

L'astronomie dans le monde

Objets fantômes près de quasars

Le célèbre « objet de Hanny » n'est pas un cas isolé. Une recherche systématique a livré d'autres nuages « fantômes » éclairés par les radiations de trous noirs supermassifs.

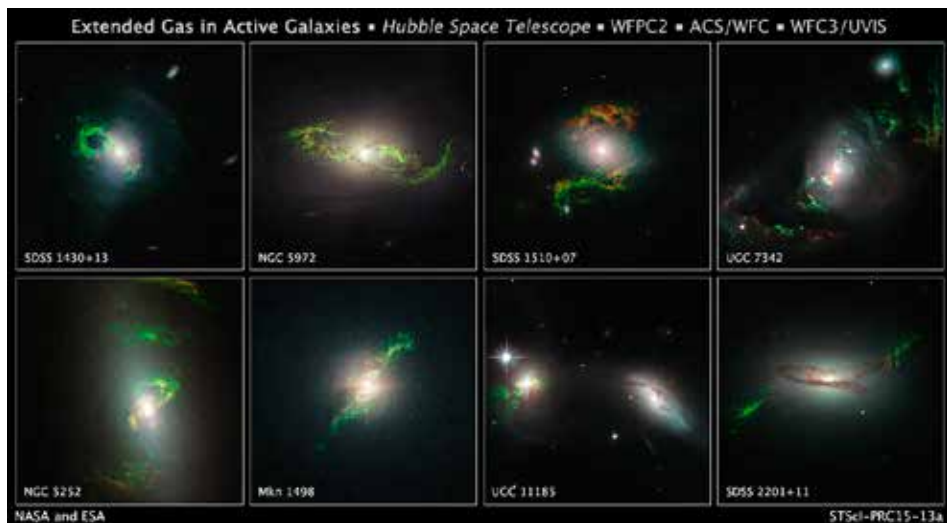
C'est en 2007, dans le cadre du projet citoyen Galaxy Zoo que l'institutrice Hanny van Arkel avait découvert une structure bizarre près d'une galaxie. Celle-ci contient un trou noir qui entretient un quasar brillant et l'on pense que c'est le rayonnement émis par le gaz très chaud entourant le trou noir qui illumine un nuage hors de la galaxie. Actuellement, le quasar n'est pas assez brillant pour expliquer cela, mais il a pu l'être par le passé.

L'examen par 200 volontaires d'observations de 15 000 galaxies contenant des quasars a révélé huit autres « blobs verts », des objets extérieurs aux galaxies illuminés par les quasars. Ces objets ont les formes les plus

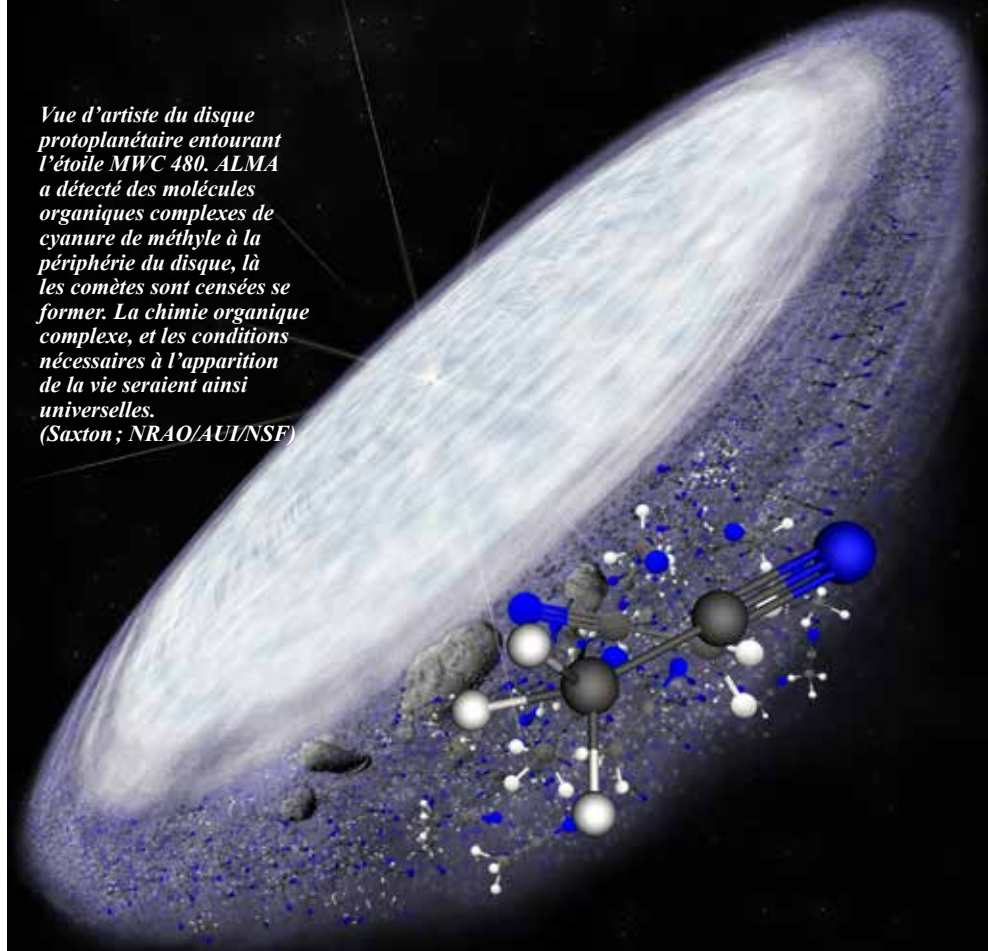
bizarres, effilochées, tortueuses. Leur couleur verdâtre provient de l'oxygène ionisé.

