

L'astronomie dans le monde



Antarès

Basé en partie sur des communiqués ESO

Le VLTI de l'ESO a été utilisé pour cartographier la surface de l'étoile et déterminer les mouvements de matière à la surface d'Antarès. L'image obtenue est la plus détaillée à ce jour de la surface et de l'atmosphère d'une étoile autre que le Soleil.

En 2009 (*Le Ciel*, février 2010, 80) des astronomes avaient utilisé l'interféromètre IOTA¹ pour obtenir une image sans précédent de la surface d'une autre célèbre supergéante rouge, Bételgeuse dans la constellation d'Orion (cf. p 466). Le cliché révélait la présence de deux gigantesques taches brillantes couvrant en grande partie l'astre. Il s'agissait d'une première indication forte et directe de

la présence de phénomènes de convection, transport de la chaleur par la matière en mouvement, dans une étoile autre que le Soleil.

Rivale de Mars, la rouge Antarès brille avec intensité dans le Scorpion. En termes astronomiques, cette étoile est une supergéante rouge relativement froide en fin de vie, sur le point de se changer en supernova. Ces étoiles naissent avec une masse comprise entre neuf et quarante masses solaires. On estime qu'Antarès avait une quinzaine de fois la masse du Soleil. Elle a depuis perdu trois masses

L'interféromètre IOTA (Infrared Optical Telescope Array) au Mont Hopkins était constitué de trois télescopes de 45 cm pouvant être positionnés à différentes stations sur un L de 15 m sur 35 m. (CFI/IOTA)

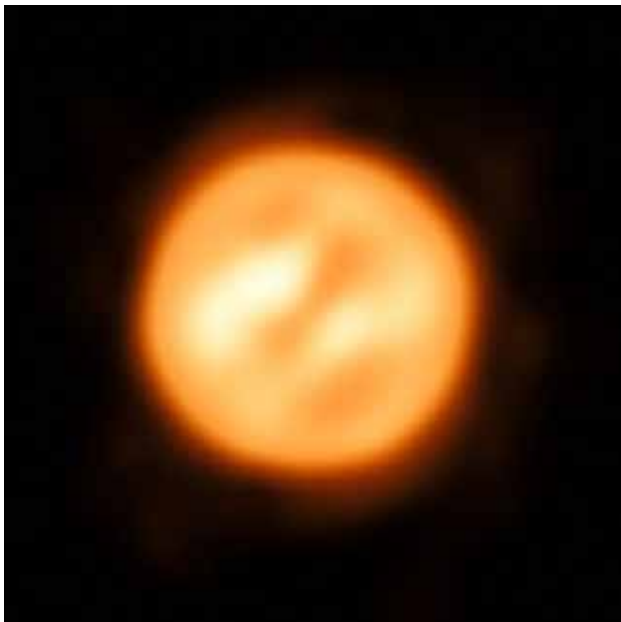
¹ IOTA (Infrared and Optical Telescope Array) était un interféromètre optique à longue base initialement construit par un consortium constitué du Harvard College Observatory, du MIT Lincoln Laboratory, du Smithsonian Astrophysical Observatory, de l'université du Massachusetts et de celle du Wyoming. Il était implanté en Arizona, sur le Mont Hopkins, à une quarantaine de kilomètres de Tucson et a obtenu ses premières franges en décembre 1993, sur un petit ressaut en dessous du Monolithic Mirror Telescope (MMT). Il était constitué de deux, puis trois sidérostats pouvant se déplacer le long de rails disposés en L. Travaillant dans le visible et l'infrarouge proche, il a permis d'estimer nombre de diamètres stellaires (miras et autres grosses étoiles). Sa fermeture a eu lieu le 1^{er} juillet 2006, par manque de fonds. (Wikipedia)





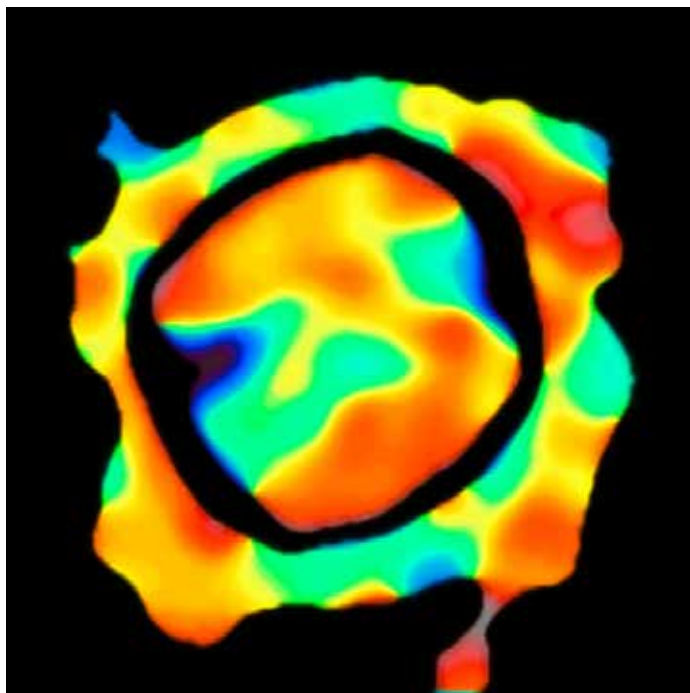
Les télescopes de 8 m 20 du VLT ainsi que les télescopes auxiliaires de 1 m 80 forment l'interféromètre VLTI de l'ESO au Cerro Paranal. (ESO/G. Hühdepohl)

Antarès vue avec le VLT de l'ESO. Il s'agit de l'image la plus détaillée d'une étoile autre que le Soleil. (ESO/K. Ohnaka)





*Vue d'artiste d'Antarès
(ESO/M. Kornmesser)*



*Cartographie des
mouvements de matière
à la surface de la
supergéante rouge
Antarès réalisée avec le
VLT. En rouge figurent
les régions dont la
matière s'éloigne de
nous, en bleu celles dont
la matière se rapproche
de nous. La zone vide
située en périphérie de
l'étoile correspond à
une région dépourvue
de données.
(ESO/K. Ohnaka)*

solaires et enflé jusqu'à un diamètre excédant 700 diamètres solaires.

Le VLTI est un instrument unique capable de combiner la lumière en provenance de quatre télescopes – les télescopes de 8,2 mètres de diamètre ou les télescopes auxiliaires de taille intermédiaire – en vue de constituer un télescope virtuel doté d'un miroir unique de 200 mètres de diamètre. La résolution des détails fins excède de loin celle obtenue au moyen d'un seul des télescopes.

Le processus responsable de la perte de masse si rapide d'étoiles en fin de vie telle Antarès est longtemps resté mystérieux.

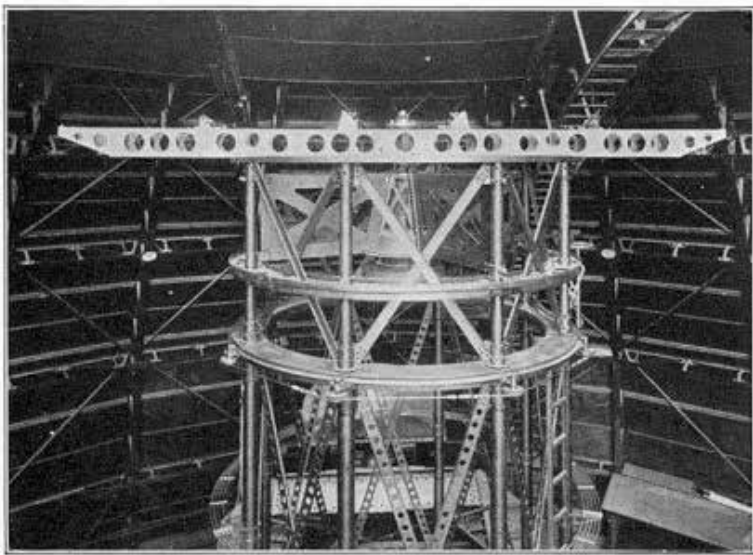
Le VLTI est le seul instrument permettant de mesurer directement les mouvements de gaz au sein de l'atmosphère étendue d'Antarès – une étape clé dans la résolution de ce problème. Le défi suivant consistera à identifier la source de ces mouvements turbulents.

