



# L'astronomie dans le monde

*Les planètes du système Trappist-1 comparées à la Terre. (ESO/M. Kornmesser)*

## ***TRAPPIST-1***

*Basé sur un communiqué ESO*

Une nouvelle étude révèle que les sept planètes en orbite autour de la naine rouge TRAPPIST-1 sont principalement composées de roches et que certaines d'entre elles pourraient contenir de l'eau en quantités supérieures à la Terre. Les densités des planètes, maintenant mieux connues, suggèrent en effet que certaines de ces planètes pourraient être composées d'eau à hauteur de 5 pour cent de leur masse – à comparer aux océans terrestres qui ne constituent que 0,02% de la masse de la Terre. Les planètes les plus chaudes situées près de l'étoile sont susceptibles d'être environnées d'atmosphères denses. Les plus distantes d'entre elles sont probablement recouvertes de glace.

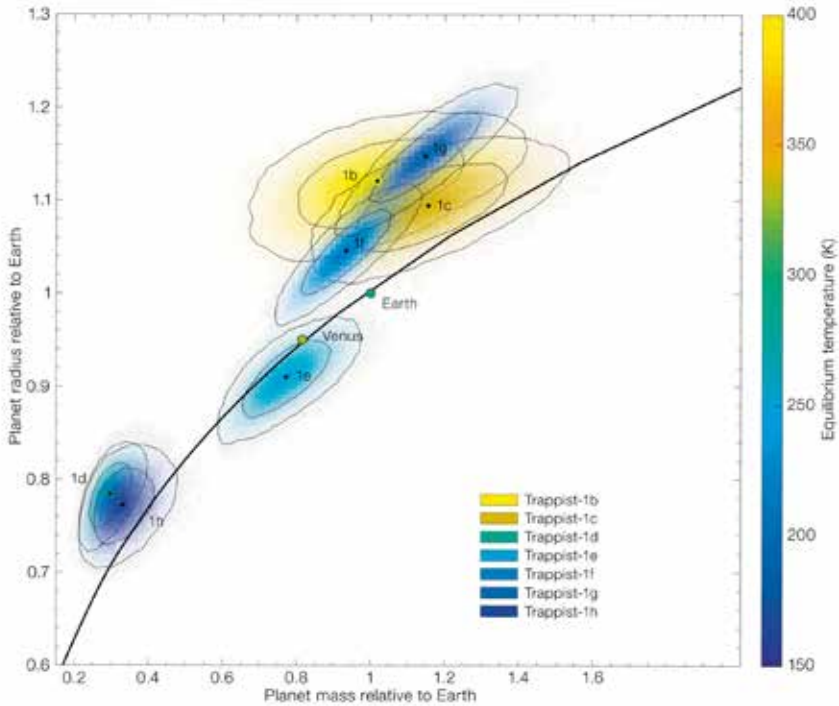
En termes de taille, de densité et de quantité d'ensoleillement, la quatrième planète apparaît comme la plus semblable à la Terre. Elle est certainement la plus rocheuse des sept

planètes et a une température compatible avec de l'eau liquide à sa surface.

La présence de planètes autour de l'étoile rouge TRAPPIST-1 distante de 40 années-lumière a été découverte en 2016 par le télescope liégeois TRAPPIST-South installé à l'observatoire de La Silla de l'ESO. L'année suivante, des observations plus poussées menées au moyen de télescopes tels que le VLT (Very Large Telescope) de l'ESO et le Spitzer Space Telescope de la NASA, ont montré que le système était composé d'au moins sept planètes dont la taille est proche de celle de la Terre. Elles furent baptisées TRAPPIST-1b, c, d, e, f, g et h, selon leur distance croissante à l'étoile centrale<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Les planètes ont été détectées au moyen de l'instrumentation ci-après : TRAPPIST-South à l'observatoire de La Silla de l'ESO au Chili; TRAPPIST-North au Maroc; NASA Spitzer Space Telescope; l'instrument HAWK-I de l'ESO sur le Very Large Telescope implanté à l'observatoire de Paranal au Chili; le télescope UKIRT de 3,8 mètres à Hawaii; le télescope Liverpool



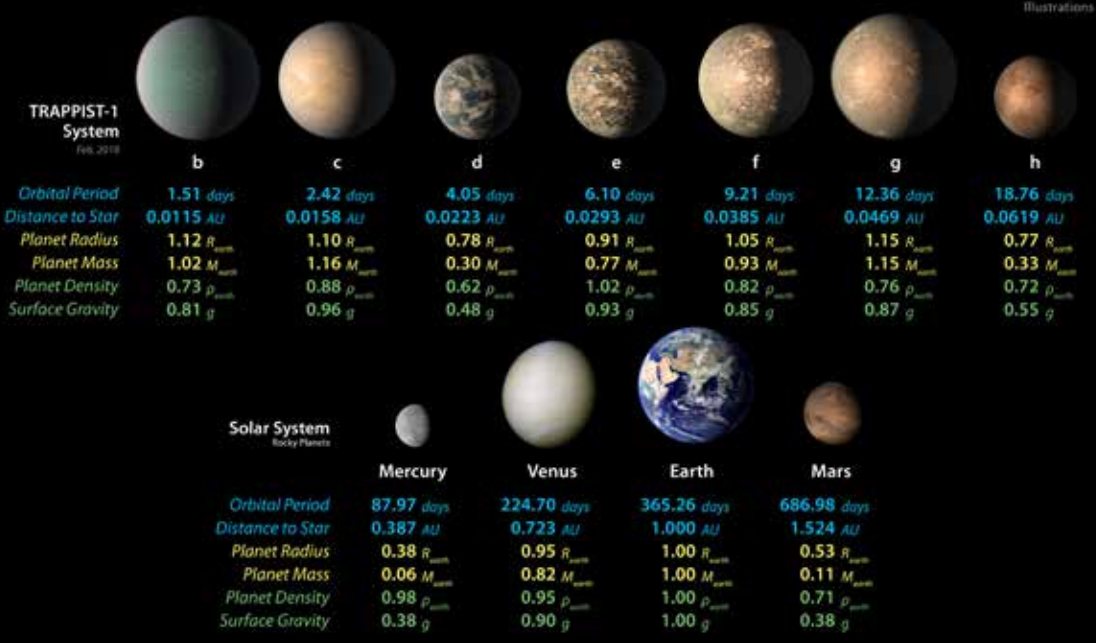
Des observations complémentaires viennent d'être effectuées à la fois avec des télescopes au sol parmi lesquels l'observatoire de Paranal de l'ESO avec l'instrument SPECULOOS pratiquement terminé et les télescopes spatiaux de la NASA Spitzer et Kepler. Des méthodes avancées de modélisation numérique ont ensuite été appliquées à l'ensemble des données disponibles, ce qui a permis de déduire la densité des planètes avec une meilleure précision<sup>2</sup>.

de 2 mètres et le télescope William Herschel de 4 mètres à La Palma, Îles Canaries ; le télescope SAO de 1 mètre en Afrique du Sud.