On pense que ces nuages ont pu être éjectés par les galaxies à l'occasion de collisions. La faible abondance en éléments lourds dans ces blobs suggère d'ailleurs qu'ils proviennent des parties externes de galaxies. En même temps les collisions ont pu réunir les trous noirs des galaxies et entraîner des suralimentations passagères des trous noirs tournant l'un autour de l'autre. Les faisceaux de radiations qu'ils émettent auraient parfois augmenté considérablement d'éclat. Les blobs seraient donc des nuages touchés par le faisceau éphémère d'un quasar, ionisés par celui-ci et ré-émettant lentement par fluorescence l'énergie absorbée.

*Le télescope spatial Hubble a pris ces photos des nuages fantomatiques.
(NASA, ESA, W. Keel, University of Alabama, Tuscaloosa)*



Vue d'artiste du disque protoplanétaire entourant l'étoile MWC 480. ALMA a détecté des molécules organiques complexes de cyanure de méthyle à la périphérie du disque, là les comètes sont censées se former. La chimie organique complexe, et les conditions nécessaires à l'apparition de la vie seraient ainsi universelles. (Saxton ; NRAO/AUI/NSF)



Molécules organiques dans un disque protoplanétaire

Basé sur un communiqué ESO

Pour la première fois des astronomes ont détecté la présence de molécules organiques complexes, les briques élémentaires de la vie, dans le disque protoplanétaire entourant une jeune étoile. Des observations réalisées avec le réseau ALMA révèlent que le disque protoplanétaire entourant l'étoile jeune MWC 480 contient une grande quantité d'acétonitrile (cyanure de méthyle, CH_3CN).

Cette molécule et sa plus simple cousine, le cyanure d'hydrogène (HCN) ont été découvertes à la périphérie du disque entourant

l'étoile, dans une région que les astronomes pensent être analogue à la ceinture de Kuiper – le royaume des planétésimaux glacés et des comètes au-delà de Neptune.

Les comètes conservent la primauté pour le développement d'une chimie dans le Système solaire à l'époque de la formation planétaire. Les comètes et les astéroïdes sont supposés avoir ensemencé la jeune Terre avec de l'eau et des molécules organiques, aidant ainsi à créer les conditions pour le développement de la vie.

Nous avons ainsi la preuve que cette chimie existe ailleurs dans l'Univers, dans des régions qui peuvent former des systèmes planétaires pas forcément différents du nôtre. Ce

qui est particulièrement intrigant, c'est que jusqu'à présent les molécules trouvées dans MWC 480 n'avaient été observées dans des concentrations similaires que dans les comètes du Système solaire.

L'étoile MWC 480, dont la masse est environ deux fois celle du Soleil, est située à 455 années-lumière dans la région de formation stellaire du Taureau. Le disque qui l'entoure est dans les toutes premières phases de son développement. Il vient de se créer à partir d'une nébuleuse sombre et froide de gaz et de poussière. Les études faites avec ALMA et d'autres télescopes ont déjà permis de détecter des signes évidents de formation planétaire dans cette région.

Les astronomes savent depuis quelque temps que ces nuages interstellaires sombres et froids peuvent contenir des molécules organiques complexes – incluant un groupe de molécules connues sous le nom de cyanures. Les cyanures, et plus particulièrement les cyanures de méthyle, sont importants car ils contiennent des liens carbone–azote qui sont essentiels pour la formation des acides aminés, la fabrication des protéines et des briques élémentaires de la vie.

Jusqu'à maintenant on n'a toutefois pas bien compris si ces mêmes molécules organiques complexes peuvent se former et survivre facilement dans l'environnement énergétique des très jeunes systèmes planétaires en formation, là où les chocs et les radiations peuvent facilement casser les liens chimiques.

Les astronomes peuvent constater, avec les dernières observations, que ces molécules peuvent non seulement survivre, mais qu'elles prospèrent.

Les molécules détectées par ALMA sont bien plus abondantes que ce qui aurait été trouvé dans des nuages interstellaires. Ceci indique que les disques protoplanétaires sont très efficaces pour former des molécules organiques complexes et qu'ils sont également capables de les former sur des échelles de temps relativement courtes.

Quand ce système va évoluer, les molécules organiques, conservées en toute sécurité dans les comètes et autres corps glacés, pourraient être transportées vers des environnements plus propices au développement de la vie.