Les nouveaux résultats obtenus ont permis à l'équipe de générer la première carte bidimensionnelle des mouvements animant

l'atmosphère d'une étoile autre que le Soleil. La combinaison de trois des télescopes auxiliaires et de l'instrument AMBER a permis d'obtenir une série d'images de la surface d'Antarès sur une petite portion du spectre infrarouge.

Les astronomes ont ensuite déduit grâce à l'effet Doppler les différences de vitesses du gaz atmosphérique en diverses régions de l'étoile ainsi que la vitesse moyenne sur la globalité de sa surface. Ils ont ainsi pu réaliser une carte de la vitesse relative du gaz atmosphérique sur la totalité du disque d'Antarès – la première carte de ce type établie pour une étoile autre que le Soleil.

Les astronomes ont découvert l'existence de gaz turbulent, de faible densité, à plus grande distance du centre de l'étoile qu'on le pensait, et ils en ont conclu que le mouvement ne pouvait résulter du processus de convection qui transfère le rayonnement issu du noyau vers l'enveloppe extérieure de nombreuses étoiles. Leur étude les a conduits



L'interféromètre stellaire installé sur le télescope Hooker de 100 pouces du Mont Wilson. (G.E. Hale, 1922)

Diamètres apparents

Comment deviner qu'une étoile a un grand diamètre apparent et que Bételgeuse apparaît beaucoup plus grosse que Rigel, par exemple ?

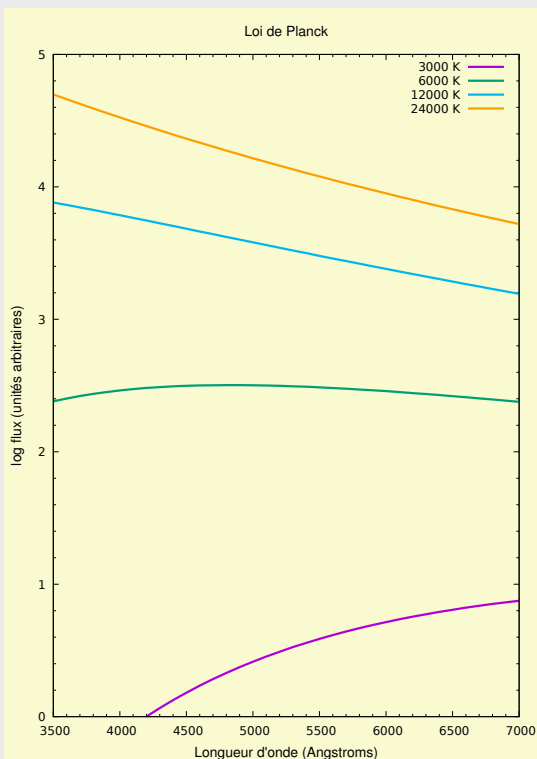
Le facteur le plus évident est la brillance. Si une étoile est quatre fois plus brillante qu'une autre en tout point semblable, et s'il n'y a pas de nuages interstellaires pour atténuer les éclats, c'est qu'elle est deux fois plus proche et son diamètre apparent est deux fois plus grand.

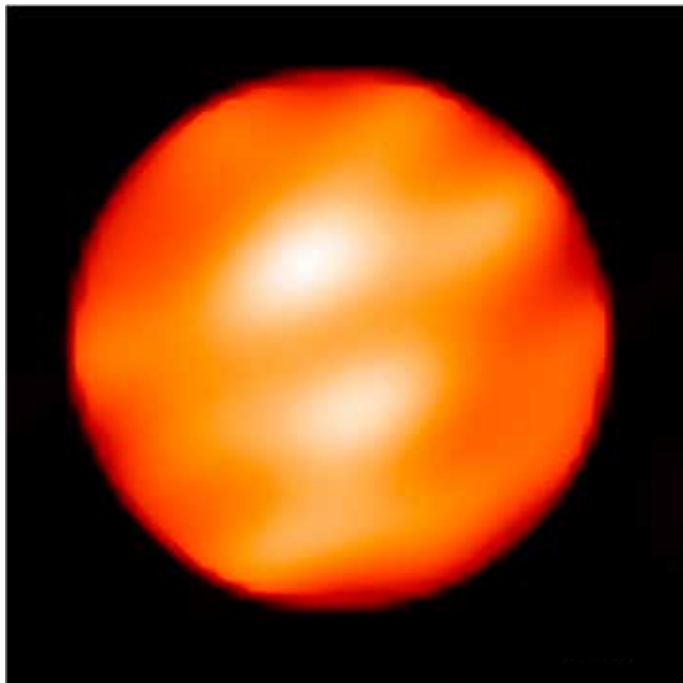
Mais un autre facteur déterminant est la couleur. En première approximation on peut assimiler une étoile à un corps « noir », c'est-à-dire un corps qui émet et absorbe parfaitement le rayonnement électromagnétique. Un four est un bon exemple de corps noir. La loi de Stefan-Boltzmann nous enseigne que l'émission d'un corps noir par unité de surface est proportionnelle à la quatrième puissance de la température absolue. C'est une dépendance très forte. En passant de 3 000 degrés à 6 000 degrés, on multiplie l'émission par 16. Il faut donc qu'un objet de 3 000 K ait une surface 16 fois plus grande qu'un objet de 6 000 K pour rayonner autant. Mais ceci concerne le spectre électromagnétique entier, or nous ne voyons qu'une petite partie de celui-ci entre grosso modo 4 000 et 6 500 angströms. Comme nous nous intéressons à l'éclat visuel des étoiles, peu nous importe qu'elles rayonnent beaucoup en infrarouge ou en ultraviolet. Nous devons donc nous intéresser à la distribution spectrale de cette émission. Pour un corps idéal elle est donnée par la loi de Planck et ne dépend que de la température. La figure ci-jointe montre, en unités arbitraires et sous forme logarithmique, la loi de Planck pour quatre températures différentes, de 3 000 K (étoiles rouges très « froides ») à 24 000 K (étoiles bleues, très chaudes). On voit qu'à 3 000 K, la majorité du rayonnement part dans l'infrarouge

et que l'œil ne reçoit pratiquement plus rien. Cela fait écho à la loi de Wien qui dit que la longueur d'onde du maximum d'émission, exprimée en microns, est de $2900/T$. Le maximum est donc dans l'infrarouge proche, vers 1 micron (10 000 angströms).

On constate au bas mot une émission deux ordres de grandeur plus faible qu'à 6 000 K. Autrement dit si deux étoiles de 3 000 K et 6 000 K nous paraissent à l'œil d'intensités comparables, c'est que leurs diamètres apparents diffèrent d'un facteur dix, qu'elles soient à la même distance ou pas.

Il est donc normal de chercher les grands diamètres apparents dans les étoiles rouges brillantes et c'est ainsi que Rigel et Bételgeuse, les deux lumineuses d'Orion ont des diamètres apparents qui diffèrent d'un facteur dix.





