



L'astronomie dans le monde

Constellations de satellites

Selon un communiqué ESO

Les astronomes ont récemment fait part de leurs inquiétudes concernant l'impact des méga-constellations de satellites sur la recherche scientifique. Afin de mieux comprendre l'effet potentiel de ces constellations

sur les observations astronomiques, l'ESO a commandité une étude scientifique de leur impact, se concentrant sur les observations effectuées au moyen des télescopes de l'ESO opérant dans les domaines visible et infrarouge, tout en considérant d'autres observatoires. L'étude porte sur un total de 18 constellations de satellites actuellement



Ciel nocturne surplombant le site de l'Extremely Large Telescope de l'ESO qui devrait entrer en service fin 2025. Un guide laser en provenance du Very Large Telescope situé à proximité est visible à l'arrière-plan. Une étude de l'ESO consacrée à l'impact de constellations de satellites sur les observations astronomiques dans les domaines visible et infrarouge révèle que les grands télescopes

tels le Very Large Telescope et l'Extremely Large Telescope de l'ESO ne seront que « modérément impactés » par les constellations actuellement en cours de développement. Selon la problématique scientifique étudiée, les impacts pourraient être réduits en apportant diverses modifications aux calendriers d'exploitation des télescopes de l'ESO. (ESO/M. Zamani)



30°

20°

développées par les sociétés SpaceX, Amazon, OneWeb et d'autres, ce qui représente plus de 26 000 satellites.

De nombreux paramètres caractérisant les constellations de satellites, y compris le nombre total de satellites, varient fréquemment et ce nombre pourrait être plus élevé.

L'étude révèle que les grands télescopes tels le Very Large Telescope (VLT) de l'ESO et le futur Extremely Large Telescope (ELT) de l'ESO seront « modérément impactés » par les constellations en cours de développement. L'effet sur les longues expositions (de quelque 1000 sec) sera plus prononcé en revanche : 3% de ces observations effectuées à l'aube ou durant le crépuscule pourraient être inexploitable. Les expositions de plus courte durée seraient moins affectées – moins de 0,5% d'entre elles. Les observations effectuées à d'autres moments de la nuit seraient également moins impactées, les satellites se trouvant alors dans l'ombre de la Terre et ne bénéficiant d'aucun éclairage. Selon le type d'observation l'impact pourraient être réduit en modifiant le planning d'exploitation des télescopes de l'ESO, ce qui représente un coût non négli-

Le ciel nocturne au-dessus de l'observatoire Paranal de l'ESO à l'aube, quelque 90 minutes avant le lever du Soleil. Les cercles de couleur bleue indiquent la hauteur au-dessus de l'horizon. Une étude de l'ESO révèle qu'une centaine de satellites seraient suffisamment brillants pour être visibles à l'œil nu lors des phases crépusculaires (magnitude 5-6 ou inférieure). La plupart d'entre eux, entourés de petits cercles de couleur verte sur l'image, se situeraient à moins de 30 degrés au-dessus de l'horizon et/ou seraient relativement peu lumineux. Quelques autres, entourés d'un cercle de couleur rouge, se situeraient à plus de 30 degrés au-dessus de l'horizon – dans cette zone du ciel faisant l'objet de la plupart des observations astronomiques – et seraient relativement brillants (magnitude 3-4). Le nombre de satellites visibles chute vers le milieu de la nuit, à mesure qu'ils entrent dans l'ombre de la Terre, cette zone sombre occupant la gauche de l'image. Les satellites situés dans l'ombre de la Terre sont invisibles.

(ESO/Y. Beletsky/L. Calçada)



geable. Du côté industriel, une mesure efficace pour limiter ces impacts consisterait à assombrir les satellites.

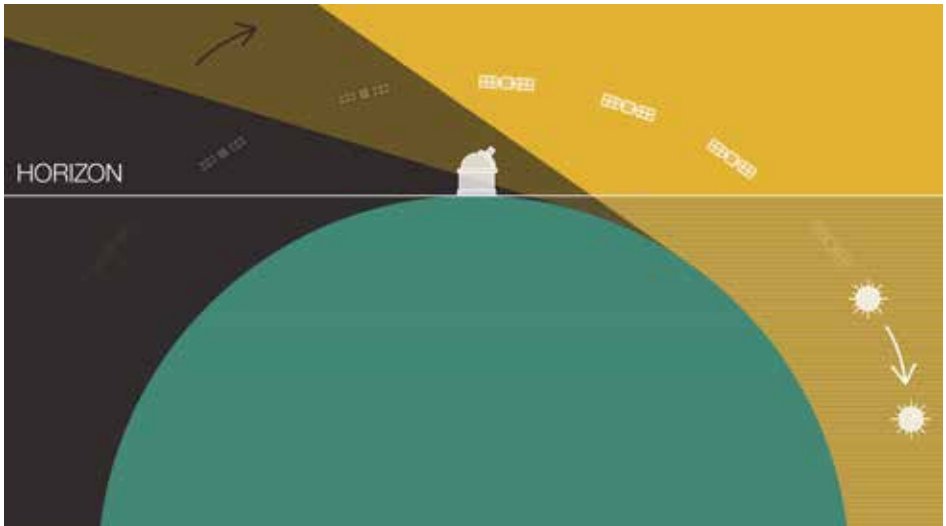
Parmi les mesures d'atténuation figurent : le calcul de la position des satellites afin d'éviter d'observer à l'endroit précis où l'un d'eux va passer ; la fermeture de l'obturateur du télescope à l'instant précis où un satellite traverse le champ de vision ; la limitation des observations aux seules zones du ciel situées dans l'ombre de la Terre, dans lesquelles les satellites ne bénéficient pas de l'éclairement du Soleil. Toutefois, ces méthodes ne conviennent pas à l'ensemble des observations scientifiques.