Le ciel autour de MWC 480 dans la constellation du Taureau. Image composée à partir de clichés du Digitized Sky Survey 2. (ESO/Digitized Sky Survey 2)





Des galaxies mystérieuses à grand redshift

Basé sur un communiqué CNRS

Les satellites Planck et Herschel de l'Agence Spatiale Européenne (ESA) ont permis de découvrir d'énigmatiques galaxies lointaines formant d'impressionnantes quantités d'étoiles. La plupart de ces galaxies semblent faire partie d'amas en formation. Les scientifiques cherchent depuis longtemps à observer ce processus afin de mieux cerner la manière dont se forment les grandes structures de l'Univers.

Étudier les époques où la formation d'étoiles dans les galaxies était très intense, est un bon moyen de connaître la dynamique et l'évolution des galaxies et du gaz dans les grands amas. Ces amas anciens sont aussi une source d'informations cosmologiques précieuses ; par exemple sur le contenu

Images données par Herschel de deux candidats amas à grand redshift. Ces composites en trois couleurs représentent en bleu l'image à 250 microns de longueur d'onde, en vert 350 microns, et en rouge 500 microns. Les contours jaunes représentent l'excès de densité de galaxies, mettant en évidence d'impressionnantes sur-densités.

Le contour blanc représente la zone de détection dans Planck.

(ESA, Planck Collaboration/H. Dole, D. Guéry & G. Hurier, IAS/University Paris-Sud/CNRS/CNES)

baryonique de l'Univers, l'agrégation de la masse à grande échelle et la formation des grandes structures et, pour les temps les plus reculés, l'identification d'éventuelles hétérogénéités primordiales, des fluctuations quantiques de l'Univers naissant prédites par certains modèles cosmologiques.

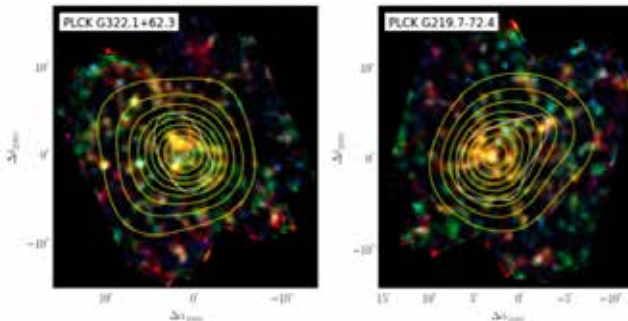
Pour toutes ces raisons, la quête d'amas de galaxies lointains ou de galaxies lointaines amplifiées par effet de lentille gravitationnelle est un sujet brûlant de la cosmologie observationnelle. Le satellite Planck de l'ESA a le potentiel de découvrir ces objets rares sur l'ensemble du ciel et l'observatoire spatial Herschel de l'ESA peut quant à lui parfaitement les examiner en détail.

Le satellite Planck fournit la première image de la totalité du ciel dans les ondes submillimétriques avec la sensibilité requise pour identifier systématiquement les sources à grand redshift les plus lumineuses. Ces sources peuvent être des galaxies gravitationnellement amplifiées, ou des ensembles de galaxies sièges de flambées de formation stellaire (plus de 500 fois le taux de formation de notre Galaxie). Dans cette étude, les astrophysiciens ont découvert que la plupart des candidats Planck à grand redshift sont de telles concentrations de galaxies.

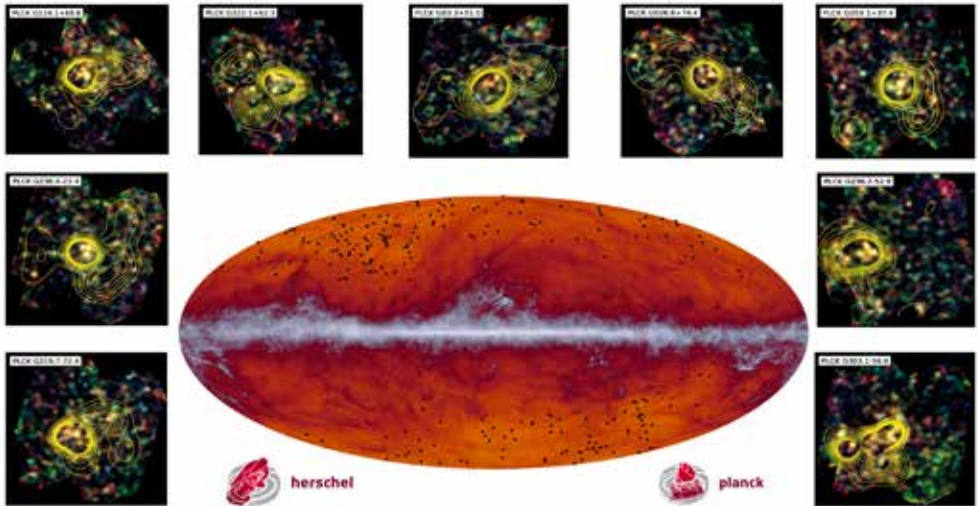
Ces groupes de galaxies sont prédits par les modèles, et devraient se trouver dans les halos de matière noire les plus massifs qui croissent et se contractent rapidement avec en leur sein du gaz et des galaxies. Ils constituent précisément les premiers amas de galaxies tant recherchés (proto-amas) qui sont une étape

intermédiaire, un chaînon manquant, entre les hétérogénéités quantiques de l'Univers primordial et les grandes structures de l'Univers contemporain.