*Bételgeuse vue dans
l'infrarouge proche avec
l'interféromètre IOTA.
(X. Haubois et al.)*



*Bételgeuse vue par
ALMA dans le domaine
submillimétrique
(longueur d'onde de
890 microns). C'est la
première fois qu'ALMA
observe la surface d'une
étoile.
(ALMA, ESO/NAOJ/
NRAO)/E. O'Gorman/
P. Kervella)*

à envisager l'existence d'un processus encore inconnu, responsable de ces mouvements au sein des atmosphères étendues de supergéantes rouges semblables à Antarès.

Cette technique d'observation, jusqu'alors limitée à la seule étude du Soleil, pourrait être appliquée à différents types d'étoiles afin d'analyser leur surface et leur atmosphère de manière plus détaillée que jamais.

Bételgeuse

Basé en partie sur des communiqués ESO

Bételgeuse est une des plus grandes étoiles connues. C'est aussi celle qui nous présente le plus grand diamètre apparent – à l'exception du Soleil – malgré une distance d'environ 600 années-lumière. Cela lui avait valu d'être la première à être mesurée directement. Dès 1920, Robert Michelson avait utilisé un interféromètre sur le tout nouveau télescope de 100 pouces (2 m 50) du Mont Wilson pour mesurer le diamètre de Bételgeuse. Il l'estima à 0,047 seconde d'arc en supposant un disque uniforme. La prise en compte de l'assombrissement centre-bord conduirait à une valeur légèrement supérieure, 0,055 seconde.

Les mesures plus récentes avec IOTA, ou AMBER/VLTI donnent des valeurs de l'ordre de 0,042 seconde. La distance, encore assez mal connue est estimée à 643 ± 146 années-lumière, ce qui conduit à un diamètre de 887 ± 203 diamètres solaires, ou $1,23 \pm 0,28$ milliard de kilomètres.

L'âge de l'étoile n'est que de huit millions d'années mais elle est déjà sur le point de devenir une supernova. Quand cela arrivera, l'explosion sera visible depuis la Terre en plein jour.

Cette étoile a été observée dans plusieurs longueurs d'onde, en particulier dans le visible, l'infrarouge et l'ultraviolet. Avec l'aide du VLT de l'ESO, les astronomes ont découvert un vaste nuage de gaz et de poussière

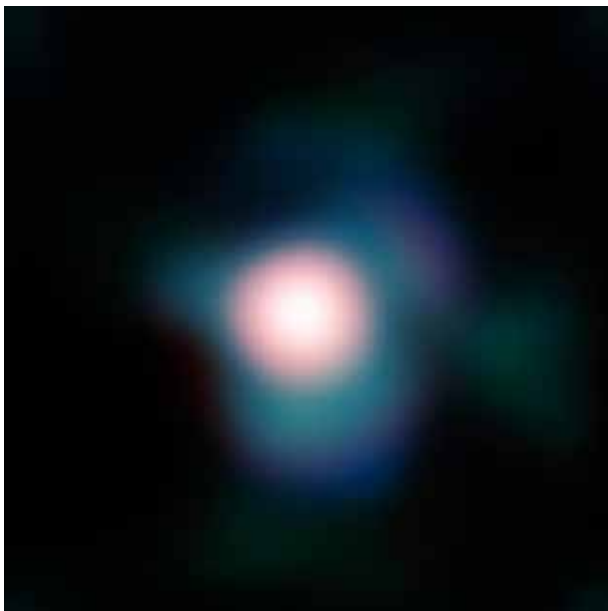


Image de Bételgeuse obtenue avec l'aide de l'optique adaptative au VLT de l'ESO. La résolution est de 37 millièmes de secondes d'arc, soit l'équivalent d'une balle de tennis à la distance de la station spatiale ISS. Il s'agit d'un composite d'images prises à diverses longueurs d'onde de l'infrarouge proche. (ESO and P. Kervella)

presque aussi grand que le Système solaire. Les astronomes ont aussi trouvé une gigantesque bulle sur la surface de Bételgeuse. Ces caractéristiques aident à expliquer comment l'étoile perd du gaz et de la poussière à une vitesse exceptionnelle.

Dans les longueurs d'onde submillimétriques ALMA observe le gaz chaud de la chromosphère basse. Les variations locales de température expliquent pourquoi elle n'est pas symétrique. Scientifiquement ALMA peut nous aider à comprendre les atmosphères étendues de ces étoiles chaudes.

FRB à répétitions

Breakthrough Listen, le projet de recherche de vie intelligente dans l'Univers, a détecté une succession de 15 sursauts FRB (Fast Radio Bursts) émanant du mystérieux « répéteur » FRB 121102. Les FRB sont de brefs éclairs radio – d'une durée de quelques millisecondes – provenant de galaxies lointaines. Les premiers ont été détectés en fouillant les données d'archives du radiotélescope de Parkes en Australie. Depuis lors, plusieurs radiotélescopes en ont détectés en direct. Comme l'indique sa désignation, FRB 121102 a été observé le 2 novembre 2012. En 2015 il était le premier FRB à répéter un sursaut, ce qui éliminait d'office les hypothèses catastrophiques expliquant l'émission du 2 novembre 2012 par la destruction d'un astre. En 2016 sa position était suffisamment précise pour pouvoir situer l'objet dans une galaxie distante de trois milliards d'années-lumière.

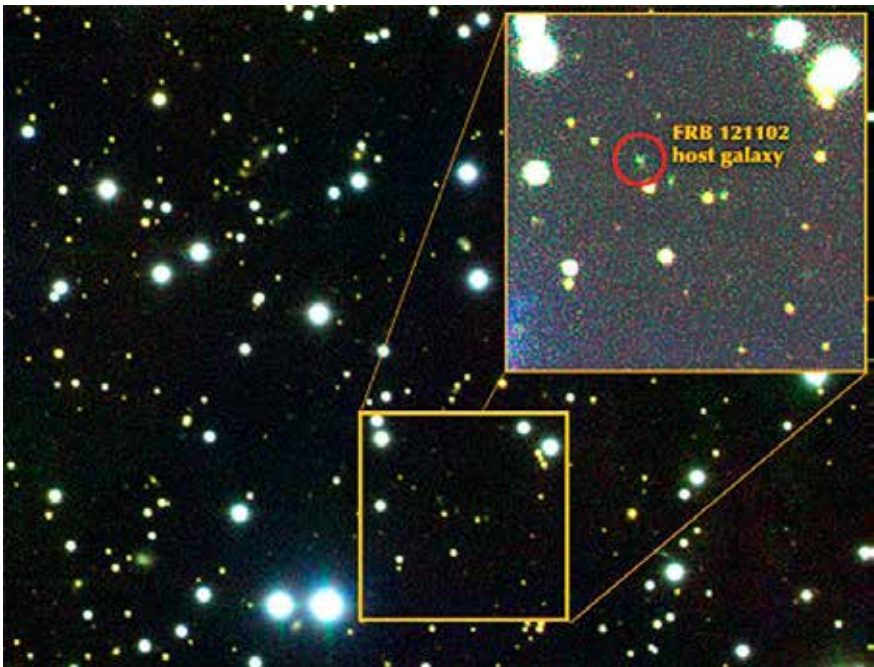
À partir de ce moment, cette galaxie est devenue la cible de campagnes d'observations

diverses de par le monde. Les hypothèses concernant la nature de ce FRB sont extrêmement variées, et parfois très créatives, puisqu'elles vont des étoiles à neutrons très magnétiques aux sources de propulsion des vaisseaux spatiaux des petits hommes verts.

