aura été fait du site d'atterrissage définitif et du scénario correspondant. Un concours destiné au grand public pour l'attribution d'un nom au site d'atterrissage aura été annoncé à la mi-octobre.

L'orbiteur de Rosetta continuera d'étudier la comète et son environnement à l'aide de ses 11 instruments scientifiques puisqu'elle l'accompagnera dans son voyage autour du Soleil. La comète suit une orbite elliptique de 6,5 ans dont le point le plus proche de notre étoile se situe entre les orbites de la Terre et de Mars, et le plus éloigné à proximité de l'orbite de Jupiter. Rosetta accompagnera la comète pendant plus d'une année au cours de son voyage autour du Soleil, puis à nouveau en direction du Système solaire externe.

Les analyses conduites par l'orbiteur de Rosetta seront complétées par des mesures in situ réalisées par les 10 instruments de Philae.



Des falaises déchiquetées et de gros rochers caractérisent cette image prise par OSIRIS, la caméra scientifique de Rosetta, le 5 septembre 2014. La sonde était alors à une distance de 62 kilomètres du noyau de la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko. La partie gauche de l'image montre une vue latérale du corps de la comète, tandis qu'à droite on peut voir l'arrière de sa tête. La résolution est de quelques mètres. ESA/Rosetta/MPS pour l'équipe OSIRIS; MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA



Une nouvelle molécule interstellaire

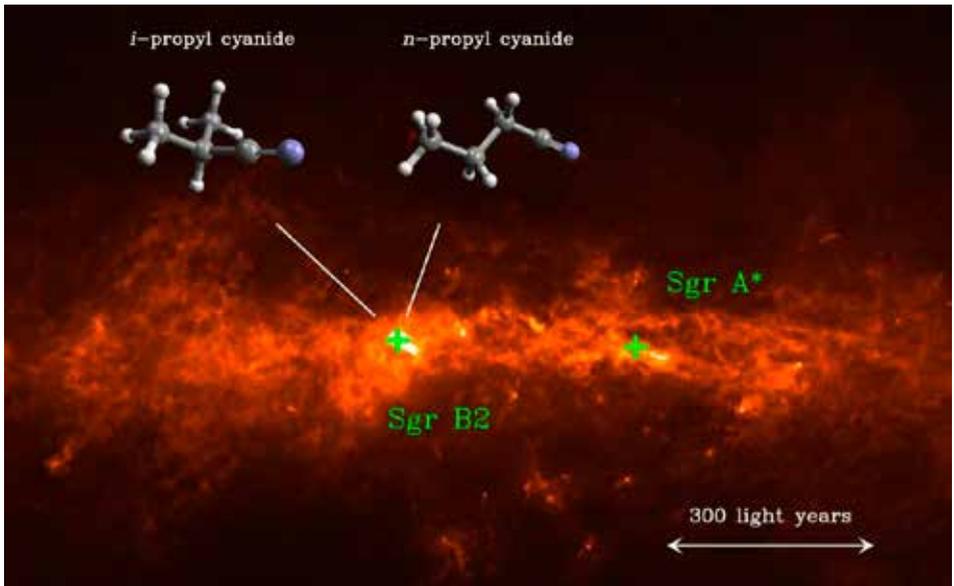
L'étude de la région de formation stellaire Sagittarius B2 avec le réseau d'antennes ALMA a livré une nouvelle découverte, une molécule interstellaire particulièrement intéressante, le cyanure d'isopropyle (aussi connu comme isobutyronitrile ou 2-méthylpropionitrile). Les molécules organiques trouvées dans ce type d'environnement sont généralement organisées autour d'une colonne vertébrale, une chaîne linéaire d'atomes de carbone. Celle-ci a la particularité inédite de comporter un branchement, un bras.

Le milieu interstellaire révèle une chimie complexe et cette découverte ajoute foi à l'hypothèse que de nombreuses molécules transportées par les météorites et les comètes ont une origine antérieure à la formation des planètes, dans les toutes premières étapes de la formation stellaire.

La structure du cyanure d'isopropyle est commune parmi les molécules de base de la vie telles que les acides aminés – molécules que l'on trouve dans les météorites.

*Sur la page de droite, la Voie lactée brille au-dessus des antennes du réseau ALMA. Image obtenue par l'équipe « ESO Ultra High Definition Expedition » qui capture le site dans le format vidéo 4K.
ESO/B. Tafreshi*

Ci-dessous, une image des poussières dans la direction du centre de la Galaxie obtenue en combinant des données du radiotélescope APEX et de l'observatoire spatial Planck à la longueur d'onde de 860 microns. En surimpression, des modèles des molécules de cyanure d'isopropyle et de propyle ($i\text{-C}_3\text{H}_7\text{CN}$ et $n\text{-C}_3\text{H}_7\text{CN}$) détectées dans la région de Sgr B2. Le centre de la Voie lactée est en Sgr A.
MPIfR/A. Weiss (image de fond), University of Cologne/M. Koerber (modèles de molécules), MPIfR/A Belloche (montage)*





Le nuage Sagittarius B2, proche du centre galactique est un terrain de chasse privilégié pour les radio-astronomes. On y a trouvé la plupart des molécules interstellaires, actuellement au nombre d'environ 180.

Si l'on ne connaissait pas encore de molécules branchées dans les nuages moléculaires, on avait déjà répertorié toute une variété de molécules organiques depuis les plus simples jusqu'aux longues chaînes comme les cyanopolynes (HC_3N , HC_5N , etc. jusqu'à HC_{11}N), les chaînes acétyléniques (depuis C_2H jusqu'à C_8H), ou encore des radicaux cycliques $\text{c-C}_3\text{H}$ et $\text{c-C}_3\text{H}_2$.