L'étude révèle également que les sondages étendus, effectués au moyen des grands télescopes notamment, seraient les plus affectés. À titre d'exemple, 30 à 50% des expositions effectuées grâce à l'observatoire Vera C. Rubin de la National Science Foundation aux États-Unis seraient « sévèrement impactées » selon l'époque de l'année, l'heure de la nuit et les hypothèses simplificatrices utilisées dans le cadre de cette étude. Les techniques d'atténuation qui pourraient être appliquées aux télescopes de l'ESO ne seraient pas adaptées à cet observatoire.

D'autres stratégies sont donc activement examinées. Des études complémentaires sont requises pour bien cerner les conséquences scientifiques de cette perte de données d'observation ainsi que la complexité de leur analyse. Les télescopes dédiés aux sondages à grand champ comme l'observatoire Rubin sont capables de rapidement scanner de vastes portions du ciel, et donc de détecter des phénomènes de courte durée comme des explosions de supernovæ ou des astéroïdes potentiellement dangereux. Parce qu'ils disposent de cette faculté unique de générer de grandes quantités de données et de permettre le choix des cibles d'observation pour de nombreux

Diagramme illustrant ce qu'un observateur situé aux latitudes moyennes verrait : une fraction des constellations de satellites en orbite autour de la Terre. Pour être visibles, les satellites doivent se situer au-dessus de l'horizon de l'observateur et être éclairés par le Soleil. La plupart des satellites se trouveraient sous l'horizon et/ou dissimulés dans l'ombre de la Terre qui ne cesse de progresser dans la nuit.

(ESO/L. Calçada)



autres observatoires, les communautés astronomiques et les organismes de financement en Europe et ailleurs ont érigé les télescopes à grand champ au rang de priorité absolue pour les développements futurs de l'astronomie.

Les astronomes professionnels et amateurs ont également exprimé des inquiétudes concernant l'impact des méga-constellations de satellites sur les vues immaculées du ciel nocturne. L'étude révèle que quelque 1 600 satellites des constellations peupleront le ciel d'un observatoire situé aux latitudes moyennes. La plupart d'entre eux se situeront à moins de 30 degrés au-dessus de l'horizon local. Au-delà, soit dans cette portion du ciel faisant l'objet de la plupart des observations astronomiques, se trouveront environ 250 satellites des constellations à tout instant. Tous seront éclairés par le Soleil lors de son coucher ou de son lever. Un nombre toujours plus élevé d'entre eux se trouveront plongés dans l'ombre de la Terre vers le milieu de la nuit. Selon les paramètres adoptés par l'étude de l'ESO une centaine de satellites seront suffisamment brillants pour être aperçus à l'œil nu durant l'aube ou le crépuscule, et 10 d'entre eux se situeront à plus de 30 degrés au-dessus de l'horizon. Ces chiffres diminuent à mesure que la nuit s'assombrit et que les satellites plongent dans l'ombre de la Terre. Dans l'ensemble, ces nouvelles constellations de satellites devraient doubler le nombre de satellites visibles à l'œil nu dans le ciel nocturne à 30 degrés ou plus au-dessus de l'horizon.

À l'heure actuelle, quelque 34 000 objets de dimensions supérieures à 10 cm tournent autour de la Terre. Parmi ceux-ci figurent 5 500 satellites, dont 2 300 à l'état opérationnel. Le reste est constitué de débris spatiaux, notamment des étages supérieurs de fusées et d'adaptateurs de lancement des satellites. Environ 2 000 de ces objets se situent au-dessus de l'horizon local à tout instant. Durant les phases crépusculaires, 5 à 10 d'entre eux sont illuminés par le Soleil et suffisamment brillants pour être visibles à l'œil nu.

Ces chiffres ne tiennent pas compte des trains de satellites visibles immédiatement

après le lancement. Bien que particulièrement spectaculaires et brillants, ils sont de courte durée et brièvement visibles seulement après le coucher de Soleil ou avant son lever, et – à tout instant – depuis une région terrestre peu étendue.