Breakthrough Listen est précisément une initiative globale lancée en 2015 par l'investisseur internet et philanthrope Yuri Milner et le célèbre savant Stephen Hawking. FRB 121102 avait été inclus dans le projet parmi la liste des cibles susceptibles de montrer la signature de technologies extraterrestres.

Le matin du samedi 26 août le radiotélescope de Green Bank en Virginie de l'Ouest était en train de suivre le site de l'objet. En cinq heures, 400 TB de données avaient été accumulés sur toute la bande de 4 à 8 gigahertz. Cet énorme « dataset » a alors été

***La galaxie-hôte du FRB 121102
(Gemini Observatory/AURA/NSF/
NRC)***





***Le radiotélescope de Green Bank en
Virginie de l'Ouest. (NRAO)***

analysé pour découvrir d'éventuels sursauts présents dans toutes les fréquences et montrant une « dispersion » caractéristique d'une grande distance. Cela veut dire que l'on a cherché un signal présentant un retard variable en fonction de la fréquence. L'importance de ce retard est directement proportionnelle à la quantité de gaz présent sur la ligne de visée et donc, statistiquement à la distance de l'astre. En plus d'une confirmation de l'activité de la source, ces données de haute résolution (plusieurs milliards de canaux sur la bande de fréquence !) devront permettre de mesurer avec beaucoup de précision les propriétés de ces sursauts et la nature du phénomène.

C'est aussi la première fois que l'on montre que les pulses ont lieu à d'aussi hautes fréquences – l'émission maximale est aux environs de 7 gigahertz.

Que l'origine de ce FRB soit naturelle ou artificielle, les observations permises par le projet Breakthrough Listen auront permis d'avancer dans la connaissance de l'Univers. Le projet prévoit d'observer pas moins d'un million d'étoiles proches, l'entièreté du plan galactique et une centaine de galaxies proches dans une vaste gamme du spectre électromagnétique radio et visible.

Galaxies méduses

Basé sur un communiqué ESO

L'instrument MUSE du VLT à l'observatoire de Paranal de l'ESO a été utilisé pour étudier le processus responsable de l'évasion du gaz des galaxies, et plus spécifiquement dans le cas extrême des galaxies « méduses ». Celles-ci, situées au cœur d'amas de galaxies proches, doivent leur surnom aux longs tentacules de matière qui s'étendent sur plusieurs dizaines de milliers d'années-lumière au-delà du disque de ces galaxies. On en connaît environ 400.

Les tentacules des galaxies méduses résultent de la pression dynamique qui s'exerce lors du déplacement rapide de gaz dans les amas de galaxies. Le gaz intergalactique de température et de densité élevées se comporte comme un vent puissant et expulse le gaz hors des galaxies sous forme de queues dans lesquelles se déclenche la formation d'étoiles.

Six des sept galaxies méduses de l'échantillon considéré abritent un trou noir supermassif qui se nourrit du gaz environnant. Cette proportion est étonnamment élevée – en moyenne, seulement dix pour cent des galaxies sont concernées.

La raison pour laquelle seule une infime proportion des trous noirs supermassifs qui occupent les centres galactiques sont actifs est longtemps demeurée inconnue. En effet, un trou noir supermassif occupe le centre de la plupart des galaxies. Pourtant, seule une fraction d'entre eux accrète de la matière et brille intensément. Les résultats de la nouvelle étude révèlent l'existence d'un mode d'alimentation encore inconnu des trous noirs.

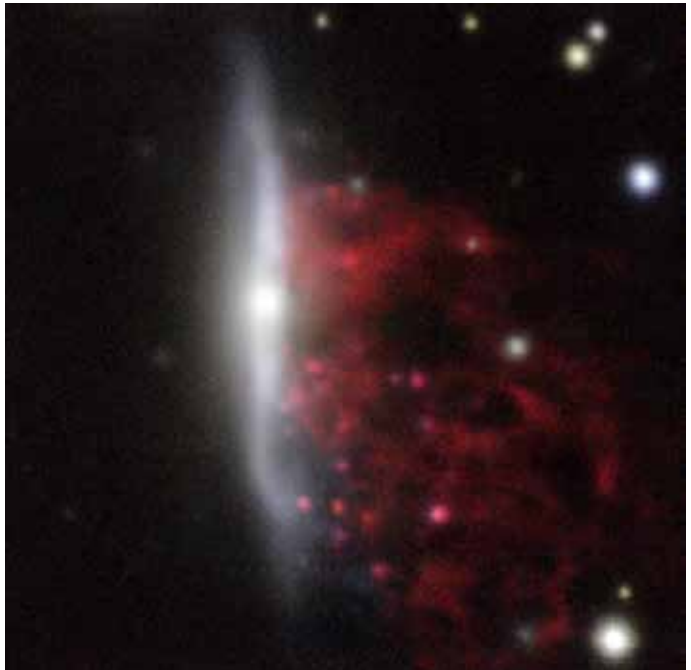
Ces observations s'insèrent dans le cadre d'une étude approfondie d'un plus

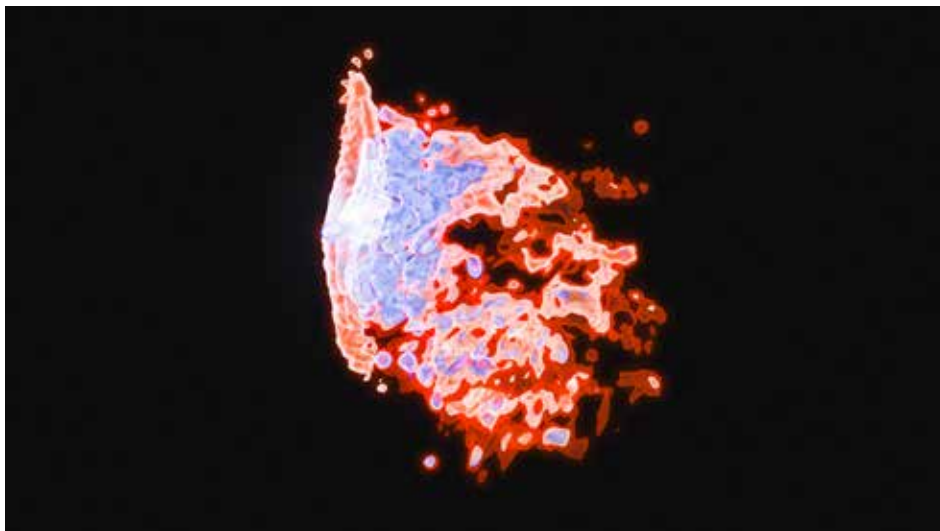
grand nombre de galaxies méduses actuellement en cours. À terme, ce sondage révélera le nombre ainsi que l'identité des galaxies riches en gaz qui, lorsqu'elles pénètrent à l'intérieur d'amas, connaissent un accroissement d'activité de leur noyau central.

Les processus de formation et d'évolution des galaxies au sein de notre Univers en constante expansion figurent parmi les plus grands mystères de l'astronomie. Parce qu'elles sont observées en pleine phase de transformation spectaculaire, les galaxies méduses offrent des clés de compréhension de l'évolution des galaxies.

Les astronomes ont également envisagé l'hypothèse concurrente selon laquelle l'acti-

L'une des galaxies méduses, baptisée JW100, image acquise avec MUSE au télescope VLT de l'ESO. On voit clairement la matière qui s'échappe sous l'aspect de longs filaments. (ESO/GASP collaboration)





té centrale de type AGN contribuerait à l'échappement du gaz d'une galaxie. Cela semble toutefois moins probable. Les galaxies méduses occupent une région de l'amas emplie d'un gaz chaud et dense particulièrement apte à générer de longs tentacules galactiques, diminuant ainsi la probabilité qu'ils résultent d'une activité de type AGN. La probabilité que la pression dynamique déclenche l'AGN est donc supérieure à celle que l'effet inverse se produise, ce qui conduit à envisager l'existence d'un nouveau mode d'alimentation du trou noir.

