

L'astronomie dans le monde

Gaia

Basé sur un communiqué ESA

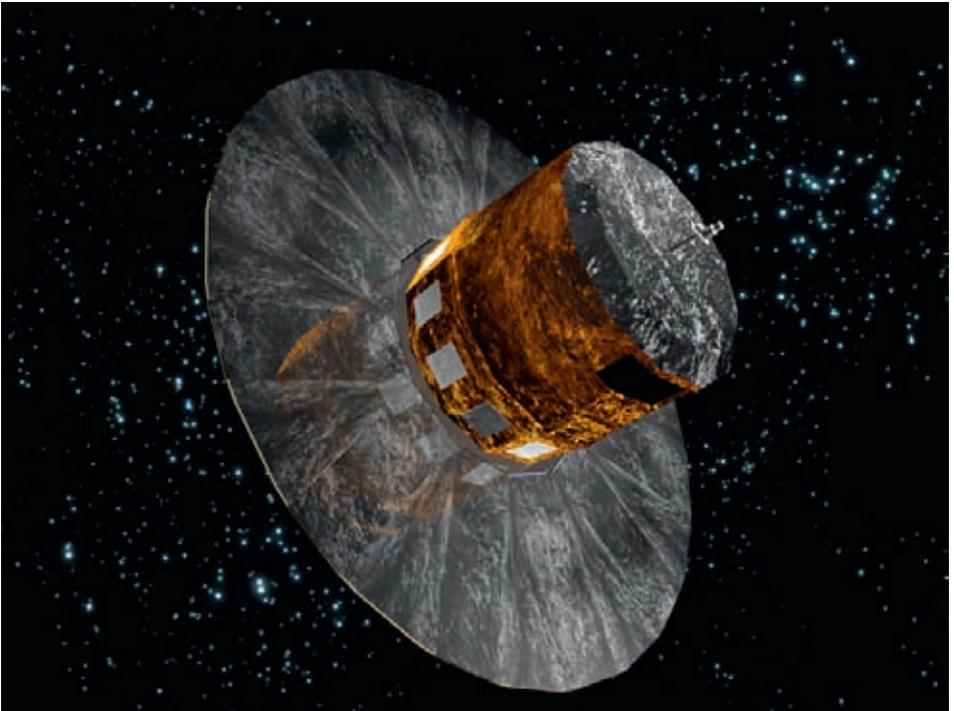
Le satellite Gaia de l'ESA a été lancé le matin du 19 décembre depuis le port spatial de l'Europe à Kourou (Guyane française) à bord d'une fusée Soyouz. Sa mission est une étude portant sur un milliard d'étoiles. Une phase de recette d'une durée de quatre mois a débuté au cours de son périple vers sa position définitive, le point de Lagrange L2 situé à 1,5 million de kilomètres dans la direction opposée au Soleil – point atteint au début de janvier. Tous les systèmes et instruments seront activés, vérifiés

et étalonnés. Gaia pourra alors commencer sa mission, prévue pour durer cinq ans.

Gaia a pour but d'établir la carte la plus fidèle jamais réalisée de la Voie lactée. Grâce à ses mesures précises de la position et du déplacement d'un pour cent des quelque cent milliards d'étoiles qui la composent, nous en saurons davantage sur l'origine et l'évolution de notre galaxie.

Gaia s'appuiera sur les résultats de la première mission de cartographie des étoiles lancée par l'ESA en 1989, Hipparcos, pour

*Gaia, vue d'artiste
(ESA - C. Carreau)*



Le lanceur de Gaia, Soyouz VS06, sur l'aire de départ. Après avoir été transporté à l'horizontale, il est redressé in situ. (ESA-CNES-Arianespace / Optique Vidéo du CSG - L. Barthet Barateig)



percer le mystère de l'histoire de notre galaxie. Alors qu'Hipparcos a recensé 120 000 étoiles, Gaia va en étudier près de 10 000 fois plus, avec une précision quarante fois supérieure.