L'étude de l'ESO repose sur diverses simplifications et hypothèses censées délivrer de prudentes estimations des effets, qui pourraient se révéler moins graves dans la réalité que sur le papier. Une modélisation plus sophistiquée se révélera nécessaire pour quantifier plus précisément les impacts réels de ces constellations de satellites. Bien que l'accent soit mis sur les télescopes de l'ESO, les résultats s'appliquent à d'autres télescopes similaires qui opèrent également dans les domaines visible et infrarouge, sont dotés d'une instrumentation similaire et abordent de semblables problématiques scientifiques.

Les constellations de satellites gêneront également les observatoires opérant dans les domaines radio, millimétrique et submillimétrique tels qu'ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) et APEX (Atacama Pathfinder Experiment). Cet impact fera l'objet d'études ultérieures.

L'ESO et d'autres observatoires, l'International Astronomical Union (IAU), l'American Astronomical Society (AAS), la Royal Astronomical Society (RAS) au Royaume-Uni, et d'autres sociétés savantes, se sont engagés dans une campagne de sensibilisation à cette question auprès de l'United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space (COPUOS) et de l'European Committee on Radio Astronomy Frequencies (CRAF). Ces actions sont menées parallèlement à la recherche de solutions pratiques avec les sociétés spatiales permettant de sauvegarder les investissements à grande échelle réalisés dans des installations astronomiques terrestres de pointe. L'ESO soutient l'élaboration de cadres réglementaires qui permettront, à terme, la coexistence harmonieuse de technologies avancées en orbite basse terrestre d'une part, l'observation et la compréhension de l'Univers par l'humanité toute entière d'autre part.

HD101584

Basé sur un communiqué ESO

Grâce au Vaste Réseau (Sub-)Millimétrique de l'Atacama (ALMA), des astronomes ont repéré l'existence d'un étrange nuage de gaz, fruit de la rencontre entre deux étoiles. L'une des deux étoiles est devenue si volumineuse qu'elle a englouti l'autre qui a continué à se rapprocher en tournoyant, obligeant sa compagne géante à expulser ses enveloppes externes.

À l'instar des êtres humains, les étoiles évoluent au fil du temps et finalement s'éteignent. Ainsi, lorsque le Soleil et les étoiles de même type ont consommé l'hydrogène de leur noyau, leur volume augmente. Elles se transforment en brillantes géantes rouges puis perdent leurs enveloppes externes. Seul leur noyau subsiste : une naine blanche.

Le système stellaire HD101584 est particulier dans la mesure où ce processus final s'est achevé prématurément et de façon spectaculaire,

Cette image acquise par ALMA témoigne de l'issue d'un combat stellaire : une étonnante structure gazeuse entourant le système binaire HD101584.

Les couleurs représentent la vitesse, s'échelonnant du bleu – le gaz se déplaçant le plus rapidement dans notre direction – au rouge – le gaz s'éloignant le plus rapidement dans la direction opposée. Les deux étoiles forment un point brillant au centre de la structure annulaire colorée en vert, qui se déplace à la même vitesse que l'ensemble du système le long de la ligne de visée. Aux dires des astronomes, cet anneau trouve son origine dans la matière éjectée, alors que l'étoile la plus légère spirait en direction de la géante rouge. (ALMA/ESO/NAOJ/NRAO, Olofsson et al., Robert Cumming)



le compagnon de faible masse ayant été englouti par la géante.

Grâce aux observations effectuées au moyen d'ALMA, complétées par des données acquises par le télescope APEX (Atacama Pathfinder EXperiment) de l'ESO, les astronomes sont en mesure d'assimiler l'histoire de HD101584 à un véritable combat stellaire. Alors que l'étoile principale se changeait en géante rouge, son volume augmenta suffisamment pour absorber sa compagne de masse inférieure. En réponse, l'étoile de plus faibles dimensions tournoya en direction du cœur de la géante, sans pour autant entrer en collision avec elle. Cette stratégie se solda par l'explosion de l'étoile géante, la dispersion de ses enveloppes gazeuses externes et la mise à nu de son noyau.