Le télescope spatial Planck ayant permis la découverte de nombreux candidats, les scientifiques ont fait appel à Herschel pour en observer plus de 200. La résolution angulaire de Herschel et sa haute sensibilité ont dévoilé la nature des



→ Herschel and Planck proto-cluster candidates



En bas au milieu : la totalité du ciel observé par Planck à 545 GHz, avec en points noirs les candidats identifiés, puis observés par Herschel. Tout autour : quelques images de Herschel, avec les contours de densité de galaxies. (ESA, Planck Collaboration/ H. Dole, D. Guéry & G. Hurier, IAS/University Paris-Sud/CNRS/CNES)

candidats à grand redshift. En plus de galaxies gravitationnellement amplifiées, les chercheurs ont pu identifier et caractériser des concentrations de galaxies rouges par leur grand redshift et semblent être en train de constituer des amas.

Les chercheurs ont été surpris tantôt par le flux élevé de certaines galaxies, tantôt par la forte concentration angulaire d'autres galaxies. La découverte de tant de galaxies à flambée de formation stellaire si concentrées dans de petites régions ciel est frappante. Nous pourrions être les témoins d'un épisode mys-

térieux de la formation des grandes structures cosmologiques : la phase où des galaxies ont formé intensément des étoiles à grand redshift en même temps qu'elles se regroupaient en amas, précurseurs des grands amas actuels.

En résumé, les astrophysiciens ont découvert que la plupart des candidats Planck à grand redshift sont des concentrations de galaxies formant intensément des étoiles. Plus important encore, de nombreux indices montrent qu'elles pourraient être des amas en train de se former. Cette importante découverte révèle les grandes structures dans leur phase de formation jamais observée auparavant avec autant de détails et sur un si large échantillon. En outre, quelques joyaux sont également détectés dans le reste des données : des galaxies ultra-brillantes à haut redshift, amplifiées par effet de lentille gravitationnelle, permettant une étude physique aussi détaillée de la composition du gaz et de la dynamique que dans les galaxies proches.

Le noyau de la Lune

Basé sur un communiqué CNRS

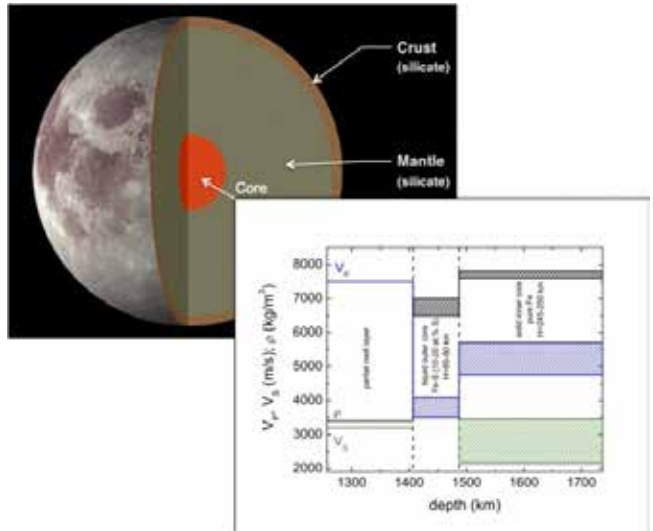
Les enregistrements sismiques obtenus grâce au programme spatial Apollo (Apollo Lunar Surface Experiments Package) fournissent des informations très précieuses sur la structure interne de la Lune. Cependant, ces données ne suffisent pas à déterminer la structure ainsi que les propriétés de son noyau. Afin de mieux interpréter les différentes propriétés sismiques, les scientifiques ont effectué des mesures de densité et de vitesse du son dans le fer aux pressions et températures existant dans le noyau lunaire, ce qui a permis de modéliser précisément la composition et la structure du noyau métallique de la Lune.

Le fer est le constituant principal du noyau des planètes de type tellurique (dont la structure globale est similaire à celle de la Terre). Il adopte une structure hexagonale compacte (hc) dans les conditions du noyau interne de la Terre, tandis qu'une structure cubique à faces centrées (cfc) est attendue aux pressions plus modérées de corps planétaires plus petits, comme la Lune, Mercure ou Mars. Déterminer les propriétés physiques du fer à haute pression et température est donc essentiel pour la modélisation des noyaux planétaires.

Les chercheurs ont mesuré la densité et la vitesse de propagation des ondes de compression et des ondes de cisaillement dans le fer cubique à faces centrées aux pressions et températures caractéristiques des intérieurs des planètes telluriques de petites dimensions. Les expériences ont été effectuées sur des échantillons de fer comprimés jusqu'à 19 GPa et chauffés jusqu'à 1150 K dans des cellules de l'ESRF (European Synchrotron Radiation Facility, Grenoble). La vitesse du son a ainsi été déterminée par mesures de diffusion inélastique des rayons X, tandis que la structure cristalline et sa densité ont été déterminées par diffraction des rayons X.