Gaia constitue la réalisation d'un rêve pour tous les astronomes, depuis les premières observations d'Hipparcos dans la Grèce antique qui avait recensé la position relative d'un millier d'étoiles à l'œil nu et à l'aide de calculs géométriques simples.

Plus de 2000 ans plus tard, Gaia ne se contentera pas de recenser un nombre inégalé d'étoiles, il sera en mesure, tout au long de son périple, de

Gaia et l'étage Fregat, dans leur enveloppe, sont attachés au sommet du lanceur, caché ici par la plateforme. (ESA-CNES-Arianespace / Optique Vidéo du CSG - S. Martin)

découvrir à la fois des astéroïdes, des planètes et des étoiles mourantes.

C'est en balayant le ciel de façon continue que Gaia pourra observer chaque étoile en moyenne 70 fois en cinq ans. Il mesurera la position et les principales caractéristiques physiques, y compris la brillance, la température et la composition chimique d'un milliard d'étoiles.

Le léger changement de perspective qui se produira lorsque Gaia effectuera une orbite autour du Soleil sur une année lui permettra de mesurer la distance des étoiles, ainsi que leur déplacement dans le ciel, grâce à une observation patiente, tout au long de sa mission.

La position, le déplacement et les caractéristiques de chaque étoile donnent des informations sur son histoire et grâce au recensement gigantesque de Gaia, les scientifiques

pourront établir un arbre généalogique de notre galaxie.

Il sera possible de reconstituer l'histoire du déplacement des étoiles, ce qui permettra de savoir d'où elles viennent et comment la Voie lactée s'est constituée sur plusieurs milliards d'années à partir de la fusion de petites galaxies, mais également de se projeter dans l'avenir, pour connaître la destinée finale de notre galaxie.

En comparant ses multiples balayages du ciel, Gaia dévoilera également des dizaines de milliers de supernovæ, explosions d'étoiles

*Soyouz VS06 emmène Gaia vers le ciel depuis le spaceport Europe, en Guyane française, le 19 décembre 2013.
(ESA - S. Corvaja, 2013S)*



massives arrivant en fin de vie. De légères oscillations périodiques de la position de certaines étoiles devraient révéler la présence de planètes en orbite autour d'elles, responsables de ces perturbations gravitationnelles.

Gaia lèvera également le voile sur de nouveaux astéroïdes évoluant dans notre Système solaire et affinera l'orbite de ceux que l'on connaît déjà ; il pourra tester avec précision certains aspects de la relativité d'Einstein.

Après une mission de cinq ans, les archives de données dépasseront un pétaoctet, c'est-à-dire un million de gigaoctets, l'équivalent du contenu de 200 000 DVD. Cette véritable mine de données, qui comportera également des dizaines de milliers d'autres objets célestes et planétaires, donnera une nouvelle vision de notre voisinage cosmique et de son histoire.

GRBs et trous noirs

Les astronomes ont identifié une nouvelle catégorie d'explosion stellaire se caractérisant par l'arrêt des émissions radio avant l'effondrement en un astre compact, trou noir ou étoile à neutrons. L'énergie est émise en un jet de particules donnant lieu à un sursaut gamma (GRB) pour un observateur convenablement situé. Contrairement aux GRB normaux, le sursaut gamma n'est pas accompagné d'un phénomène radio d'« afterglow ». Les différences entre les deux types de GRB sont vraisemblablement dues aux champs magnétiques des étoiles concernées.

Les savants estiment qu'une étoile qui s'effondre en un trou noir expulse toute son énergie dans un puissant éclair de rayons gamma. Par contre le champ magnétique d'une étoile à neutrons est beaucoup plus intense que celui d'un trou noir, de sorte qu'une étoile qui s'effondre en un tel objet rencontre une résistance à l'émission de rayons gamma ; une partie de l'énergie est alors rayonnée dans l'afterglow radio. Des travaux supplémentaires devront être effectués pour voir si d'autres différences plus subtiles existent entre les deux types d'explosions.