Vue d'une galaxie méduse où la couleur représente le décalage en longueur d'onde, et donc la vitesse radiale.

Les tentacules s'étendent vers la droite avec une vitesse différente du reste de la galaxie. (ESO)

Une autre galaxie méduse, JW206. (ESO/GASP collaboration)

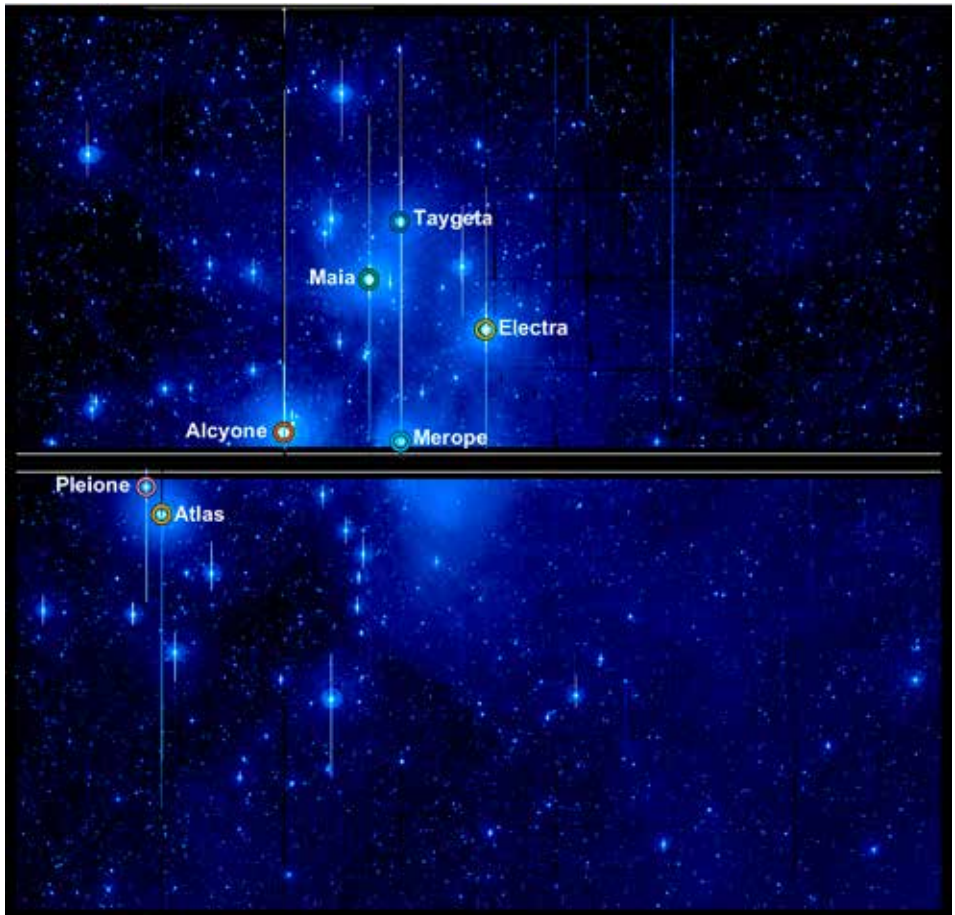


Les Pléiades

Basé sur des communiqués NASA

L'amas des Pléiades, Messier 45, est un astérisme remarquable qui a attiré l'attention de tout temps. On en trouve des représentations aussi anciennes que 1600 av. J.-C. (disque de Nebra). De nos jours les amateurs ne se lassent pas de le photographier (cf. page 502) pour faire apparaître les délicates nébulosités qui l'entourent. Mais les principales étoiles de l'amas sont trop brillantes pour être étudiées avec les télescopes actuels,

Les Pléiades observées par le télescope spatial Kepler lors de la quatrième campagne de sa mission K2. L'amas s'étend sur deux des 42 CCD de la caméra de 95 mégapixels de l'instrument. Les sept étoiles les plus brillantes – Alcyone, Atlas, Électre, Maïa, Mérope, Taygète, et Pléioné – sont visibles à l'œil nu. Des vues exceptionnelles peuvent en distinguer une douzaine et peut-être plus. Kepler n'était pas destiné à observer des objets aussi brillants qui saturent les CCD et créent les traînées verticales. Une méthode numérique permet cependant d'en tirer parti et de mesurer les variations de luminosité. (NASA, Aarhus University, T. White)



même relativement petits, et leurs instruments performants.

Et pourtant, la mise au point d'un nouvel algorithme a permis de faire usage des observations des étoiles brillantes de l'amas réalisées par le télescope spatial Kepler au cours de sa mission K2. Ces étoiles sont saturées sur les images qui sont prises pour étudier les variations de milliers d'étoiles faibles dans chaque champ. En d'autres termes la dynamique des clichés est insuffisante pour mesurer à la fois les objets faibles et brillants. La solution est simple : faute de pouvoir étudier le centre saturé des images des étoiles, on étudie les ailes du profil. Ce principe n'est pas nouveau, l'innovation vient d'une méthode permettant d'éliminer des effets instrumentaux liés au satellite et au détecteur. L'algorithme résultant, dit de « photométrie de halo », est disponible en open-source pour la communauté astronomique.

Six des sept sœurs se sont révélées être de classe B à pulsations lentes, une classe de variables caractérisées par des périodes de l'ordre du jour. La fréquence des pulsations est importante pour essayer de comprendre ce qui se passe au cœur de ces étoiles.

La septième sœur, Maïa, est différente : elle varie régulièrement avec une période de dix jours. Des études antérieures avaient montré que Maïa possède des abondances anormales en métaux tels que le manganèse. Des observations spectroscopiques complémentaires ont été effectuées au sol avec le télescope Hertzprung SONG à l'observatoire du Teide, à Tenerife, Canaries (cf. page de droite). Elles montrent que les variations de luminosité de Maïa sont en phase avec celles des raies spectrales du manganèse. On peut en conclure qu'elles sont tout simplement provoquées par une grosse tache de composition chimique particulière qui tourne avec l'étoile en une dizaine de jours.

Il y a 60 ans, l'astronome Otto Struve avait cru déceler une variabilité de Maïa avec

des périodes de quelques heures et en avait déduit l'existence d'une nouvelle classe de variables, les « variables Maïa », dont elle serait le prototype. Cette classe contenait d'autres objets brillants comme gamma Ursae Minoris. La variabilité de beaucoup de ces objets n'a pas été confirmée, ou elle s'est révélée d'une autre nature. Les mesures Kepler vont dans le même sens. L'existence de la classe Maïa est sérieusement mise en question et, de toute façon, Maïa n'en fait pas partie.

Le but principal des observations de Kepler est la détection de transits d'exoplanète. Les sept sœurs n'en ont pas montrés, mais il s'avère que la photométrie de halo permet d'atteindre la précision nécessaire pour les détecter. On a donc là une méthode capable de découvrir des planètes autour d'étoiles proches très brillantes comme alpha Centauri, qui pourraient être des cibles de choix pour les futurs télescopes spatiaux tels que le James Webb Space Telescope.