Les résultats indiquent que la vitesse sismique actuellement proposée pour le noyau interne de la Lune est bien inférieure à celle du fer-cfc ainsi que des alliages de fer plausibles. Cet ensemble de données apporte donc de très fortes contraintes sur les modèles sismiques du noyau lunaire et des noyaux des petites planètes telluriques et a permis de construire un modèle direct de la composition, structure, densité et vitesse du noyau de la Lune. Plus précisément, la Lune semble posséder un noyau interne solide d'environ 250 km de rayon constitué de fer en structure cfc, entouré

Vue schématique de l'intérieur de la Lune et zoom sur le modèle de noyau proposé. Ce modèle résulte des observations sismiques par les missions Apollo et la densité et la vitesse de propagation du son mesurées en fonction de la pression et de la température sur le fer solide et sur les alliages liquides de fer-soufre.
(D. Antonangel et al.)



par une enveloppe relativement fine, d'environ 80 km d'épaisseur, d'un alliage liquide de fer et de soufre. La structure globale du noyau lunaire est donc similaire à celui de la Terre avec un noyau externe liquide beaucoup plus petit en proportion.

L'approche employée pour comprendre les propriétés du noyau de la Lune peut être étendue à d'autres planètes, comme Mars. L'objectif premier de la mission Insight du NASA Discovery Program, dont le lancement est prévu en mars 2016, est d'installer une station sismique pour l'étude de l'intérieur de Mars.

Naissance de la Lune

De nouvelles études confirment que la Lune s'est formée à la suite d'un impact violent. La théorie la plus fréquemment admise veut qu'un astre du type de Mars (baptisé Théïa par les astronomes, du nom de la mère de la déesse Sélène) a heurté la jeune Terre environ 150 millions d'années après la formation du Système solaire. Les orbites étaient alors bien plus encombrées que maintenant. Le nuage de débris qui a entouré la Terre a fini par s'agréger et former notre satellite. Le problème de ce scénario est que la Lune devrait

se « souvenir » de la composition isotopique de l'astre impacteur. Or elle est exactement pareille à celle de la Terre, une coïncidence que l'on pensait très improbable. Et pourtant, de nouveaux modèles indiquent que Théïa a dû se former dans la même région du disque circumsolaire que la Terre, à partir des mêmes matériaux, et avait donc probablement la même composition chimique.

D'autres résultats concernant des analyses isotopiques suggèrent que, de toutes façons, l'impact a été si violent qu'il en est résulté une homogénéisation complète des débris, ce qui suffirait à expliquer les similitudes entre la Terre et la Lune, tout en admettant une différence de composition entre la Terre et Théïa.

*Vue d'artiste montrant la collision de deux planètes. Un cataclysme de ce genre a pu former la Lune quelque 150 millions d'années après la naissance du Système solaire.
(NASA/JPL-Caltech)*



G2 au centre de la Galaxie

Basé sur un communiqué ESO

Des observations faites au moyen du VLT de l'ESO confirment ce qu'avaient montré les astronomes de Hawaïi, le nuage interstellaire G2 a survécu à son passage près du trou noir supermassif de la Voie lactée. L'objet ne semble pas avoir été considérablement étiré et reste bien compact.

Le trou noir supermassif de notre galaxie pèse quatre millions de soleils. Il est entouré d'un petit groupe d'étoiles brillantes ainsi que du mystérieux nuage de poussières G2. La progression de ce nuage vers le trou noir fait l'objet d'un suivi depuis plusieurs années. Le périastre (certains n'hésitent pas à parler de péribothron, ou de périmélasme, faute de péri-trou noir) devait être atteint en mai 2014.

Les impressionnantes forces de marée qui règnent au sein de cette région caractérisée par une intense gravité étaient censées fractionner le nuage et disperser ses fragments le long de son orbite. Une fraction de cette matière devait alimenter le trou noir puis soudainement raviver son éclat.

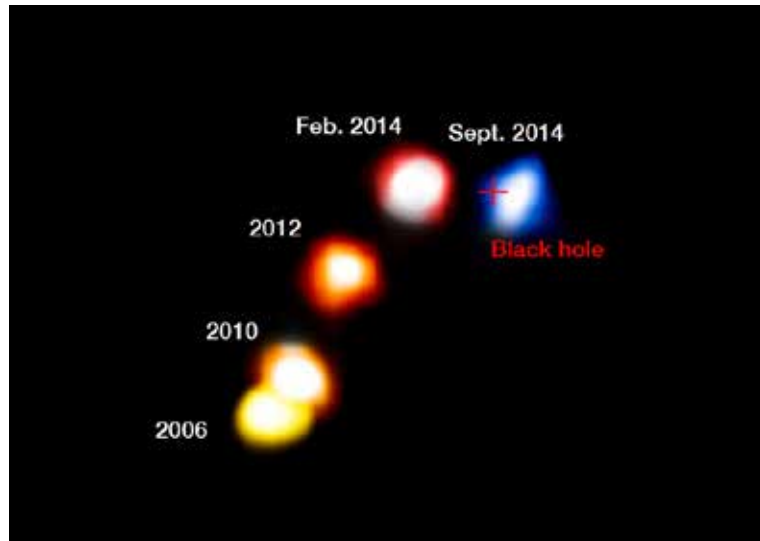
Les images acquises dans l'infrarouge – domaine d'émission de l'hydrogène gazeux – montrent que son passage à proximité du trou noir n'a en rien modifié la compacité du nuage.