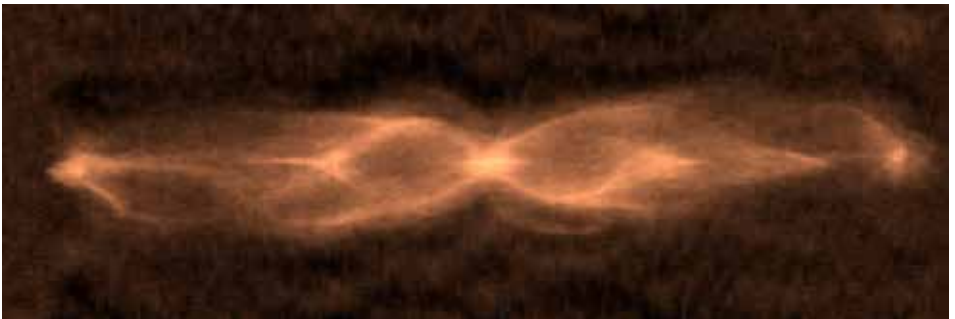
Le modèle envisagé par les astronomes indique qu'il y a au moins quatre étapes distinctes dans l'évolution de HD101584. Tout d'abord, une partie du matériel de l'étoile géante est capturée dans un disque qui tourne lentement autour des deux étoiles à une distance d'environ 150 fois la distance Terre-Soleil. Plus loin, un tore de matière s'éloigne encore des étoiles, peut-être éjecté pour la première fois lorsque l'enveloppe de l'étoile géante a englouti son compagnon.

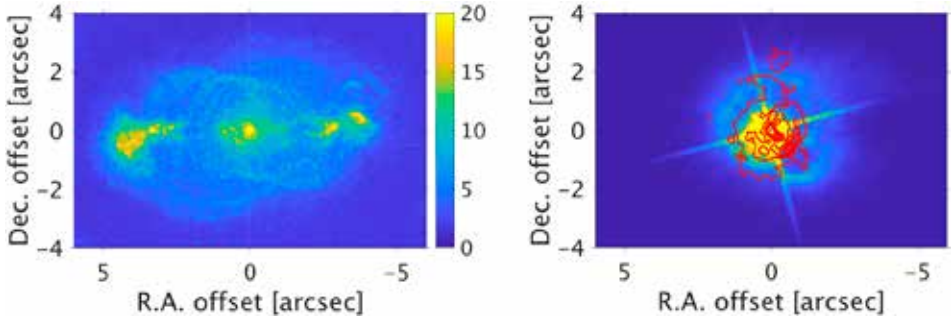
La preuve de cet englobement provient des deux structures secondaires détectées dans les données d'ALMA. L'une d'entre elles présente la forme d'un sablier et est composée de deux bulles s'étendant à partir des étoiles. On y trouve des jets de matière en mouvement rapide – trop rapide pour avoir été propulsé par un processus stellaire normal, ou même par les forces gravitationnelles générées par deux étoiles si proches l'une de l'autre.

Au lieu de cela, les scientifiques pensent que la matière a dû être éjectée alors qu'une étoile plus petite se déplaçait au travers de l'enveloppe de l'étoile géante. Ils estiment qu'il est difficile de concilier des énergies cinétiques aussi élevées avec autre chose qu'un scénario d'évolution à enveloppe commune où l'énergie de liaison gravitationnelle est libérée lorsque la compagne est capturée par la première et tombe vers elle.

En se basant sur les dimensions apparentes des structures et leur vitesse actuelle, on a pu estimer depuis combien de temps elles ont été formées. Bien que ces estimations varient en fonction de la structure envisagée, elles sont toutes inférieures à 2 000 ans et certaines sont plus proches de 200 ans.

*Représentation du disque entourant HD 101584 vu de côté dans la lumière du monoxyde de carbone. L'image est obtenue en supposant une expansion radiale avec une vitesse augmentant linéairement avec la distance au centre.
(H. Olofsson et al, 2019)*





Vues de HD101584 dans la lumière du monoxyde de carbone (à gauche) et dans le « continu ».
(H. Olofsson et al, 2019)

Il semble donc que la fusion des deux étoiles soit extrêmement récente, du moins en termes cosmologiques.

La structure complexe de gaz qui compose la nébuleuse HD101584 résulte du mouvement en spirale de la petite étoile autour de la géante rouge ainsi que des jets de gaz générés lors de ce processus. En se propageant au travers des enveloppes de gaz déjà expulsées, ces jets leur ont porté un coup fatal, les transformant en anneaux de gaz et les dispersant en nuages de couleurs bleue et rouge, au sein de la nébuleuse.

Un combat stellaire présente l'intérêt d'aider les astronomes à mieux comprendre l'évolution finale d'étoiles comme le Soleil. Bien que l'on soit en mesure de décrire les phases finales communes à de nombreuses étoiles de type solaire, on ne connaît pas encore le processus exact. Parce qu'elle se situe précisément dans cette brève phase de transition entre des stades d'évolution mieux étudiés, HD101584 nous offre d'importantes clés de compréhension de ces processus. Les images détaillées de l'environnement de HD101584 permettent d'établir un lien entre l'étoile géante qu'elle était auparavant et le vestige stellaire qu'elle sera prochainement.

ALMA et APEX, implantés dans le désert de l'Atacama, remplirent des rôles essentiels, permettant à l'équipe de sonder les mécanismes physiques et chimiques en action. La surprenante image de l'environnement circumstellaire de HD101584 n'aurait pu être acquise sans l'extrême sensibilité ni la formidable résolution angulaire d'ALMA.