2 La détermination de la densité des exoplanètes n'est pas chose aisée. Elle requiert la connaissance des dimensions et de la masse de la planète considérée. Les planètes du système TRAPPIST-1 ont été détectées au moyen de la méthode des transits – en recherchant

**Comparaison des tailles, masses et températures des planètes du système TRAPPIST-1 et des planètes du Système solaire. Les couleurs représentent la température. Les planètes situées au-dessus de la ligne caractérisant les planètes telluriques du Système solaire ont une plus faible densité que celles figurant sous cette ligne. (ESO/S. Grimm et al.)**

les variations de luminosité de l'étoile générées par le passage de la planète devant son disque. Cette méthode permet d'estimer la taille de la planète. La détermination de sa masse est plus ardue puisque des planètes de masses différentes auraient des orbites quasiment identiques qu'aucune méthode directe ne permettrait de différencier. Le cas des systèmes multi-planétaires est plus simple – les planètes les plus massives déforment les orbites des autres planètes, en particulier celles des planètes les plus légères. Cela affecte les instants auxquels se produisent les transits.



**Propriétés principales des planètes telluriques du Système solaire et des planètes de Trappist-1.**  
(NASA/JPL-Caltech/R. Hurt, T. Pyle/ IPAC)

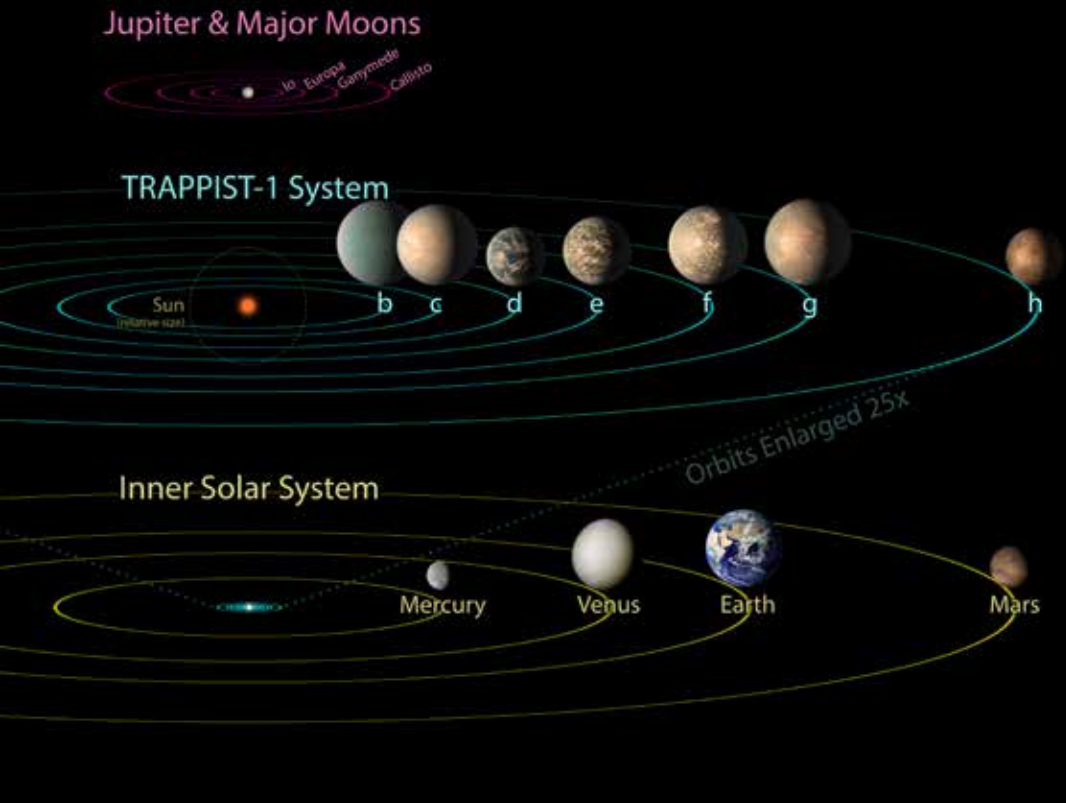
Les planètes du système TRAPPIST-1 sont si proches les unes des autres qu'elles interagissent au plan gravitationnel, de sorte que les instants auxquels elles passent devant leur étoile hôte se décalent progressivement. Ces décalages dépendent de la masse des planètes, de leurs distances respectives ainsi que d'autres paramètres orbitaux.

Les mesures des densités, lorsqu'elles sont combinées aux modèles de composition des planètes, suggèrent que les sept planètes du système TRAPPIST-1 ne sont pas des mondes rocheux stériles. Ils semblent être composés de matière volatile, probablement de l'eau, en quantités significatives – pouvant parfois atteindre 5% de la masse planétaire; à titre comparatif, la quantité d'eau sur Terre ne représente que 0,02% de sa masse. Les

modèles utilisés tiennent également compte d'autres éléments volatils, comme le dioxyde de carbone, mais ils privilégient l'eau qui, sous forme de vapeur, de liquide ou de glace, est le composant le plus répandu à la surface de la planète considérée et constitue la plus abondante source d'éléments volatils dans les disques protoplanétaires d'abondance solaire.

Bien qu'elles nous renseignent sur les compositions planétaires, les valeurs de densités ne révèlent rien concernant l'habitabilité potentielle de ces planètes. Les planètes intérieures TRAPPIST-1b et c sont vraisemblablement composées d'un noyau rocheux et entourées d'une atmosphère plus épaisse que celle de la Terre. TRAPPIST-1d est la moins massive des planètes – sa masse n'excède pas le tiers de la masse terrestre. Les scientifiques n'ont pu déterminer avec certitude la présence d'une atmosphère étendue, d'un océan ou d'une couche de glace en surface.

Les scientifiques ont été surpris de constater que TRAPPIST-1e est la seule pla-



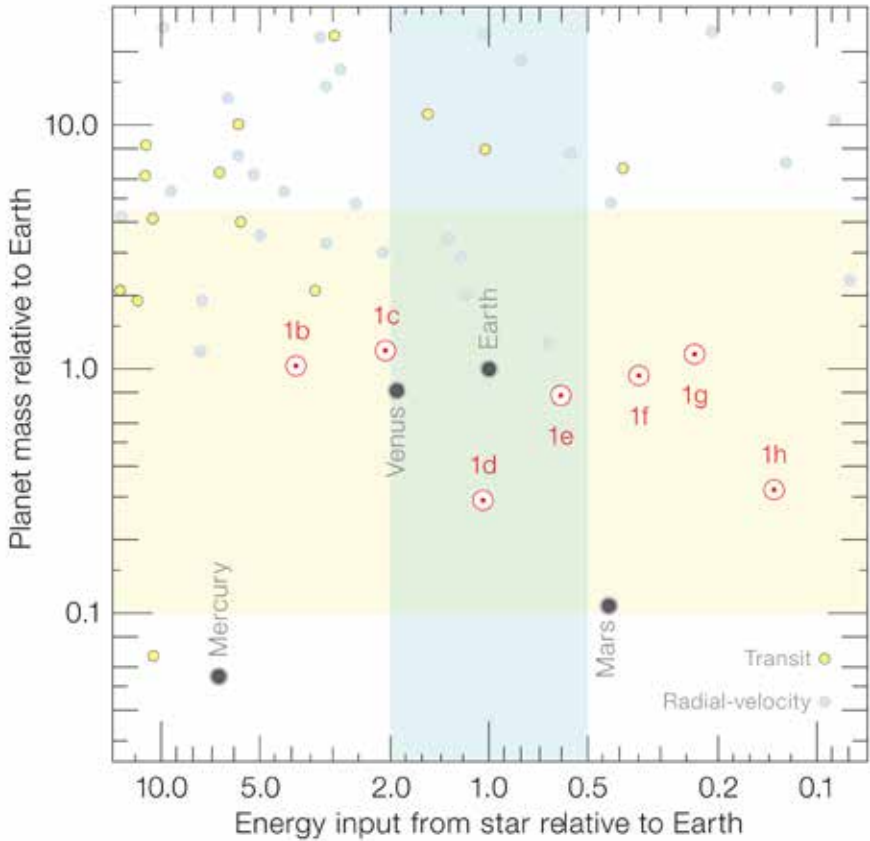
nète du système dont la densité avoisine celle de la Terre, laissant à penser qu'elle possède comme elle un noyau de fer dense, et qu'elle n'a pas nécessairement une atmosphère épaisse, un océan ou une couche de glace en surface. Le fait que TRAPPIST-1e semble plus rocheuse que les autres planètes est étrange. En termes de taille, de densité et d'irradiation en provenance de son étoile, elle est la planète la plus semblable à la Terre.