Avant d'atteindre le péribothron, le nuage s'éloignait de la Terre à une vitesse voisine de dix millions de kilomètres par heure. Après avoir côtoyé le trou noir, le nuage revenait en direction de la Terre à quelque douze millions de kilomètres par heure.

Des observations antérieures suggéraient l'étirement progressif de G2. Les nouvelles observations ne confirment toutefois pas d'étalement significatif. Des mesures de la polarisation de la lumière en provenance de la région qu'occupe le trou noir supermassif n'ont révélé aucune perturbation.

La résistance du nuage face aux intenses effets de marée gravitationnelle générés par la proximité du trou noir suggère fortement qu'il possède un noyau massif et n'est pas qu'un fluide. Cette hypothèse se trouve confortée par l'absence, à ce jour, du moindre élément – hausse de luminosité, accroissement d'activité – plaidant en faveur de l'accrétion de sa matière par le monstre central de la Voie lactée.

Cette image composite révèle le mouvement du nuage G2 lorsqu'il s'approche puis s'éloigne du trou noir supermassif (« Black hole ») situé au centre de la Voie lactée. Ces nouvelles observations effectuées au moyen du VLT de l'ESO confirment que l'objet a survécu à sa rencontre avec le trou noir : il demeure un objet compact dont l'étirement n'est pas significatif. (ESO/A. Eckart)