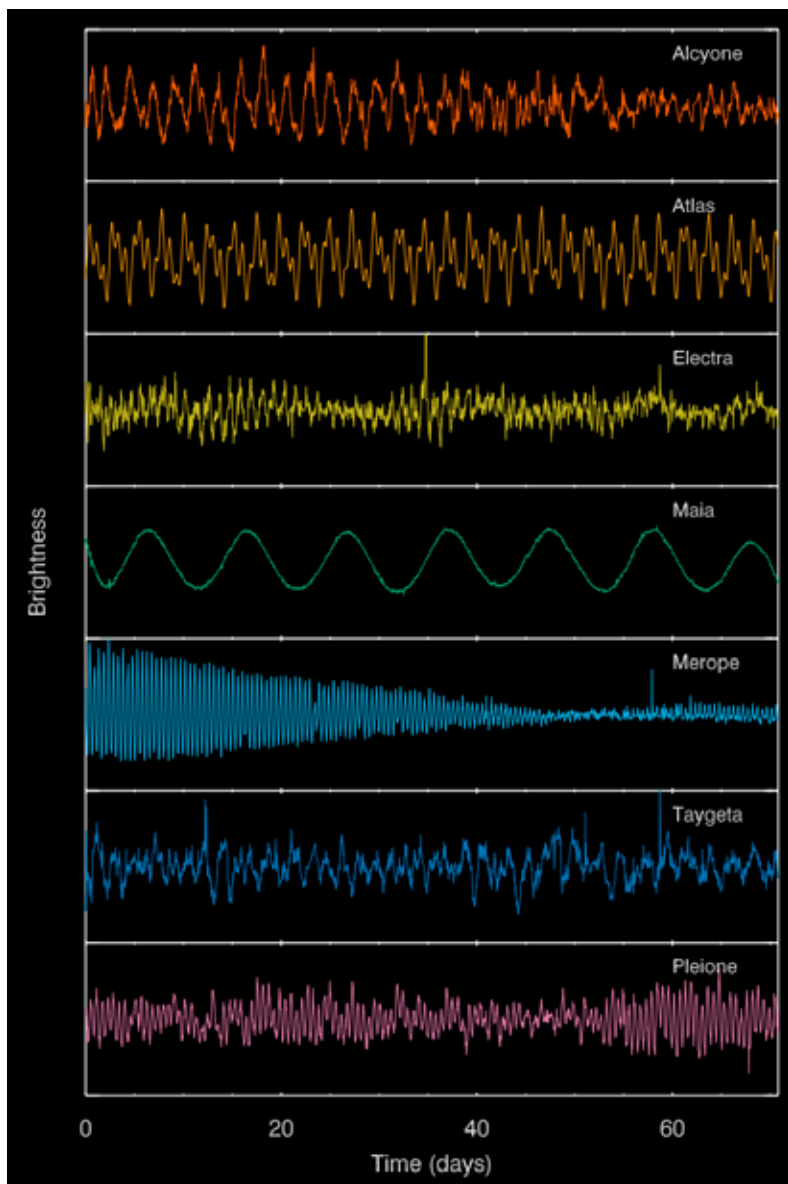
Les Pléiades sont bien plus que ces étoiles brillantes visibles à l'œil nu. Une lunette de 55 mm permet déjà d'en découvrir 150 et on peut en voir des centaines avec un télescope de 20 ou 30 cm. Elles ont naturellement fait l'objet de l'attention du télescope spatial. C'est ainsi que Kepler a permis de déterminer la période de rotation de plus de 750 étoiles de l'amas dont les masses vont d'un dixième à plus d'une masse solaire. Il apparaît que les étoiles massives tournent le plus lentement (jusqu'à 11 jours) alors que certaines des moins massives tournent en moins d'un jour. On attribue cette différence à l'effet de frein du champ magnétique, lui-même lié à la structure interne des étoiles. Ces observations sont d'une grande importance pour la compréhension de la rotation des étoiles au cours de leur évolution. Les astronomes espèrent en apprendre encore plus grâce aux observations d'un autre amas, celui de Praesepe, qui précède d'un numéro les Pléiades dans le catalogue de Messier.



*Vue nocturne du télescope Hertzprung du réseau SONG.
(Daniel López, Instituto de Astrofísica de Canarias).*

Le télescope Hertzprung SONG
Le premier télescope du réseau SONG (Stellar Observations Network Group) a été inauguré officiellement en 2014 à l'observatoire du Teide à Tenerife. Le but du réseau est de permettre un suivi continu d'étoiles pour étudier leur structure interne par le biais de leurs pulsations et pour détecter d'éventuels compagnons. L'espoir est d'avoir 3 ou 4 télescopes bien répartis dans chacun des hémisphères pour pouvoir suivre des étoiles sans interruption.

Un deuxième nœud du réseau a été établi en Chine à l'observatoire de Delingha, dans la province du Xinghai. On espère équiper d'autres sites en Amérique du Sud, en Amérique du Nord, en Afrique du Sud. L'observatoire du Teide est particulièrement impliqué en astro- et hélio-séismologie, étant un nœud de plusieurs réseaux, comme BISON (Birmingham Solar-Oscillations Network), GONG (Global Oscillation Network Group), TAT (Taiwan Automated Network)...



Les fluctuations d'éclat des étoiles témoignent de leurs propriétés physiques, comme les dimensions et la vitesse de rotation. La plupart des étoiles principales des Pléiades sont de type B à pulsations lentes.

Seule Maia ne pulse pas et se distingue par des changements de luminosité d'une autre nature : c'est la rotation d'une grosse tache qui entraîne une variation encore plus lente sur 10 jours. (Aarhus University / T. White)

Méthylidyne

Basé sur un communiqué ESO

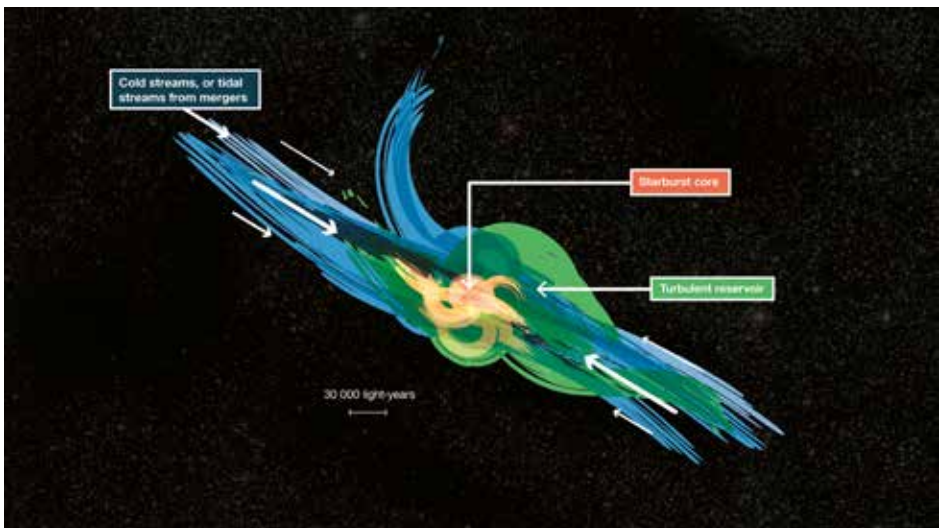
Le réseau submillimétrique ALMA a permis de détecter la présence de nuages froids de gaz turbulent autour de galaxies lointaines formant des étoiles. Ces galaxies sont caractérisées par des taux de formation stellaire bien plus élevés que ceux des galaxies calmes telles que la Voie lactée. Ces structures sont donc idéales pour comprendre le processus de croissance galactique ainsi que l'interaction entre le gaz, la poussière, les étoiles et les trous noirs qui occupent les centres galactiques.