TRAPPIST-1f, g et h sont suffisamment éloignées de leur étoile hôte pour que de la glace recouvre leur surface. Dans l'éventualité

*Agencement des systèmes de Jupiter, de TRAPPIST-1 et du Soleil.  
(NASA/JPL-Caltech)*

où elles seraient entourées d'une fine enveloppe atmosphérique, la présence de molécules complexes telles que le dioxyde de carbone serait improbable.

Il est intéressant de noter que les planètes les plus denses ne sont pas celles situées à proximité directe de l'étoile hôte, et que les planètes les plus froides ne peuvent être entourées d'une atmosphère épaisse.

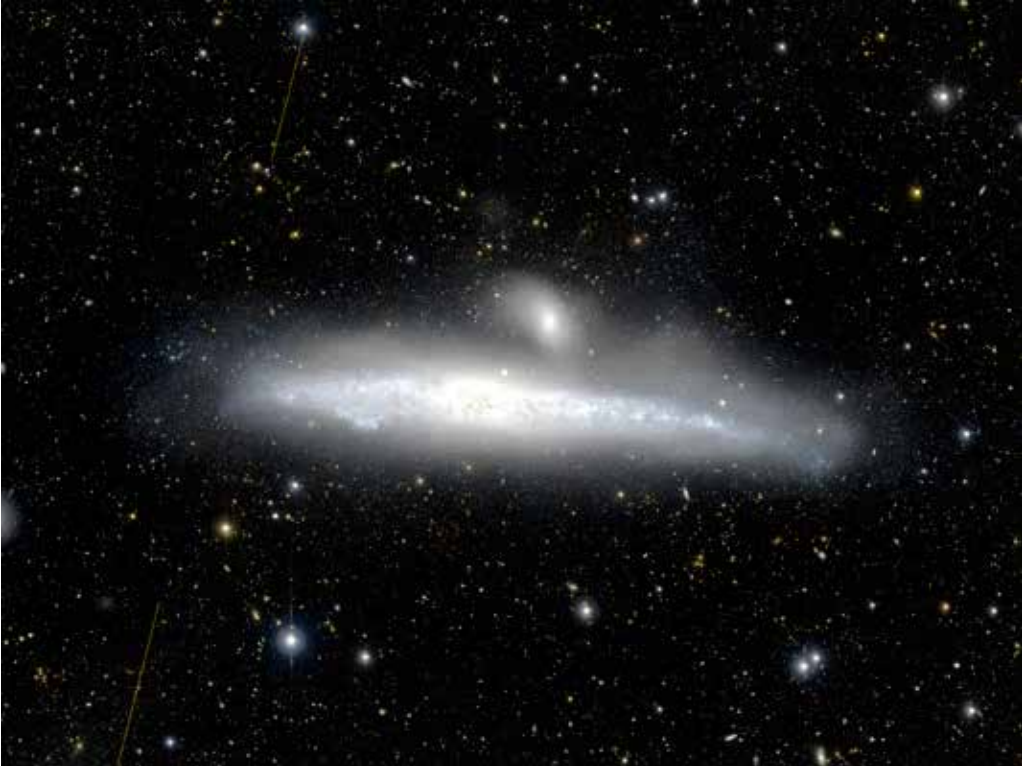


**Diagramme montrant la masse et le flux incident pour toute une série de planètes.**  
(ESO/S. Grimm et al)

Le système TRAPPIST-1 continuera d'être la cible d'études poussées, depuis le sol et l'espace, au moyen de nombreuses installations dont les futurs géants : l'Extremely Large Telescope de l'ESO et le James Webb Space Telescope du consortium NASA/ESA/CSA.

Les astronomes tentent de détecter d'autres planètes autour de naines rouges semblables à TRAPPIST-1. Ce résultat souligne tout l'intérêt d'explorer les naines froides et proches, à la recherche de transits de planètes de type terrestre. Tel est précisément l'objectif de SPECULOOS, le nouvel outil liégeois

de recherche d'exoplanètes qui entrera très prochainement en service à l'Observatoire de Paranal de l'ESO au Chili, ainsi que les télescopes ExTrA dont nous parlions le mois passé (*Le Ciel*, 79 (2018) p. 139).



## **NGC 4631**

La caméra à très grand champ du télescope Subaru (Maunakea, Hawaii) a permis l'identification de onze galaxies naines et de deux courants d'étoiles à la périphérie de la grande spirale NGC 4631, la galaxie dite « de la Baleine »<sup>1</sup>, distante de 25 millions d'années-lumière. En général ces courants qui encerclent au moins partiellement de grosses galaxies proviennent eux-mêmes de petites galaxies

1 Le surnom de baleine provient de la vague ressemblance avec le grand cétacé et non de sa position. Elle se trouve en effet dans les Chiens de Chasse, à la limite de la Chevelure de Bérénice. Elle ne fait pas partie du grand amas de galaxies de Coma, situé non loin dans le ciel mais beaucoup plus loin dans l'espace. Elle est trop distante pour faire partie du groupe local de galaxies qui inclut M31, M33, la Voie lactée et quelques dizaines de galaxies plus petites. Parmi ces dernières se trouve la « galaxie naine de la Baleine » qui, elle, doit bien son nom à sa situation dans la constellation de la Baleine.