Champ magnétique à la surface d'une Mira

Basé sur un communiqué INSU/CNRS

Les étoiles Mira sont des étoiles froides et évoluées. Froides parce que leur température de surface est très basse (environ 3000-3500 K, soit deux fois plus basse que celle du Soleil), et évoluées parce qu'elles en sont à un stade de vie qui préfigure ce que sera celui du Soleil dans plus de 5 milliards d'années, quand il aura consommé tout son carburant d'hydrogène qu'il brûle actuellement dans ses zones les plus internes. Alors, le Soleil évoluera en géante rouge, son rayon augmentant considérablement et sa température de surface s'abaissant progressivement.

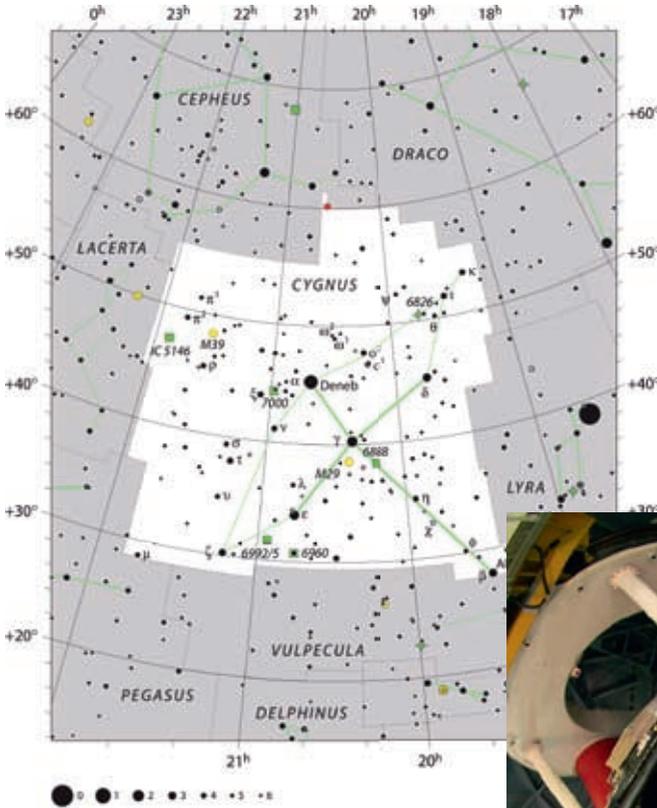
Les astronomes ont détecté pour la première fois un champ magnétique à la surface d'une étoile de ce type, l'étoile χ Cygni. Cette étoile est bien connue des amateurs. Elle présente l'une des plus grandes variations d'éclat connue, comparable à celle de certaines novæ. Sa période est d'environ 400 jours. À son maximum, au mieux vers la magnitude 3,3 où elle peut se maintenir une quinzaine de jours, elle est aisément visible à l'œil nu dans le cou du Cygne, entre Albiréo (β Cyg) et γ Cyg, non loin de η Cyg. Mais tous les maximums ne sont pas pareils, souvent l'étoile n'atteint pas la magnitude 4, et elle peut parfois rester à 7. À son minimum, au-delà de la magnitude 14, elle demande un télescope d'au moins 30 cm pour être suivie visuellement.

Les nouveaux résultats, obtenus avec des observations réalisées au Pic du Midi, démontrent pour la première fois l'existence d'un champ magnétique à la surface de ces étoiles géantes pulsantes et apportent un éclairage nouveau sur l'importante perte de masse qu'elles connaissent à la fin de leur évolution.

Les étoiles Mira sont des étoiles variables. Leur variation périodique d'éclat, sur une année, est liée à un phénomène de pulsation que connaît l'étoile dans ses zones internes. Dans le cas de ces étoiles froides, les pulsations stellaires engendrent des ondes de choc qui déferlent dans l'environnement stellaire (atmosphère et enveloppe circumstellaire).