Les télescopes actuels permettent aux astronomes d'étudier le gaz situé en périphérie de la binaire. Toutefois, les deux étoiles figurant au centre de la nébuleuse sont trop proches l'une de l'autre et trop distantes de la Terre pour pouvoir être résolues. L'ELT (Extremely Large Telescope) de l'ESO, actuellement en construction dans le désert de l'Atacama au Chili, fournira des informations sur le cœur de l'objet, permettant ainsi aux astronomes d'examiner de plus près les deux protagonistes de ce combat stellaire.

Pallas en infraction

L'astéroïde Pallas, nommé d'après la déesse grecque de la sagesse, a été découvert en 1802. C'est le troisième plus grand objet de la ceinture d'astéroïdes avec environ un septième de la taille de la Lune. Pallas se distingue par sa trajectoire fortement inclinée par rapport à la plupart des objets de la ceinture d'astéroïdes, une inclinaison qui reste un mystère.

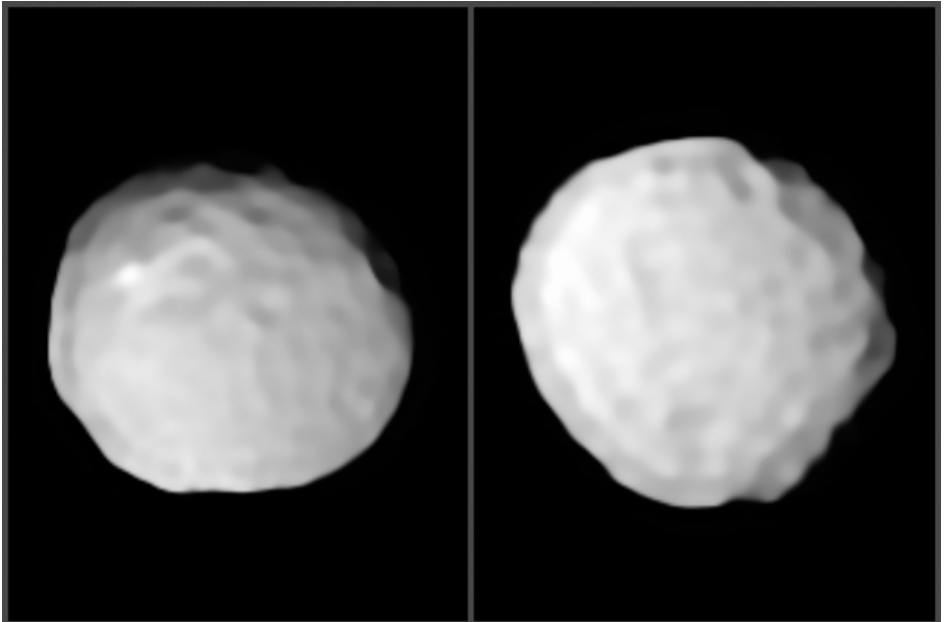
Les astronomes ont obtenu des images détaillées de Pallas lors de ses derniers passages au plus près de la Terre. Pour cela ils ont utilisé le VLT de l'ESO à l'observatoire de Paranal. Onze séries d'images en deux passages ont permis de capturer Pallas à diverses phases de sa rotation. Ces images sont à la base d'une reconstruction en trois dimensions de la forme de l'astéroïde, ainsi que d'une carte des cratères de ses pôles et des parties de sa région équatoriale.

Les astronomes ont identifié 36 cratères de plus de 30 kilomètres de diamètre. Les cratères semblent couvrir plus de 10 % de la surface de l'astéroïde, ce qui suggère une histoire parsemée de collisions violentes.

Les chercheurs soupçonnent que la surface bosselée de Pallas est le résultat de son orbite inclinée : alors que la plupart des objets de la ceinture d'astéroïdes suivent approximativement la même trajectoire autour du Soleil, un peu comme les voitures sur un circuit de course, l'orbite inclinée de Pallas est telle que l'astéroïde traverse constamment cette ceinture. Toute collision que Pallas subit sur son chemin est environ quatre fois plus dommageable que les collisions entre deux astéroïdes mieux respectueux du code de la route.

Vues de Pallas – l'astéroïde « balle de golf » –, la grosse petite planète la plus cratérisée de la ceinture principale des astéroïdes.