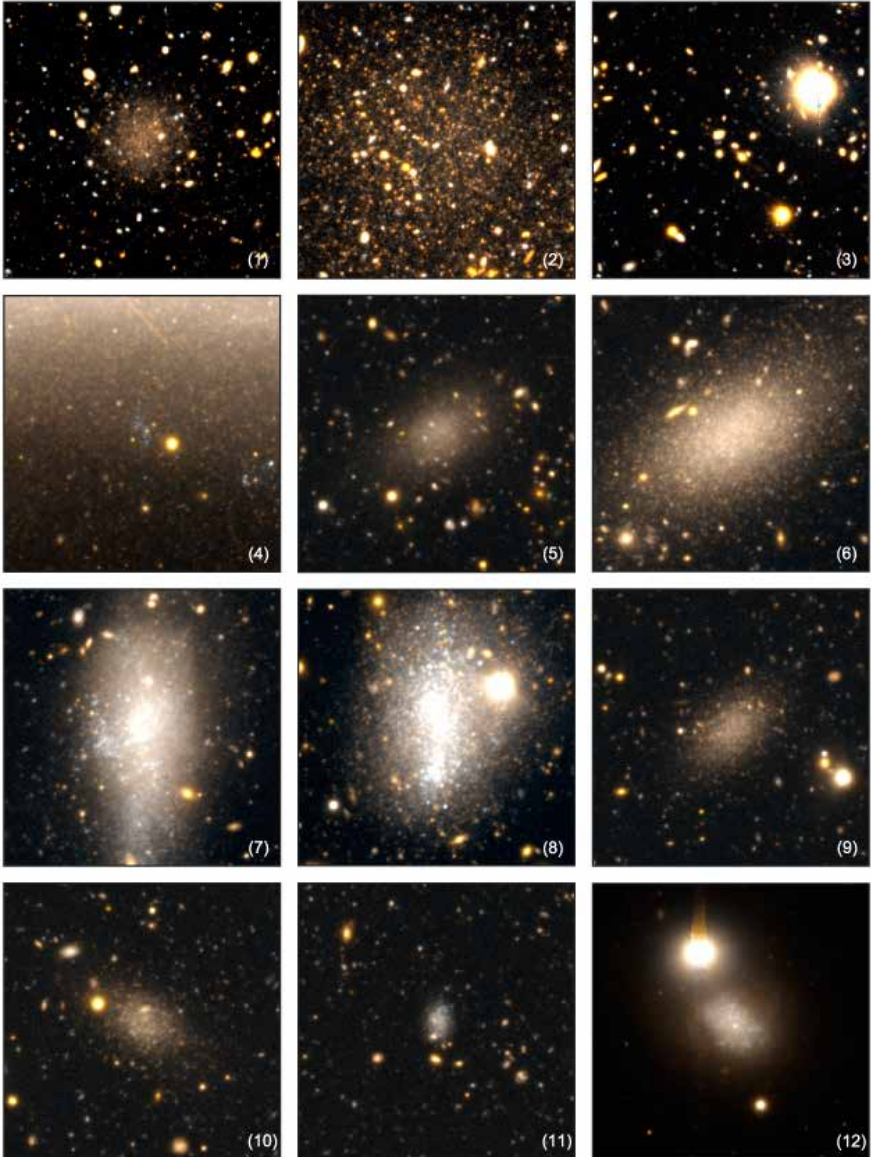
*NGC 4631 vue par le télescope Subaru.  
(Tohoku University/NAOJ)*

satellites démembrées par les forces de marée. L'un des courants, « Stream SE » passe devant NGC 4631. L'autre, « Stream NW » se cache derrière elle. Une estimation grossière de la métallicité des courants semble confirmer qu'ils sont bien dus à l'interaction gravifique de NGC 4631 avec une petite galaxie satellite. Les courants d'étoiles sont difficilement décelables, étant de très faible luminosité. Ils sont même plus faibles que ceux que l'on connaît autour d'autres galaxies proches. Stream NW est le plus brillant. Il contient peut-être les restes d'une galaxie naine, celle-là même qui aurait aussi donné naissance au Stream SE.

On pense que les courants, ou halos stellaires, sont moins fréquents chez les galaxies de masse relativement faible, plus petite que

celle de la galaxie du Triangle (M33), par exemple. Il semblerait donc que NGC 4631, malgré ses dimensions, soit de masse assez petite, moindre que celle de la Voie lactée. Elle est encore dans une phase de croissance et il en va de même de ses halos.

***Galaxies naines  
découvertes par Subaru  
autour de NGC 4631.  
(Tohoku University/NAOJ)***



## Un télescope de 16 mètres

Basé sur un communiqué ESO

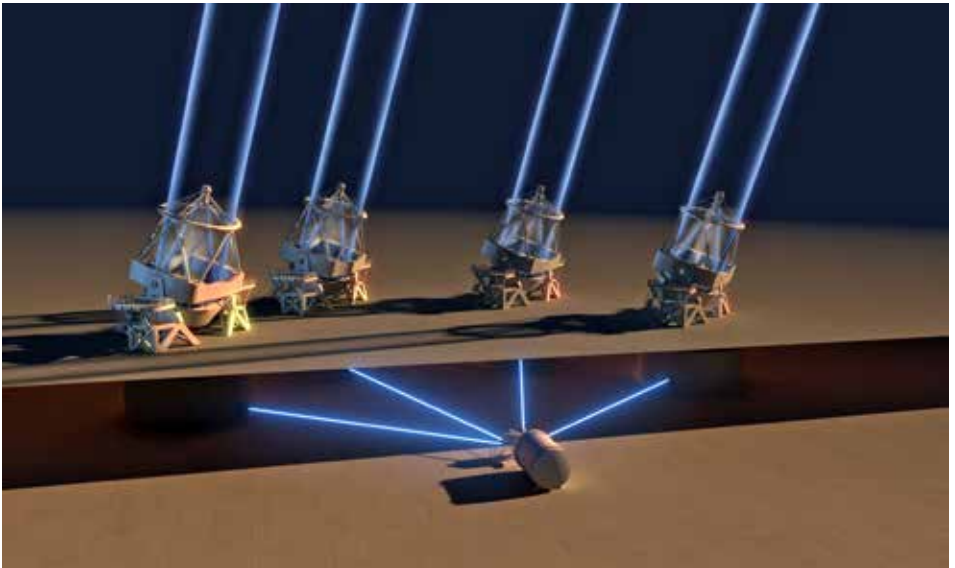
Le Very Large Telescope (VLT) de l'ESO fut conçu de sorte que ses quatre télescopes puissent fonctionner de concert et constituer un seul et unique télescope géant. Le spectrographe ESPRESSO – le « chasseur d'exoplanètes » de nouvelle génération – vient de capturer sa « première lumière » en utilisant ce mode de fonctionnement du VLT. L'objectif est donc désormais atteint et le nom de VLT pleinement justifié. ESPRESSO avait effectué ses toutes premières observations le 6 décembre 2017, au moyen de deux des quatre télescopes de 8,2 mètres de diamètre qui composent le VLT.

Deux des objectifs scientifiques principaux d'ESPRESSO consistent à découvrir et caractériser des planètes de type Terre et à mettre en évidence une éventuelle variabilité des constantes fondamentales de la physique. Ces dernières expériences requièrent l'observation de quasars distants de faible luminosité. Cet objectif bénéficiera pleinement de la combinaison des quatre faisceaux lumineux et de l'extrême stabilité de l'instrument.