Les observations ont été réalisées avec ALMA entre les longueurs d'onde de 2,7 et 3,6 millimètres. Elles sont dix fois plus sensibles que celles effectuées avec les moyens antérieurs. Elles ont permis de recenser une cinquantaine de raies du cyanure d'isopropyle en même temps que 120 raies de la molécule sœur, non branchée, le cyanure de propyle. Ce n'est pas seulement la structure de la molécule de cyanure d'isopropyle qui étonne les scientifiques, mais la grande quantité trouvée. Elle est juste deux fois moins abondante que sa sœur normale, découverte avec une antenne de l'IRAM (Institut de Radioastronomie Millimétrique) il y a quelques années. Cela suggère que ce type de structure constitue la règle plutôt que l'exception dans le milieu interstellaire. Les modèles théoriques indiquent que ces molécules se forment aisément à la surface des grains de poussière et que les formes branchées seraient favorisées par rapport aux chaînes linéaires. La détection des divers isomères du cyanure de butyle, le membre suivant de cette famille de molécules, permettrait de valider cette théorie.

L'eau du Système solaire

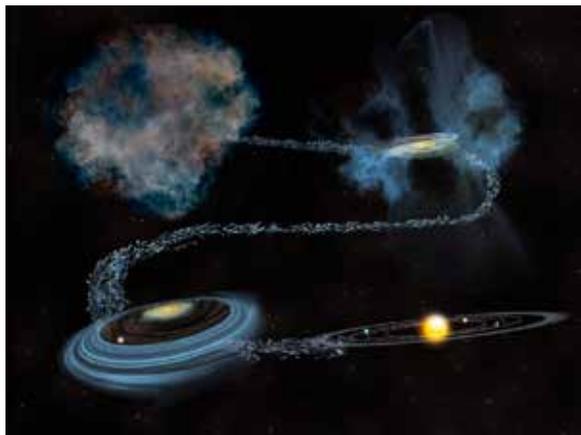
L'eau est omniprésente dans le Système solaire, dans les planètes, y compris la torride Mercure, dans les comètes, les météorites, ou les lunes, et les divers anneaux qui décorent les astres (cf la rubrique sur l'origine d'Uranus et Neptune, p. 495). Les comètes et les astéroïdes sont d'un intérêt tout particulier pour les astronomes car ils témoignent des

conditions régnant au début du Système solaire, dans le disque protoplanétaire entourant la jeune étoile.

La mesure de l'abondance de deutérium par rapport à l'isotope normal de l'hydrogène permet de déterminer si des réactions chimiques ont eu lieu dans la nébuleuse solaire après la naissance du Soleil. Les deux isotopes sont de masses très différentes, l'un n'étant qu'un proton et l'autre un proton et un neutron. Ils se comportent de façon légèrement différentes lors de réactions chimiques. Ainsi l'eau des nuages interstellaires s'est formée par des réactions à très basse température et elle se caractérise par une forte abondance de deutérium.

Des modèles théoriques montrent que l'abondance du deutérium dans l'eau du Système solaire n'aurait pu être atteinte par des réactions chimiques dans la nébuleuse solaire. Il faut qu'une partie au moins provienne directement du milieu interstellaire. On en conclut donc que l'eau et les glaces interstellaires, riches en molécules organiques doivent se retrouver dans tous les nouveaux systèmes planétaires. Si les abondances dépendaient des conditions dans les nébuleuses primitives, le résultat varierait d'un système à l'autre.

***Vue artistique du cheminement de l'eau dans l'histoire du Système solaire.
Bill Saxton, NSF/AUI/NRAO***



Cailloux interstellaires

Des poussières de très grande taille, de véritables cailloux, pourraient exister au voisinage de la nébuleuse d'Orion. Les observations faites avec le Green Bank Telescope (GBT) ont décelé dans des filaments denses de la nébuleuse d'Orion – plus précisément dans la région nord (OMC-2/3) du Complexe Moléculaire d'Orion – des particules cent à mille fois plus grosses que celles trouvées habituellement auprès des protoétoiles. L'émission observée par le GBT dans le domaine millimétrique est en effet nettement plus forte que ce que les astronomes attendaient de la part de poussières interstellaires normales. Cela suggère de gros grains de poussière, d'une

taille de l'ordre du millimètre, voire du centimètre. Ces filaments sont des sites de formation stellaire. Les grosses particules pourraient aider à former des planètes.

Les filaments de OMC-2/3 sont semés de noyaux denses (« cores ») correspondant à des protoétoiles à divers stades de leur formation. Certaines sont seulement en train de se condenser mais dans quelques centaines de milliers d'années, la région devrait contenir un nouvel amas stellaire.

Image GBT des filaments dans la région OMC-2/3
S. Schnee et al. ; B. Saxton (NRAO/AUI/NSF)



Image composite radio/optique du Complexe Moléculaire d'Orion montrant les filaments de la région de formation stellaire OMC-2/3.
Les données du GBT sont en orange.
S. Schnee, et al. ; B. Saxton, B. Kent (NRAO/AUI/NSF) ; NASA SkyView Facility/Goddard Space Flight Center

Il est possible qu'à l'intérieur des filaments, les basses températures, les hautes densités et la lenteur des mouvements aient favorisé la croissance des grains. Un autre scénario veut que ces cailloux proviennent d'une génération antérieure de cores, voire de disques protoplanétaires, et soient retournés dans le milieu interstellaire après s'être échappés.

Si la découverte du GBT se confirme, des rivières de gravier seraient donc à ajouter aux composants déjà connus de l'espace interstellaire.