(Massachusetts Institute of Technology)

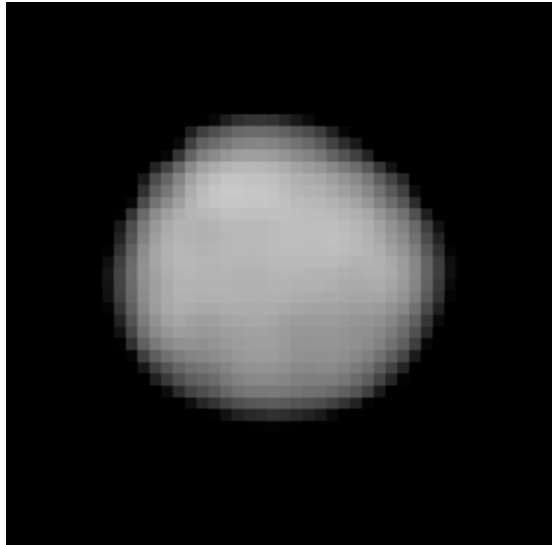


Pour voir à quel point cette histoire a été violente, les astronomes ont effectué des simulations de Pallas et de ses interactions avec les autres objets de la ceinture au cours des quatre derniers milliards d'années – soit pratiquement l'âge du Système solaire. Ils ont fait la même chose avec Cérès et Vesta, en tenant compte de la taille, de la masse et des propriétés orbitales de chaque astéroïde, ainsi que de la vitesse et de la distribution en taille des objets dans la ceinture d'astéroïdes. Sans surprise il est apparu qu'un cratère de 40 kilomètres sur Pallas est créé par une collision avec un objet beaucoup plus petit que pour un même cratère de Cérès ou Vesta. Comme les petits astéroïdes sont beaucoup plus nombreux que les gros, Pallas accumule plus rapidement des cratères de cette taille que les deux autres astéroïdes. Pallas subit deux à trois fois plus de collisions que Cérès ou Vesta, et son orbite inclinée est une explication directe de la surface très étrange que l'on compare parfois à une balle de golf.

Les chercheurs ont fait deux autres découvertes à partir de leurs images : un point lumineux dans l'hémisphère sud de l'astéroïde et un vaste bassin d'impact (400 kilomètres) à l'équateur de la petite planète.

Pour comprendre l'origine du bassin, ils ont simulé divers impacts le long de l'équateur et ont suivi la trajectoire des fragments qui ont pu être arrachés de la surface de Pallas et projetés dans l'espace. Les simulations montrent que le grand bassin d'impact a probablement été le résultat d'une collision il y a environ 1,7 milliard d'années avec un objet de 20 à 40 kilomètres. Des fragments de l'astéroïde ont été éjectés dans l'espace et pourraient bien constituer toute une famille d'objets que l'on observe aujourd'hui.

On ignore encore la nature du point lumineux découvert dans l'hémisphère sud. Il pourrait s'agir d'un très grand gisement de sel. À partir de leur reconstruction tridimensionnelle de l'astéroïde, les chercheurs ont estimé le volume de Pallas et calculé que sa densité est différente de celle de Cérès et Vesta, ce qui suggère une formation de l'astéroïde à partir d'un mélange de glace d'eau et de silicates. Avec le temps, la glace intérieure a fondu et a probablement hydraté les silicates, formant des dépôts de sel qui ont pu être exposés à la suite d'un impact. Une preuve à l'appui de cette hypothèse pourrait venir de plus près de la Terre. Chaque année en décembre, les astronomes peuvent admirer le spectacle des étoiles filantes Géminides – une pluie de météorites qui sont des fragments de l'astéroïde Phaethon, qui serait lui-même un débris éjecté de Pallas qui a fini par se frayer un chemin jusqu'à l'orbite terrestre. Les astronomes ont depuis longtemps noté une grande teneur en sodium des Géminides. Peut-être est-ce à mettre en relation avec les dépôts de sel de Pallas ?



Avec une résolution angulaire de 0,045 arcsec dans l'ultraviolet, cette vue de Pallas par le télescope spatial Hubble constituait la meilleure image de la planète en 2007. (Hubble Space Telescope/STScI)

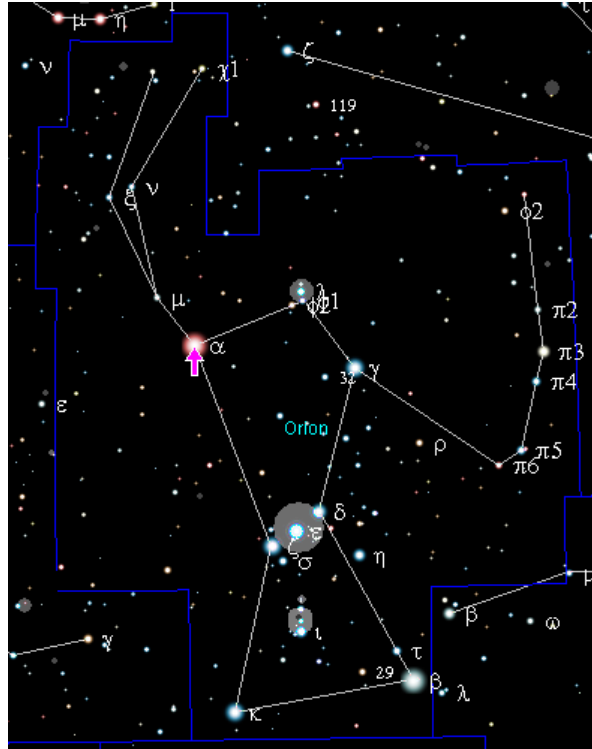
Bételgeuse (suite)

Bételgeuse, alpha d'Orion, a perdu pas mal de son éclat ces derniers temps, passant à la 20^e place des étoiles les plus brillantes du ciel (cf. *Le Ciel*, avril 2020, 204) avec environ 40 % de sa luminosité habituelle. Cette activité a alimenté les rumeurs d'une explosion imminente en une supernova spectaculaire.