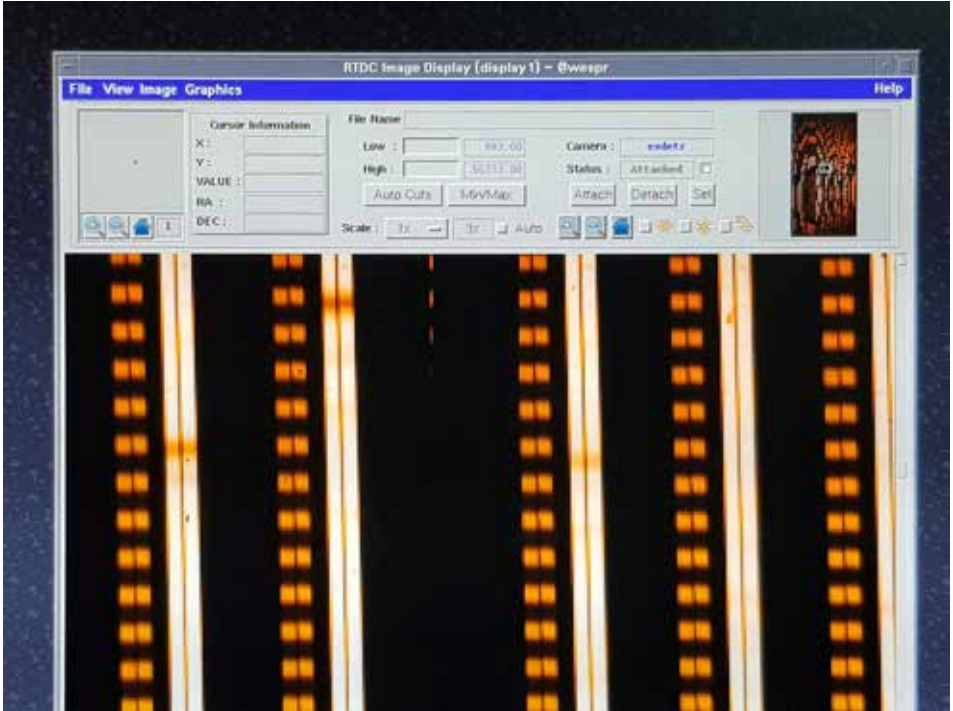
Le degré de complexité est tel que cette méthode de combinaison de la lumière issue des quatre télescopes et baptisée « focalisation incohérente » n'avait encore jamais été mise en œuvre. L'incohérence signifie que la lumière en provenance des quatre télescopes est simplement additionnée, sans que les informations de phase soient prises en compte au contraire de ce qui se passe dans l'interféromètre du VLT. Toutefois, dès la construction, de l'espace avait été prévu à cet effet entre les télescopes et la structure souterraine du sommet de la montagne.

Un système de miroirs, de prismes et de lentilles transmet la lumière en provenance de chaque télescope au spectrographe ESPRESSO, jusqu'à 69 mètres de distance. Grâce à ces optiques complexes, ESPRESSO peut, soit collecter la lumière issue de l'ensemble des quatre télescopes, augmentant ainsi

*L'instrument ESPRESSO installé sous la plateforme des quatre télescopes du VLT de l'ESO combine toute leur lumière et bénéficie ainsi du pouvoir collecteur d'un télescope unique de 16 mètres. (ESO/L. Calçada)*







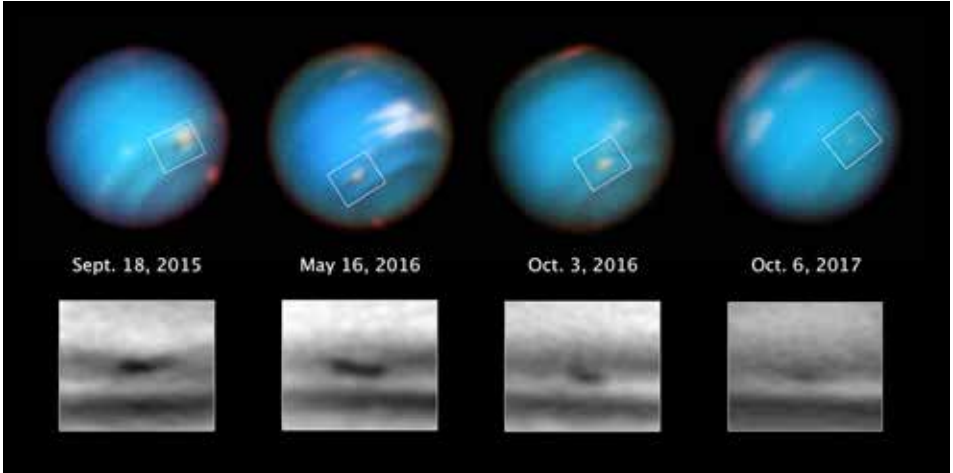
*Visualisation de quelques données acquises par ESPRESSO. (ESO/D. Mégevand)*

son pouvoir collecteur, soit recevoir la lumière en provenance de l'un ou l'autre télescope pris indépendamment, ce qui permet une utilisation plus flexible du temps d'observation. ESPRESSO fut spécifiquement conçu pour exploiter cette infrastructure.

La lumière en provenance des quatre télescopes est régulièrement combinée au sein de l'interféromètre du VLT afin de permettre l'étude de détails extrêmement fins d'objets comparativement brillants. Mais l'interférométrie, qui combine les faisceaux de manière « cohérente », ne peut exploiter le vaste potentiel collecteur des télescopes combinés pour étudier des objets de faible luminosité. La nouvelle méthode de combinaison incohérente de la lumière offre le pouvoir collecteur d'un télescope dont l'ouverture est de 16 mètres. Toutefois, la résolution angulaire demeure

celle d'un simple télescope de 8 mètres de diamètre, à la différence de l'interféromètre dont la résolution atteint celle d'un télescope (virtuel) d'ouverture effective équivalant à la distance maximale de séparation des télescopes.

ESPRESSO constitue une véritable révolution pour l'astronomie basée sur l'utilisation de spectrographes de haute résolution. De nouveaux concepts sont introduits, comme l'étalonnage des longueurs d'onde assisté d'un peigne de fréquence laser, offrant une précision inégalée ainsi qu'une reproductibilité sans précédent, et désormais la capacité de combiner le pouvoir collecteur des quatre télescopes.



## Tempêtes sur Neptune

Les images prises par le télescope spatial Hubble montrent la dissipation d'une énorme tempête qui sévissait depuis des années sur Neptune, la grosse planète la plus éloignée du Soleil.

C'est la sonde Voyager 2 qui la première, à la fin des années 1980, avait détecté les grandes tempêtes sombres de Neptune. Depuis, seul le télescope spatial Hubble a été en mesure de suivre ces phénomènes qui jouent à cache-cache avec les astronomes. Deux grosses tempêtes se sont développées au milieu des années 1990 avant de disparaître. La dernière tempête sombre a été aperçue en 2015 et c'est elle qui est en train de se dissoudre sous les yeux de Hubble.

Comme la Grande Tache rouge de Jupiter, cette tempête tourne comme un anticyclone et fait remonter de la matière des profondeurs de l'atmosphère. C'est une occasion unique pour les astronomes d'étudier les vents de basse altitude que l'on ne peut normalement pas mesurer directement.

Le matériau sombre qui fait son apparition et teinte la tempête en remontant peut être du sulfure d'hydrogène, ce composé qui à l'état gazeux a une odeur caractéristique d'œuf pourri. Sous forme de cristaux, il est brillant, mais moins que les autres particules de glace

*Dissipation d'une tempête sombre sur Neptune. Ces images prises par le télescope spatial Hubble couvrent plus de deux ans et montrent l'ovale passant d'une largeur de 5 000 kilomètres à 3 700 kilomètres. Les premières images ont été prises dans le cadre du programme OPAL (Outer Planet Atmospheres Legacy) qui acquiert chaque année des cartes globales des quatre géantes gazeuses du Système solaire. (NASA, ESA, M.H. Wong, A.I. Hsu, UC Berkeley)*

qui l'entourent, ce qui par contraste confère un aspect sombre à la tempête.

Contrairement à la Grande Tache rouge de Jupiter qui est visible depuis des siècles, les vortex de Neptune ne durent que quelques années. Celui-ci est le premier que l'on voit mourir. On ne sait pas comment ils se forment ni à quelle vitesse ils tournent. On suppose qu'une instabilité de cisaillement entre les vents d'est et d'ouest pourrait en être la cause.