Le réseau d'antennes a simultanément découvert de l'hydrure de carbone ionisé (CH^+) dans cinq des six galaxies étudiées. La molécule CH que les chimistes nomment aussi méthylidyne est l'une des trois premières molécules découvertes dans le milieu interstellaire. C'était au début des années 1940. Depuis lors, la présence de CH^+ dans l'espace interstellaire est demeurée un mystère : cet ion est extrêmement réactif en effet et disparaît donc beaucoup plus rapidement que tout autre. Sa formation requiert une grande quantité d'énergie et son importante réactivité se traduit par une courte durée de vie et donc l'impossibilité d'être transporté sur de longues distances.

La molécule de CH^+ révèle les flux d'énergie au sein des galaxies et de leur environnement, comme le montre l'analogie suivante : un bateau navigue sur l'océan tropical par nuit noire, sans Lune. Dans de bonnes conditions, le plancton fluorescent peut s'illuminer au passage du bateau. La turbulence générée par le bateau sillonnant l'eau excite le plancton – en d'autres termes, leur lumière révèle l'existence d'une eau sombre plus profonde ainsi que la présence de zones turbulentes. Parce que la molécule de CH^+ ne se forme qu'en de petites zones de dissipation des mouvements turbulents de gaz, sa détection permet de tracer les flux d'énergie à l'échelle galactique.

Les observations de CH^+ révèlent l'existence d'ondes de choc de densité élevée alimentées par de violents vents galactiques chauds issus des régions galactiques de formation stellaire. Ces vents parcourent la galaxie et en expulsent la matière. Leurs mouvements

***Vue d'artiste du gaz alimentant les galaxies lointaines à formation d'étoiles.
(ESO/L. Benassi)***





turbulents permettent à une partie de cette matière de se retrouver piégée par l'attraction gravitationnelle de la galaxie. La matière s'assemble alors pour former de vastes réservoirs turbulents de gaz froid de faible densité, qui s'étendent à plus de 30 000 années-lumière de la région de formation stellaire de la galaxie. Ces nuages diffus semblent être de même nature que les halos géants qui entourent les quasars.

Ces résultats remettent en question la théorie de l'évolution galactique. En ache-minant la turbulence dans les réservoirs, ces vents galactiques étendent la durée de la phase de formation stellaire au lieu de l'interrompre. Les seuls vents galactiques ne suffisent pas

Le « Cil Cosmique », une galaxie lointaine à formation d'étoiles qui nous apparaît dédoublée et lumineuse en raison d'un effet de lentille gravitationnelle. Cette galaxie est l'une de celles observées par ALMA pour découvrir l'ion CH^+ . (ALMA, ESO/NAOJ/NRAO, E. Falgarone et al.)

à reconstituer les réservoirs de gaz nouvellement découverts, ce qui suggère que l'apport de masse résulte de processus de fusion ou d'accrétion galactiques de flux de gaz cachés, conformément aux prédictions théoriques actuelles.

Nova Scorpii 1437

En 1437 les astronomes royaux coréens observèrent une nouvelle étoile dans le Scorpion. Leur description détaillée dans la chronique Sejong Sillok a permis de situer l'objet avec assez de précision pour le retrouver sur une image d'archive prise à la station d'Arequipa de l'observatoire d'Harvard en 1923. Ces archives en phase de numérisation (Digital Access to a Sky Century at Harvard, DASCH) contiendront à terme 500 000 images prises entre 1895 et 1993 et sont accessibles à <http://dasch.rc.fas.harvard.edu/status.ph>.

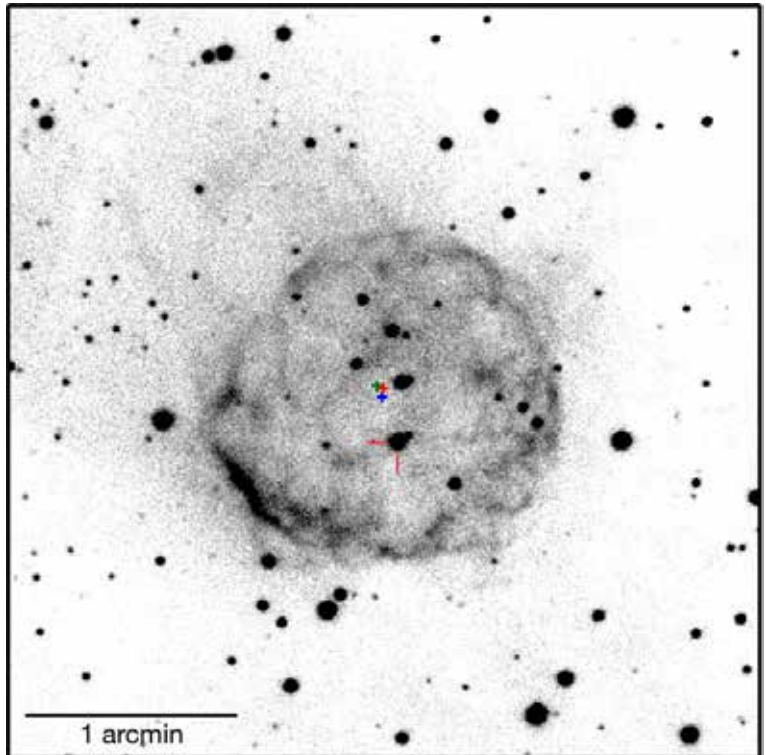
L'image de 1923 laisse voir une enveloppe de gaz et en son centre une variable cataclysmique montrant des explosions de moindre ampleur que celles d'une nova et caractéristiques d'une nova naine.

En tenant compte du mouvement propre de l'étoile et de l'expansion de l'enveloppe depuis six siècles, on obtient une coïncidence parfaite des positions au moment de l'explosion.

Les novæ ont lieu dans des étoiles binaires serrées composées de naines blanche et rouge. Le gaz de l'étoile rouge se dépose sur la naine blanche, beaucoup plus petite et dense. La gravité de celle-ci est si intense et la pression si forte qu'il finit par se produire une explosion thermonucléaire qui dissipe la couche externe et augmente la luminosité de l'étoile jusqu'à un million de fois celle du Soleil.

L'identification de nova Sco 1437 suggère que les novæ, naines ou pas, sont bien un même type d'objets pris à des époques différentes.

Image Ha du champ de nova Sco 1437 prise avec le télescope QSwpe de 1 m en juin 2016. La pose totale est de 6000 secondes. La position de la variable cataclysmique en 2016 est indiquée par les traits rouges. Son mouvement propre la plaçait à l'endroit de la croix rouge en 1437. La position du centre de l'enveloppe en 2016 et celle, déduite, de 1437 sont marquées par les croix respectivement bleue et verte. Cette dernière coïncide très bien avec la position de l'étoile au moment de l'explosion.
(K. Ilkiewicz and J. Mikolajewska)



Passages rapprochés

Les passages d'étoiles près du Système solaire peuvent avoir un impact important. Si elles sont assez massives et relativement lentes, elles peuvent perturber les orbites des objets du nuage d'Oort et en envoyer vers le Soleil. Ces objets nous apparaissent comme des comètes de longue période. Les mesures astrométriques précises faites avec le télescope spatial Gaia rendent possible une recherche systématique des étoiles qui pourraient nous frôler. Ce travail avait déjà été entrepris à partir des mesures du satellite astrométrique Hipparcos mais sur une bien moins grande échelle.