À son maximum d'éclat, χ Cyg est aisément visible à l'oeil nu près de η Cyg. (IAU et Sky & Telescope magazine, Roger Sinnott & Rick Fienberg)

Le télescope Bernard Lyot (X. Plouchart, Futura-Sciences)



Elles provoquent ainsi d'importants mouvements de matière, le gaz atmosphérique étant périodiquement entraîné vers l'extérieur dans le sillage des ondes, pour retomber ensuite vers la surface de l'étoile.

Les observations ont été réalisées au printemps 2012 avec le Télescope Bernard Lyot équipé du spectropolarimètre Narval. Cet instrument permet d'obtenir simultanément le spectre de l'étoile sur tout le domaine du visible et l'état de polarisation de cette lumière stellaire qui peut alors donner des informations sur la présence d'un champ magnétique à la surface de l'étoile. L'analyse d'un ensemble de 175 spectres de χ Cyg, a permis de mettre en évidence la signature d'un champ magnétique stellaire très faible en surface.





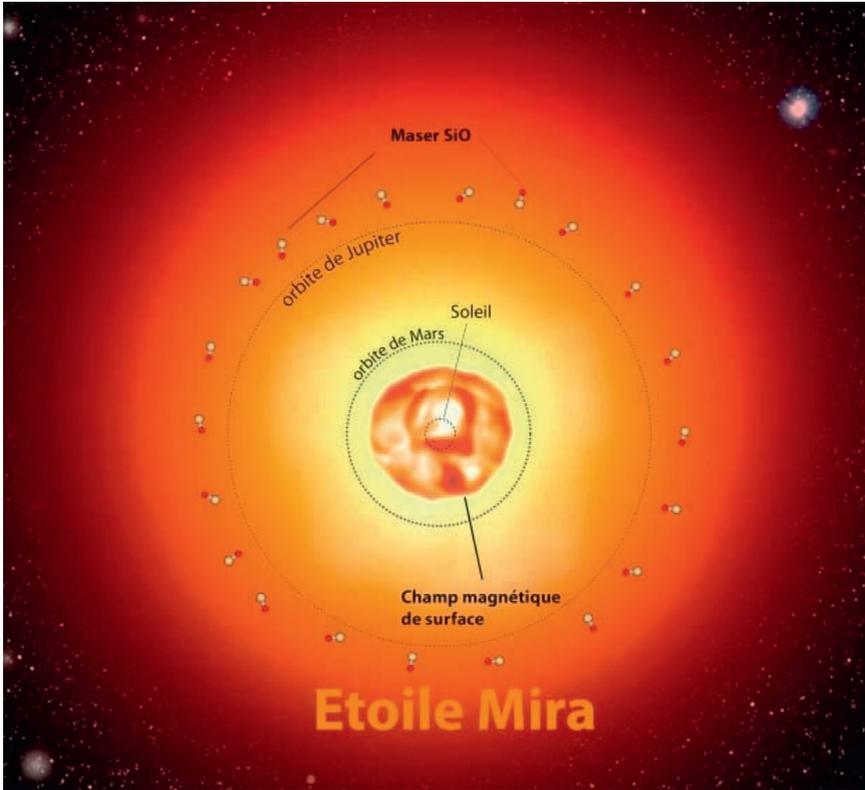
Cette découverte a été rendue possible par la présence, au moment des observations, de l'une de ces ondes de choc générées par la pulsation stellaire.

L'origine de ce magnétisme de surface d'une étoile Mira est une énigme. Il pourrait être produit et entretenu par les mouvements convectifs turbulents existant à la surface de ces étoiles géantes froides et, de plus, subir une amplification compressive de la part de l'onde choc, comme le suggère l'interprétation des observations de γ Cyg.