Les simulations dynamiques montrent que, soumis au cisaillement des vents de Neptune, les anticyclones devraient migrer vers l'équateur. Une fois proche de celui-ci ils devraient se désintégrer et donner lieu à une forte activité nuageuse. Mais le vortex sombre ne se comporte pas de cette manière. Il disparaît tout à fait tranquillement et il se

déplace vers le pôle sud au lieu de l'équateur. Contrairement aux nombreuses bandes de Jupiter correspondant à des vents alternés, Neptune ne semble avoir que trois jets larges, l'un dirigé vers l'ouest à l'équateur, et les deux autres vers l'est autour des pôles. Sans doute le vortex peut-il changer de bande de circulation et aller n'importe où entre les jets.

## ***Eau lunaire***

Une nouvelle analyse des données issues de deux missions lunaires suggère que l'eau est répartie uniformément à la surface de notre satellite et n'est pas confinée à certains types de terrains ou à certaines zones. Elle est présente de jour comme de nuit, mais pas nécessairement facilement accessible.

Ces résultats devraient aider les scientifiques à comprendre l'origine de l'eau de la Lune et à estimer son accessibilité en tant que ressource pour de futurs explorateurs. Si elle est abondante et facilement disponible, elle pourrait servir pour la boisson, mais aussi donner de l'oxygène pour la respiration, ainsi que de l'oxygène et de l'hydrogène pour les fusées.

La signature de l'eau est présente partout sur la Lune, à tout moment. On la trouve quelle que soit la nature du sol. Ce résultat contredit d'anciennes études qui donnaient l'eau plus abondante près des pôles et liée au mois lunaire. On avait émis l'hypothèse que l'eau se déplaçait à la surface et se faisait capturer dans des « pièges froids » au fond de cratères proches des pôles. En planétologie on appelle piège froid un endroit si froid qu'à son contact des substances volatiles comme l'eau se figent pour l'éternité, ou presque.

Le débat persistait en raison de l'incertitude relative des méthodes de détection. Jusqu'à présent on se basait essentiellement sur la mesure de la lumière réfléchie. Les spectres de l'eau donnent une signature à la longueur d'onde infrarouge de 3 microns. Le problème est que la Lune rayonne par elle-même dans

le domaine thermique infrarouge. Pour faire la part entre lumière réfléchie et rayonnement thermique, il faut une connaissance précise de la température. Pour obtenir cette information les astronomes ont établi un modèle sur base des données de l'instrument Diviner embarqué sur le LRO (Lunar Reconnaissance Orbiter). Ce modèle de température a été appliqué aux mesures faites antérieurement par le spectromètre Moon Mineralogy Mapper embarqué sur l'orbiter indien Chandrayaan-1.

L'ubiquité de l'eau et sa stabilité suggèrent qu'il s'agit principalement du radical hydroxyle OH – de l'eau amputée d'un atome d'hydrogène. L'hydroxyle est très réactif et s'attache chimiquement aux autres molécules des minéraux lunaires. Il faudrait donc l'en extraire pour obtenir de l'eau.

Sachant les difficultés que l'eau et l'hydroxyle ont pour bouger à la surface de la Lune, on pourra mieux évaluer la quantité d'eau que pourraient capturer les pièges froids des pôles. Les résultats obtenus pour notre satellite pourraient être étendus aux autres corps rocheux du Système solaire.

Il reste à comprendre d'où vient l'eau. Ces nouveaux résultats tendent à prouver que OH et/ou H<sub>2</sub>O sont créés au moins en partie par le vent solaire. Une autre partie pourrait provenir de l'intérieur de la Lune, les minéraux qui l'emprisonnaient depuis toujours la libérant graduellement.

***L'eau lunaire pourrait-elle pourvoir aux besoins des explorateurs ?  
(NASA's Goddard Space Flight Center)***



## ***Un amateur capture la naissance d'une supernova***

*Basé sur un communiqué Université Paris Diderot*

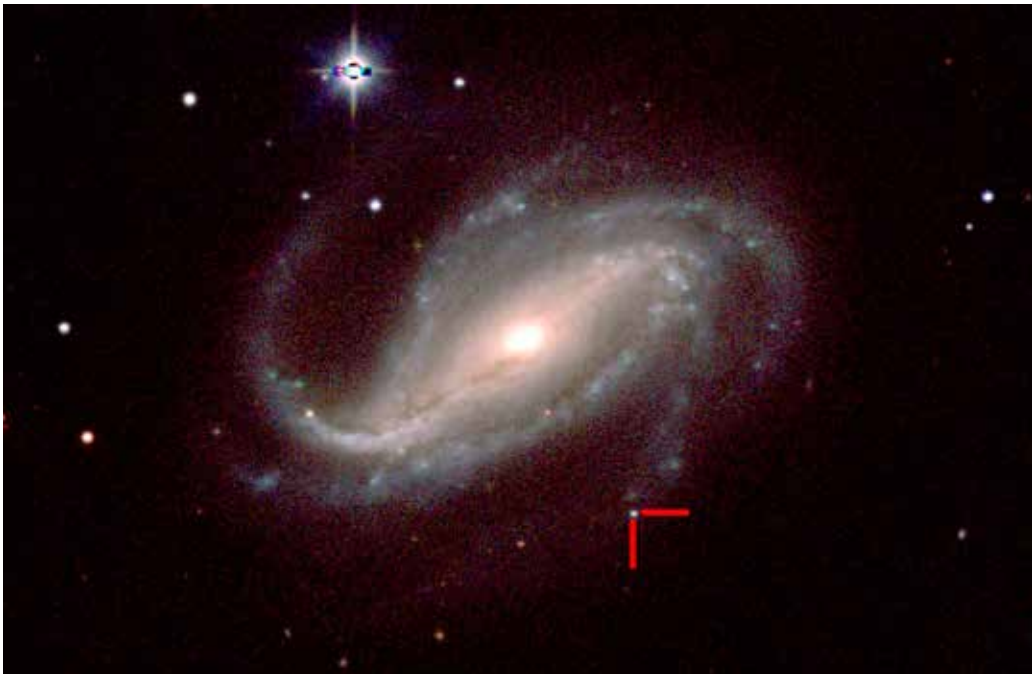
L'explosion d'une étoile massive a pu être capturée dès son début par un astronome amateur. Ces données et des observations complémentaires obtenues par une batterie de télescopes ont permis à une équipe de chercheurs de plusieurs instituts de tester pour la première fois les prédictions théoriques sur l'évolution initiale de telles explosions stellaires.

Jusqu'ici purement théoriques, les modèles de supernova indiquaient que l'augmentation spectaculaire de la luminosité d'une supernova était due à l'émergence d'une vague lumineuse, une onde de choc explosive à la surface de l'étoile. Un tel phénomène avait été prédit depuis longtemps et était activement recherché par plusieurs groupes de scientifiques à travers le monde. Mais c'est un astronome amateur, chanceux et très vigilant, qui a réussi

à suivre pour la première fois l'évolution des toutes premières phases de ce phénomène.