La première livraison de données Gaia (TGAS) a été exploitée à ces fins. Les astronomes ont combiné les données de positions, de parallaxes et de mouvements propres de Gaia avec celles de vitesses radiales provenant d'autres sources, pour plus de 300 000 étoiles. Leurs trajectoires dans la Galaxie ont été calculées et on a pu ainsi obtenir les circonstances des passages proches du Soleil. Le graphique ci-dessous montre les 97 étoiles que l'on a trouvées nous frôlant à moins de cinq parsecs (154 mille milliards de kilomètres) dans un intervalle de dix millions d'années. Parmi ces 97 étoiles on relèvera notamment le passage

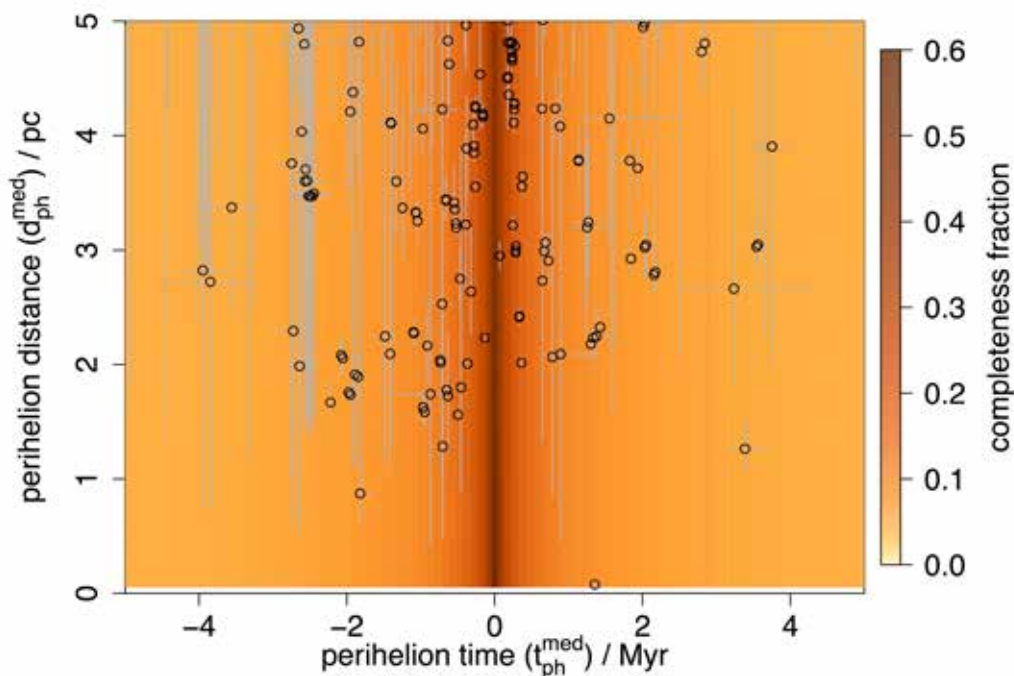
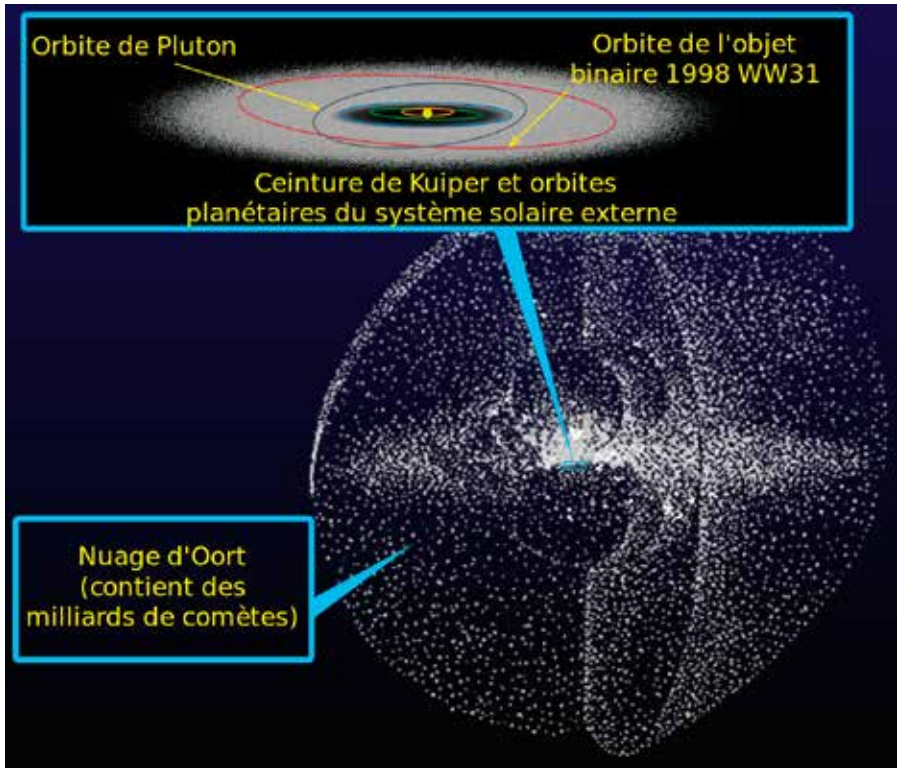


Illustration des approches étoile-Soleil dans les cinq millions d'années avant et après notre époque. Les lignes verticales sont des barres d'erreur. La couleur de fond donne une idée de l'exhaustivité de l'estimation. (Coryn Bailer-Jones)



*Vue d'artiste de la ceinture de Kuiper et du nuage d'Oort.
(NASA)*



*La Grande Comète de janvier 1910 se distingue par un aphélie très lointain (>50 000 unités astronomiques) et pourrait bien être une visiteuse du Nuage d'Oort perturbée par le passage d'une étoile.
(Observatoire Lowell)*



La comète West photographiée le 9 mars 1976. C'est la grande comète la plus récente avec un aphélie considérable (13 500 ua) (J. Linder/ESO)

bien étudié de Gliese 710. Gaia nous apprend qu'elle passera beaucoup plus près qu'on ne le pensait, entre 0,05 et 0,076 parsec (1,5 à 2,25 mille milliards de kilomètres)

Le catalogue est encore loin d'être complet. Pour obtenir la fréquence réelle des rencontres, les astronomes ont établi un modèle qui conduit à estimer la complétude des résul-

tats. Ce paramètre est représenté par la couleur de fond du graphique.

Au total, on trouve qu'il y a entre 500 et 600 étoiles qui passent à moins de cinq parsecs chaque million d'années, un chiffre plus élevé qu'on ne le pensait. Ce nombre varie avec le carré de la distance. On a donc une vingtaine d'étoiles passant à moins d'un parsec.

La deuxième livraison de données Gaia devrait considérablement réduire les incertitudes en donnant les paramètres de beaucoup plus d'étoiles, y compris cette fois les vitesses radiales de millions d'étoiles.

Cirrus martiens

La caméra Navcam du rover Curiosity a pris une série d'images du ciel au zénith le 17 juillet dans le matin martien. On y voit des nuages ressemblant furieusement à nos cirrus qui sont faits de cristaux de glace flottant à haute altitude. On pense que les cirrus martiens sont eux aussi composés de cristaux de glace qui ont gelé sur des grains de poussières.

***Les cirrus martiens.
(NASA/Curiosity)***

Le télescope spatial Hubble et les sondes tournant autour de Mars ont mis en évidence une ceinture de nuages près de l'équateur lorsque la planète est aux environs de son aphélie. Curiosity n'est qu'à 5 degrés au sud de l'équateur. Ces images ont été prises deux mois avant l'arrivée de Mars au plus loin du Soleil. Il est probable que les nuages forment l'avant-garde de la « ceinture nuageuse de l'aphélie ».