Les astronomes ont cependant des scénarios moins catastrophiques et l'un d'eux semble se valider : Bételgeuse ne s'assombrit pas parce qu'elle est sur le point d'exploser, elle est juste poussiéreuse.

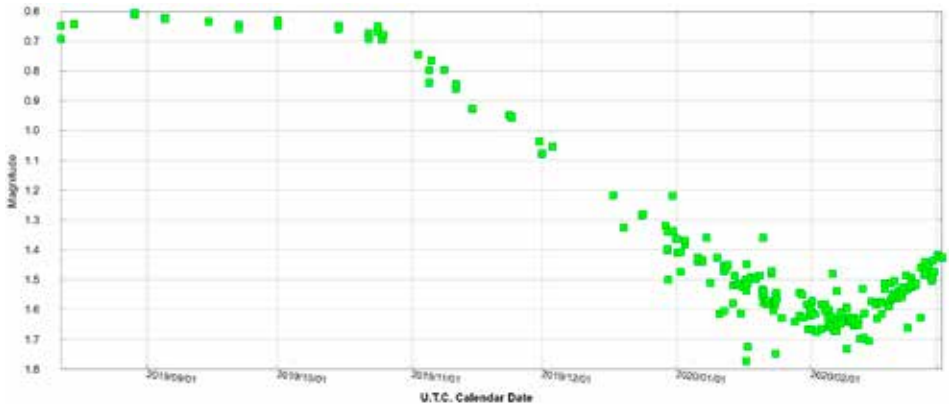
Des observations effectuées le 14 février à l'observatoire de Flagstaff, en Arizona, ont permis de calculer la température moyenne de surface de l'étoile et il apparaît que l'assombrissement n'est pas dû à un refroidissement de la surface de l'étoile.

Les nouveaux calculs confirment la théorie selon laquelle Bételgeuse – comme beaucoup d'étoiles rouges supergéantes sont susceptibles de le faire – a probablement perdu de la matière de ses couches extérieures. Cela fait partie du comporte-



▲ Bételgeuse dans la constellation d'Orion.
(Zwergelstern)

▼ Magnitude V de Bételgeuse depuis août 2019 selon les données de l'AAVSO.
(Wikipedia)



ment des supergéantes rouges. Elles perdent parfois de la matière qui se condense autour d'elles sous forme de poussière. En se refroidissant et en se dissipant, les grains absorbent une partie de la lumière.

Les astronomes s'attendent à ce que Bételgeuse explose en tant que supernova dans les 100 000 prochaines années lorsque son noyau s'effondrera. Mais l'assombrissement de l'étoile, qui a commencé en octobre, n'était pas nécessairement l'indice qu'elle allait exploser.

Outre l'atténuation de la lumière par des nuées de poussières, une autre théorie était que d'énormes cellules de convection à l'intérieur de Bételgeuse attiraient de la matière chaude vers sa surface, où elle aurait refroidi avant de retomber à l'intérieur.

Une façon simple de distinguer ces possibilités était de mesurer la température de Bételgeuse, ce que l'on peut faire à partir de spectres. Ceux-ci sont caractérisés par les bandes moléculaires de l'oxyde de titane qui se forme dans les couches des étoiles relativement froides comme Bételgeuse.

La température moyenne de la surface de Bételgeuse le 14 février était d'environ 3 325 degrés Celsius. C'est seulement 50 à 100 degrés de moins que la température qui avait été mesurée en 2004, bien avant le début de son assombrissement.

Ces résultats jettent le doute sur la diminution de la température de Bételgeuse qui aurait été la signature d'une cellule de convection massive provenant de l'intérieur et s'étant refroidie. De nombreuses étoiles possèdent ces cellules de convection, y compris le Soleil. Elles ressemblent à la surface d'un liquide en ébullition mais, alors que les cellules de convection du Soleil sont petites et nombreuses, celles des supergéantes sont gigantesques au point qu'une étoile comme Bételgeuse ne peut en montrer que trois ou quatre.

Si l'une de ces cellules massives était montée à la surface de Bételgeuse, on aurait enregistré une baisse de température nettement plus importante que celle constatée entre 2004 et 2020.