Le 20 septembre 2016, alors que Víctor Buso, originaire de Rosario en Argentine, testait un nouveau télescope de 40 centimètres de diamètre, il remarqua qu'un nouvel objet très peu lumineux était apparu au sud du centre de la galaxie spirale NGC 613, située dans la constellation du Sculpteur, à environ 80 millions d'années-lumière de la Terre. Sous ses yeux, une supernova explosait. En moins d'une demi-heure, l'objet avait multiplié sa luminosité par 3. S'il s'agissait d'une première découverte de supernova pour cet homme,

***La supernova 2016gkg dans la galaxie NGC 613 est photographiée ici le 18 février au moyen du télescope Swope de 1 mètre à l'observatoire de Las Campanas, au Chili.  
(Carnegie Institution for Science/  
Las Campanas Observatory/UC Santa Cruz)***

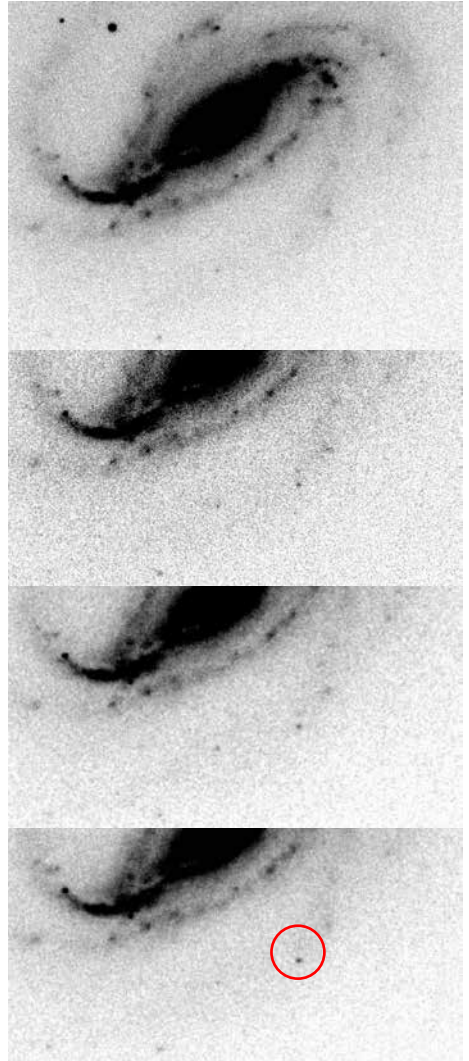


elle était aussi une découverte unique parmi les milliers d'événements similaires détectés chaque année.

Cataloguée comme SN 2016gkg, cette supernova a rapidement attiré l'attention d'une équipe de chercheurs qui ont promptement réalisé que l'événement était inédit. Ils ont soigneusement analysé les images et comparé l'augmentation de luminosité avec les prédictions de leurs simulations informatiques. Les images étaient de grande qualité et les conditions du ciel étaient idéales pour réaliser une telle découverte. On estime que les premières observations ont été obtenues seulement 1 à 3 heures après l'explosion, une donnée capitale pour les modèles.

Selon les modèles envisagés précédemment par les astrophysiciens, l'augmentation brutale et initiale de la lumière d'une supernova peut s'expliquer par l'émergence du choc à la surface de l'étoile. Après analyse de la supernova SN 2016gkg, cette hypothèse semble tout à fait corroborée. Les modèles ne nécessitaient aucune modification afin de reproduire de manière cohérente l'augmentation initiale et le reste de l'évolution de la supernova. L'événement 2016gkg se révèle plutôt ordinaire, ce qui implique que la phase qui est observée est sans doute commune à toutes les supernovæ, comme le prédisent les modèles. L'augmentation initiale et rapide de la luminosité est bien compatible avec le phénomène qui marque la naissance de la supernova. C'est le moment exact où l'onde de souffle de l'explosion émerge de la surface stellaire, après avoir traversé l'intérieur de l'étoile de façon supersonique. À ce moment précis, une énorme quantité de lumière est violemment libérée, dans un flash lumineux.

Cet événement a prouvé que, même dans la nouvelle ère des grandes levées robotiques, les astronomes amateurs vigilants peuvent fournir des données inestimables à la communauté scientifique. En combinant les différentes circonstances qui ont permis cette découverte, la rareté des supernovæ (environ une par siècle dans une galaxie), la brièveté de l'augmentation lumineuse (environ une heure), la clarté du ciel nécessaire et l'emplacement de la supernova en bordure de la galaxie, la découverte de l'amateur Victor Buso avait une probabilité de se produire d'environ un sur cent millions !



*Images de découverte de la supernova 2016gkg par Victor Buso le 20 septembre 2016. On voit l'augmentation progressive de sa luminosité.  
(Victor Buso & Gastón Folatelli)*



## ***Premières étoiles et matière sombre***

Le petit radiotélescope EDGES (Murchinson, Australie) a peut-être observé le signal des premières étoiles de l'Univers, lorsque celui-ci avait moins de 200 millions d'années. Ce signal est la raie à la fréquence de 1,4 GHz (soit une longueur d'onde de 21 cm) de l'hydrogène neutre interstellaire illuminé par le rayonnement UV des étoiles et que l'on retrouve « rougie » à 78 MHz par l'expansion cosmique. La température de l'hydrogène est curieusement basse et suggère une interaction avec la matière sombre.

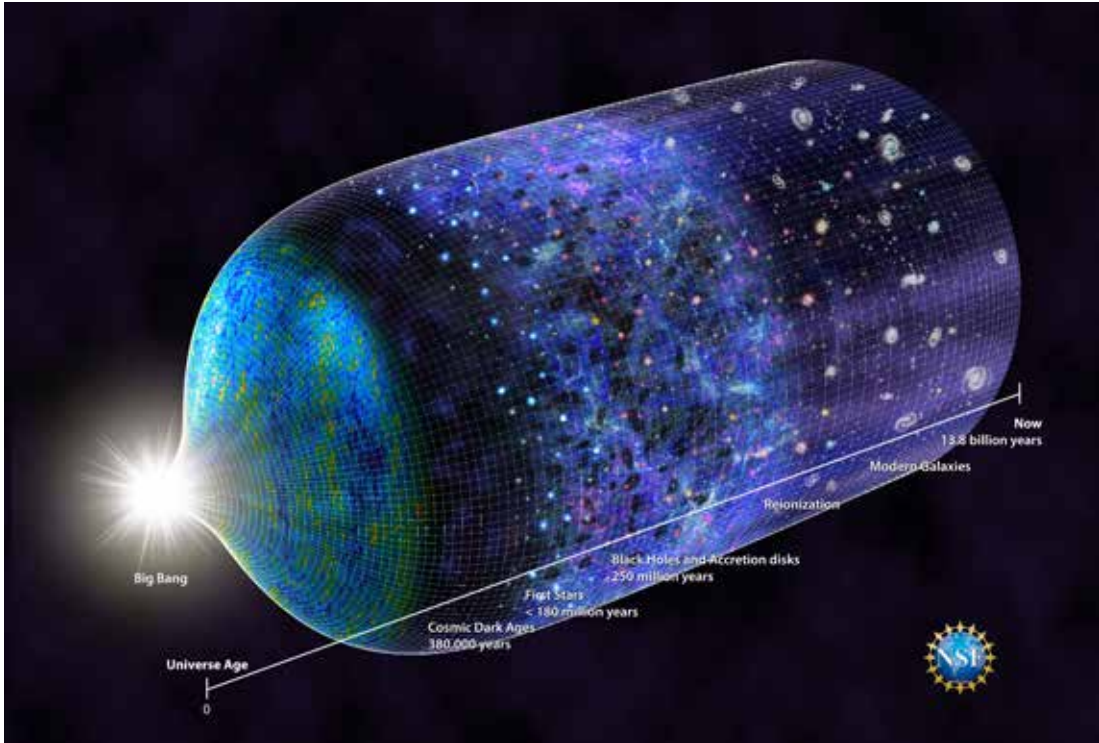
L'importance de ce résultat explique que l'équipe ait passé deux ans à chercher toutes les explications alternatives et à les éliminer l'une après l'autre.