Nova Vulpeculae 1670

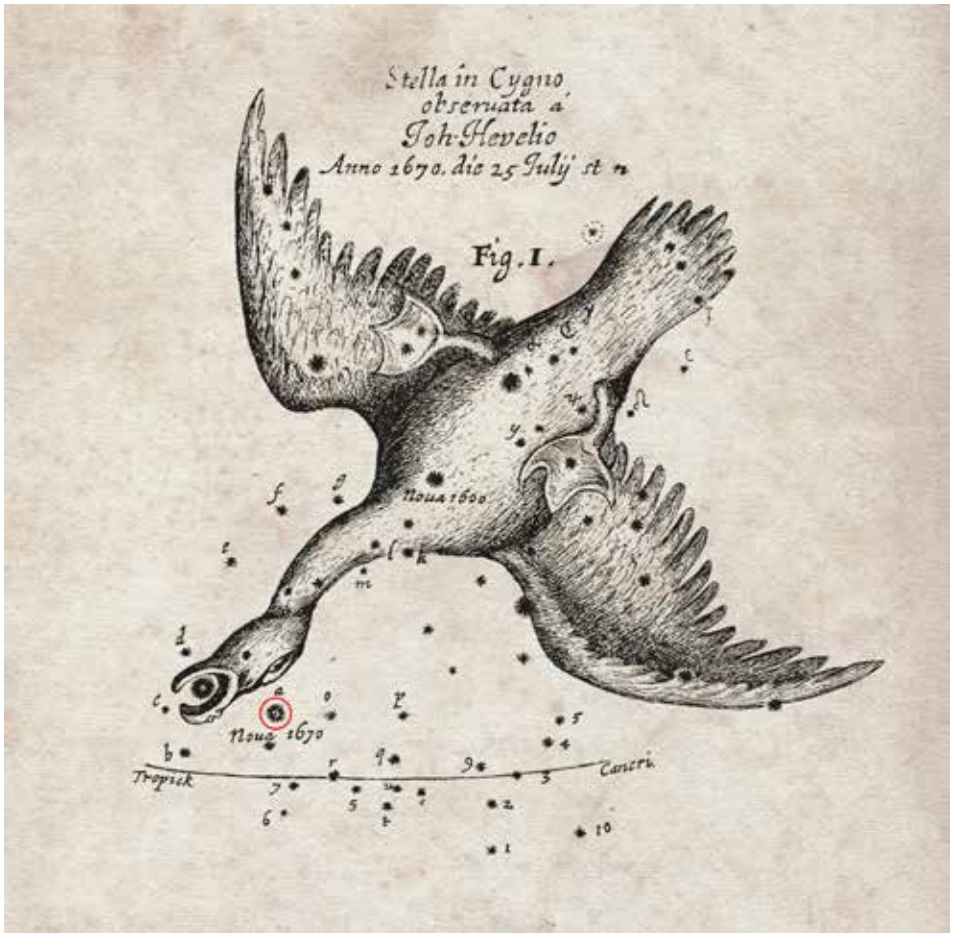
Basé sur un communiqué ESO

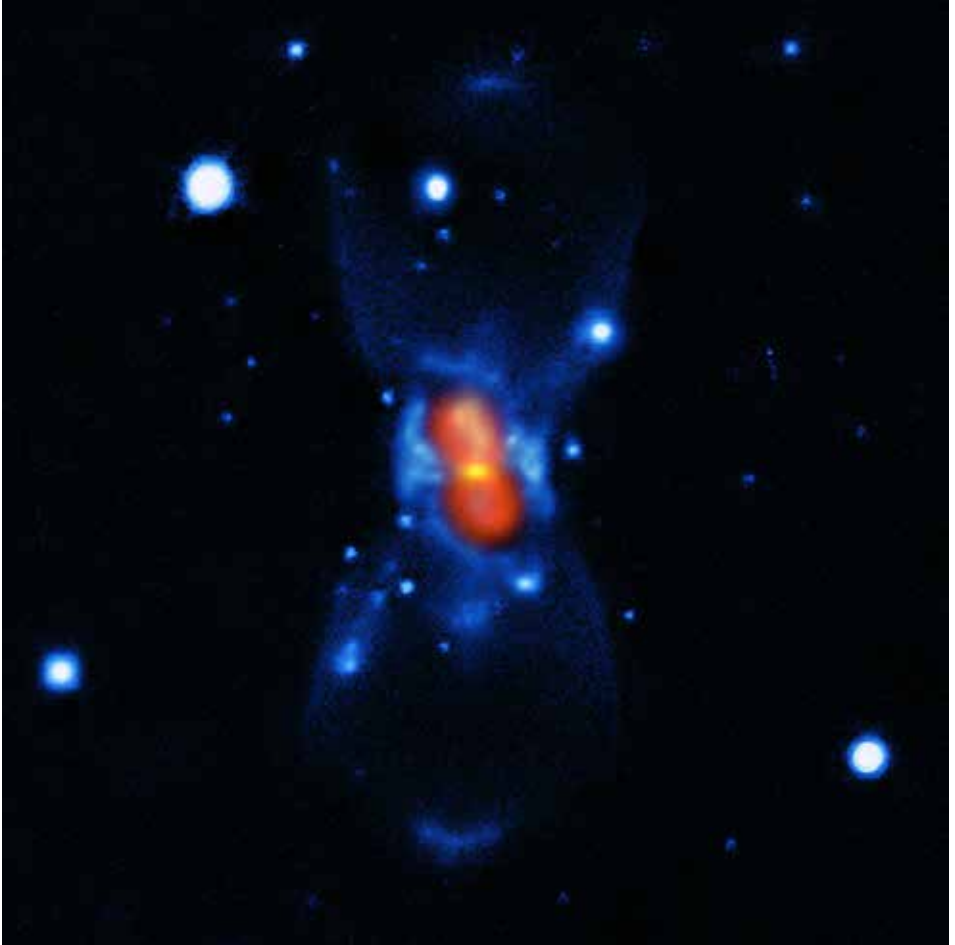
De nouvelles observations effectuées au moyen du radiotélescope APEX et d'autres télescopes révèlent l'origine exacte d'un phénomène lumineux observé en 1670 par les astronomes européens : ce n'était pas une nova au sens actuel, astrophysique, du terme mais une violente collision stellaire d'un type très rare. Cet événement fut facilement observable à l'œil nu. Les traces qui en subsistent aujourd'hui sont si faibles que leur analyse

détaillée a requis l'utilisation de télescopes opérant dans le domaine submillimétrique.

Quelques-uns des plus grands astronomes européens du XVII^e siècle, au premier rang desquels Hevelius – le père de la cartographie lunaire – et Cassini, ont soigneusement rapporté l'apparition d'une nouvelle étoile dans le ciel de 1670. Hevelius la désigna sous l'appellation

La position de la nova qui apparut dans le ciel de 1670 est notée en rouge sur cette carte dressée par le célèbre astronome Hevelius et publiée en Angleterre par la Royal Society dans sa revue Philosophical Transactions.





Résidus de Nova Vul 1670. Cette image a été constituée à partir d'observations faites dans le visible par le télescope Gemini, dans le domaine submillimétrique par SMA, ainsi que d'une carte de l'émission moléculaire dressée par APEX et SMA. (ESO/T. Kamiński)

« nova sub capite Cygni » – littéralement, une nouvelle étoile sous la tête du Cygne ; les astronomes la connaissent sous son appellation moderne Nova Vulpeculae 1670 ou celle d'étoile variable CK Vul attribuée après sa redécouverte en 1981. Les récits historiques de novæ sont rares et présentent un grand intérêt

pour les astronomes contemporains. Nova Vul 1670 constitue à la fois la nova la plus ancienne jamais consignée et la nova la plus faible retrouvée ultérieurement.

Des années durant, cet objet fut rangé parmi les novæ. Toutefois, les études successives ont mis en cause sa ressemblance même avec une étoile ayant explosé.

Lorsqu'elle apparut pour la toute première fois, Nova Vul 1670 était facilement observable à l'œil nu. Puis sa luminosité varia durant deux années. Elle disparut puis réapparut à deux reprises avant de disparaître défini-



tivement. Bien que correctement informés, les astronomes de l'époque ne disposaient évidemment pas de l'instrumentation nécessaire à percer le mystère de la nova.

Au cours du xx^e siècle, les astronomes comprirent que la plupart des novæ résultaient de processus affectant des étoiles binaires. Mais Nova Vul 1670 ne s'inscrivait pas dans le cadre de ce scénario et continua de demeurer un mystère.