Un autre argument vient à l'appui de l'hypothèse des poussières. Des observations dans l'infrarouge moyen (jusqu'à quelques microns) montrent que la magnitude « bolométrique », c'est-à-dire le flux total sur tout le spectre électromagnétique, est restée relativement constante depuis des décennies. On n'a donc pas trace d'un comportement anormal de l'étoile qui pourrait indiquer une modification dans sa production d'énergie.

Des nuages de poussière entourent d'autres supergéantes rouges, et des observations spécifiques pourraient révéler un environnement similaire autour de Bételgeuse.

Une image de Bételgeuse prise en 2017 par ALMA et montrant de probables cellules de convection. (ALMA/ESO/NAOJ/NRAO/E. O'Gorman/P. Kervella)



Étoiles à neutrons

Basé sur un communiqué de l'Albert Einstein Institute

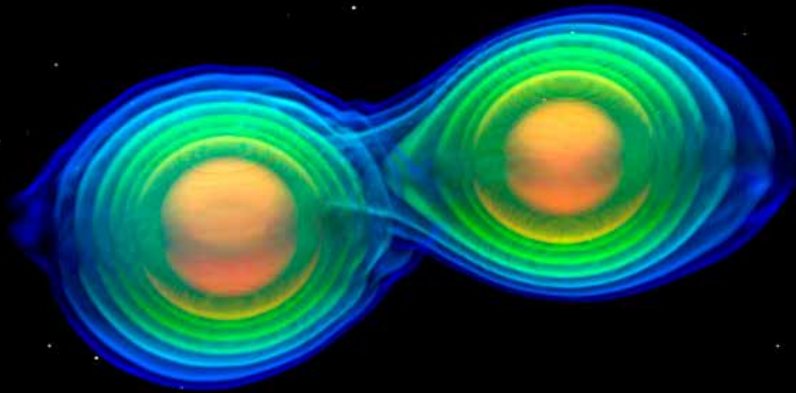
Des chercheurs ont adopté une nouvelle approche impliquant la physique nucléaire et des observations dans tous les domaines, y compris les ondes gravitationnelles, pour estimer la taille des étoiles à neutrons.

Ils ont combiné des principes généraux du comportement probable de la matière des étoiles à neutrons avec des observations « multi-messagers » de l'événement GW170817 qui a marqué la coalescence de deux de ces étoiles. Les résultats réduisent d'un facteur deux l'incertitude des déterminations précédentes et donnent pour une étoile à neutrons typique un rayon proche de 11 kilomètres. Les chercheurs ont constaté que les étoiles à neutrons qui fusionnent avec des trous noirs sont, dans la plupart des cas, susceptibles d'être avalées entières, à moins que le trou noir ne soit petit

et/ou en rotation rapide. Cela signifie que ces fusions pourraient être observées comme des sources d'ondes gravitationnelles, mais qu'elles resteraient invisibles dans le spectre électromagnétique.

Les fusions d'étoiles à neutrons binaires révèlent un trésor d'informations. Les étoiles à neutrons contiennent la matière la plus dense de l'univers observable. Elles sont si denses et compactes qu'on peut considérer l'étoile entière comme un seul noyau atomique de la taille d'une ville. Mesurer les propriétés de ces objets nous aide à comprendre la physique fondamentale qui régit la matière au niveau subatomique.

Simulation en relativité générale de deux étoiles à neutrons se rapprochant pour fusionner. Les hautes densités sont en orange, les basses en bleu.
(T. Dietrich/Max Planck Institute for Gravitational Physics; BAM collaboration; T. Dietrich et al./Max Planck Institute for Gravitational Physics)



Les nouveaux résultats indiquent qu'une étoile à neutrons typique, environ 1,4 fois plus massive que le Soleil, a un rayon compris entre 10,4 et 11,9 kilomètres.

Les chercheurs ont utilisé un modèle basé sur une description des premiers principes de l'interaction des particules subatomiques aux densités élevées que l'on trouve à l'intérieur des étoiles à neutrons.

Les modèles ont été choisis

- qui concordent avec les observations des ondes gravitationnelles de GW170817 provenant des données publiées de LIGO et de Virgo,
- qui produisent pendant un temps très court une étoile à neutrons hyper-massive à la suite de la fusion,
- et qui sont en accord avec les contraintes connues sur la masse maximale des étoiles à neutrons provenant des observations électromagnétiques de la contrepartie de GW170817.

Il est remarquable que des calculs théoriques à des échelles de longueur infinitésimales peuvent être confrontés aux observations d'un objet astrophysique situé à plus de cent millions d'années-lumière.

Les étoiles à neutrons sont les objets les plus denses que l'on puisse observer directement. Une masse un demi-million de fois plus grande que celle de la Terre est comprimée dans une sphère de seulement 22 kilomètres. Cette illustration compare la taille d'une telle étoile à la région d'Hanovre, siège de l'institut Albert Einstein du Max Planck Institute for Gravitational Physics où travaillent les auteurs de cette recherche. (NASA's Goddard Space Flight Center / AEI)