Les astronomes cherchent depuis des lustres les premières étoiles de l'Univers – celles créées alors qu'il n'existait pas encore de métaux, c'est-à-dire pas d'atomes plus lourds que l'hélium. On pense que ces étoiles étaient très grosses, très brillantes et très éphé-

***Le spectromètre radio de Murchinson est à peine plus grand qu'une table de ping-pong.  
(CSIRO Australia)***

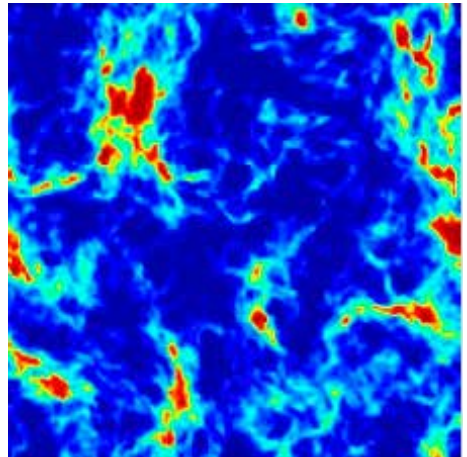
mères. Après leur courte vie elles explosaient en éparpillant les premiers métaux dans l'espace donnant ainsi la possibilité de former des étoiles accompagnées de planètes rocheuses capables de supporter la vie.

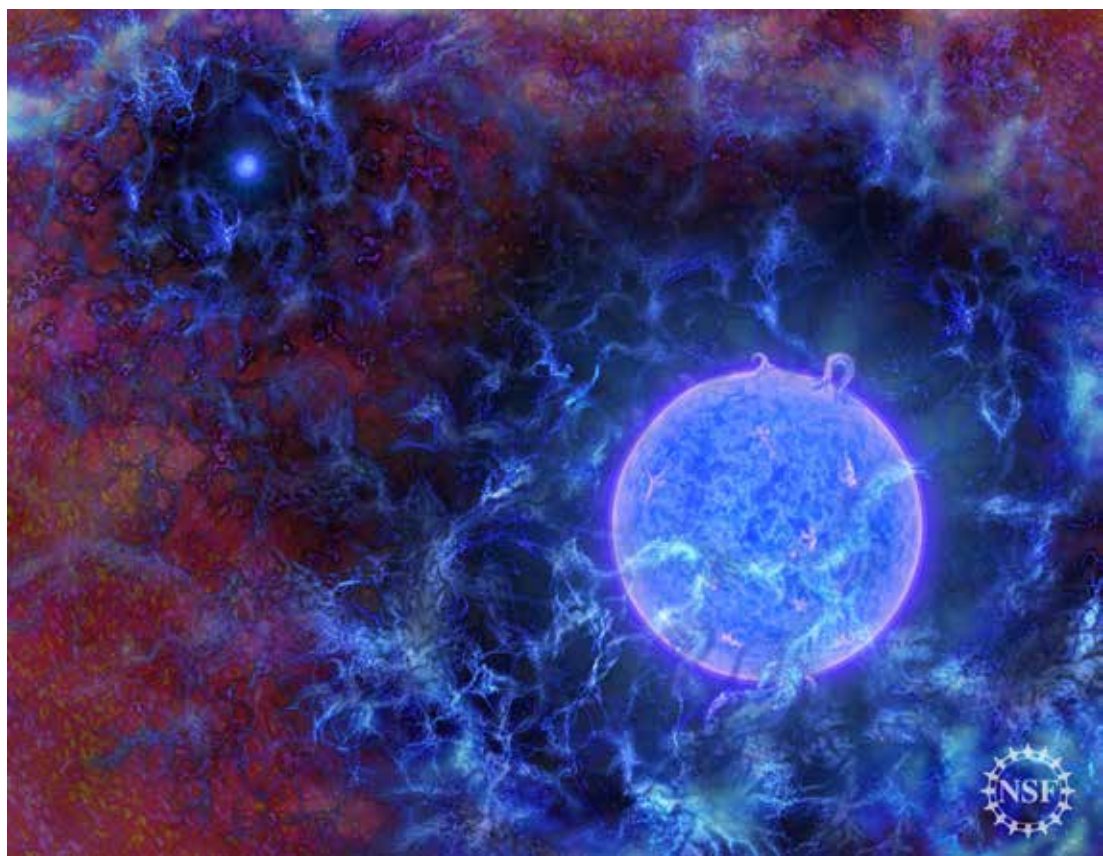
Malgré leur éclat on ne peut voir directement ces monstres avec les moyens dont nous disposons, mais les astronomes ont cherché les signes de leur présence dans le domaine radio, grâce à la fameuse raie à 21 cm de l'hydrogène neutre, celle-là même qui a permis de tracer les premières cartes des bras spiraux de notre galaxie, la Voie lactée. Cette raie peut être vue dans le spectre du fond de rayonnement cosmique à 3 K comme une raie d'absorption imprimée par les nuages d'hydrogène interstellaires. L'excitation des atomes d'hydrogène est gouvernée par le rayonnement ultraviolet des étoiles et son observation peut ainsi révéler leur présence.



*Histoire de l'Univers. La période avant l'apparition des premières étoiles est souvent appelée l'âge sombre.  
(N.R.Fuller, National Science Foundation)*

*Type de structure que l'on s'attend à observer en raison des effets des étoiles primordiales et de la matière sombre. En bleu figurent les zones où la matière sombre refroidit le plus le gaz.  
(Prof. Rennan Barkana)*





L'expansion de l'Univers depuis un âge de moins de 200 millions d'années à celui actuel de 13,8 milliards d'années implique un « redshift » extrême. Le signal découvert par le radiotélescope EDGES se situe aux environs de la fréquence de 78 MHz, soit une longueur d'onde de l'ordre de 4 mètres, et une origine à un âge de 180 millions d'années.

Si l'âge est en accord avec les supputations des astronomes, le signal s'est par contre révélé plus puissant – l'absorption plus importante – que ce qu'ils attendaient. Cela signifie que les nuages d'hydrogène sont plus froids que prévu. Une explication pourrait être que les atomes d'hydrogène auraient été refroidis par suite d'interactions avec des particules de matière sombre peu massives. La détection

***Les premières étoiles étaient probablement des géantes bleues. Vision d'artiste. (N.R.Fuller, National Science Foundation)***

des étoiles primordiales serait donc en même temps celle, tout aussi importante, des particules de la mystérieuse matière sombre sur laquelle achoppent toutes les expériences.

Les physiciens pensent généralement que la matière sombre est faite de particules massives, mais les résultats de EDGES suggèrent qu'elles ne pèsent pas plus de quelques protons. Le futur radiotélescope géant SKA sera particulièrement bien adapté pour confirmer ou pas cette découverte.