En dépit des progrès notables effectués dans le domaine de l'astronomie

*Cette vue à grand champ montre le ciel qui entoure l'emplacement de Nova Vul 1670. Les restes de la nova historique apparaissent, faiblement lumineux, au centre de l'image.
(ESO/Digitized Sky Survey 2. Davide De Martin)*

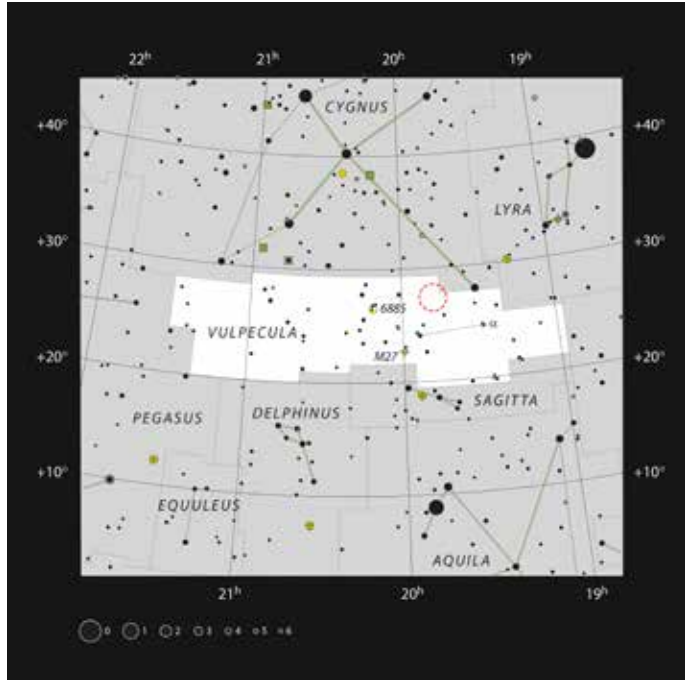
observationnelle, il semblait que cet événement n'avait laissé aucune trace détectable. Dans les années 80 toutefois, les astronomes découvrirent l'existence d'une nébuleuse de faible intensité autour de l'hypothétique emplacement des restes de l'étoile. Le lien entre ces observations et l'événement survenu en 1670 était tentant. Mais on ne parvint pas à éclaircir davantage le mystère du phénomène observé dans le ciel d'Europe plus de trois cents ans auparavant.

Les astronomes ont alors sondé cette région du ciel dans les domaines radio et submillimétrique et ont découvert que les vestiges de Nova Vul baignent dans un gaz moléculaire froid de composition chimique pour le moins inhabituelle.

En plus d'APEX, ils ont également utilisé le Réseau Submillimétrique (SMA) et le radiotélescope d'Effelsberg pour déterminer la composition du gaz et mesurer les rapports des différents isotopes. Ils ont ainsi obtenu un aperçu très détaillé du contenu matériel de cette région du ciel et ont pu discuter de son origine.

Il apparaît que la masse de matière froide est trop importante pour résulter de l'explosion d'une nova. D'autre part les rapports isotopiques mesurés autour de Nova Vul 1670 diffèrent de ceux produits par une nova.

La « nouvelle étoile » résultait en fait d'une violente collision entre deux étoiles, ce qui donna une explosion d'intensité supérieure à celle d'une nova mais inférieure à celle d'une supernova, aboutissant ainsi à la création d'un objet transitoire de couleur rouge. Ce type d'événement survient très rarement : la fusion de deux étoiles se traduit par leurs explosions, puis par l'éjection, dans l'espace, de leurs intérieurs. Il ne subsiste alors qu'un résidu de faible luminosité dans un environnement froid de molécules et de poussières. Ce nouveau



La localisation de Nova Vul 1670 est marquée d'un cercle rouge sur cette carte de la région de Vulpecula (le Petit Renard) au sud du Cygne dans les régions septentrionales de la Voie Lactée. (ESO, IAU, Sky & Telescope)

type d'étoiles éruptives correspond presque exactement au profil de Nova Vul 1670.

Évolution des galaxies

Les astronomes ont assemblé un album de milliers de galaxies du type de la nôtre, mais de tous âges. Pour cela ils ont utilisé les données des télescopes spatiaux Spitzer, Hubble, Herschel ainsi que du télescope Magellan Baade de Las Campanas. Ils ont ainsi pu reconstruire toute une évolution de ces galaxies sur une dizaine de milliards d'années, les galaxies les plus lointaines étant les plus jeunes.

Ils ont pu confirmer que les galaxies comme la Voie lactée commencent comme de



petites concentrations d'étoiles, et grossissent surtout pendant les cinq premiers milliards d'années. La masse combinée des étoiles peut augmenter d'un facteur dix pendant cette période, aux dépens des nuages de gaz. Après cinq milliards d'années, le taux de formation stellaire baisse considérablement. Il est 30 fois plus faible dans la Voie lactée actuelle qu'il ne l'était dans sa jeunesse.

Le Soleil serait donc né après l'épisode de grande activité. Ce n'est pas étonnant. Les étoiles massives des premières générations ont enrichi la Galaxie en éléments plus lourds que l'hydrogène et l'hélium et ce sont ces éléments qui favorisent la formation de planètes comme la Terre et qui permettent la chimie de la vie.

Vue d'artiste du ciel que l'on aurait pu voir il y a dix milliards d'années. Les nuages de gaz ionisé autour de groupes d'étoiles jeunes abondent dans la Galaxie. (NASA/ESA/Z. Levay, STScI)

Six étapes de la vie de la Voie lactée sont représentées dans ces photos de galaxies de différents âges. (NASA/ESA/C. Papovich/Texas A&M)/H. Ferguson, STScI/S. Fabe)