La présence d'un champ magnétique n'était établie que pour leurs régions externes, grâce à des observations d'émissions moléculaires de Masers SiO réalisées avec des radiotélescopes mieux à même de sonder ces

***La coupole du télescope Lyot
au Pic du Midi (Wikipedia /
Pascalou Petit)***

régions stellaires les plus froides. Les masers (pour Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation) sont des objets (naturels comme des nuages interstellaires, ou artificiels comme des dispositifs expérimentaux) émettant un faisceau cohérent de micro-ondes. Ce sont donc les équivalents du laser dans la portion des ondes radio du spectre électromagnétique. Différentes espèces moléculaires (par exemple, SiO, H₂O, OH) peuvent présenter des émissions masers et, en astrophysique,



les masers se produisent naturellement dans les environnements stellaires, planétaires, dans le milieu interstellaire, etc.

Cette première détection d'un champ magnétique à la surface d'une étoile Mira, complète le panorama magnétique de ces étoiles depuis leur surface jusqu'aux confins de l'enveloppe circumstellaire, à plusieurs milliers de rayons stellaires. Elle relance aussi le débat sur le rôle qu'un champ magnétique, même de faible intensité, pourrait jouer dans le processus de perte de masse que subit l'étoile en fin de vie, et aussi sur son aptitude à façonner les environnements des nébuleuses planétaires (aux morphologies variées, fortement dissymétriques) qui résulteront de l'évolution finale d'une étoile Mira.

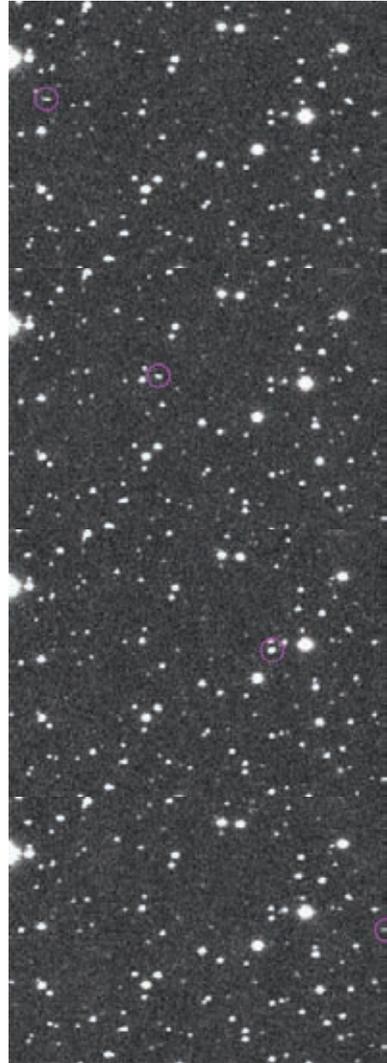
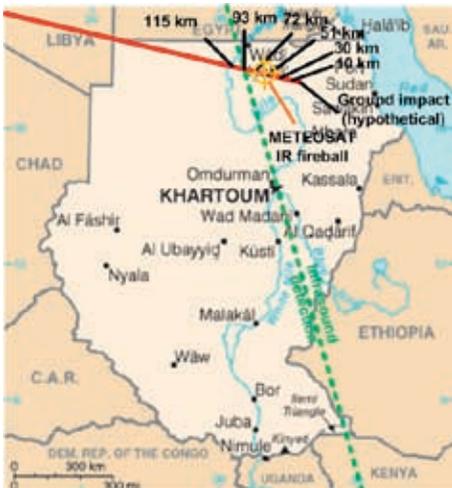
Représentation schématique d'une étoile Mira entourée de son atmosphère et de son enveloppe circumstellaire étendue. Le disque solaire et les orbites des planètes Mars et Jupiter de notre système solaire sont reportés sur cette représentation pour comparaison (traits pointillés). Les détections antérieures de champ magnétique étaient faites, via l'étude d'émissions moléculaires (Maser SiO), dans l'enveloppe circumstellaire des Miras (soit par comparaison avec notre Système solaire, au niveau de l'orbite de Jupiter). Les observations réalisées par spectropolarimétrie, apportent désormais des contraintes sur le champ magnétique détectable à la surface d'une étoile Mira. Crédits : C. Mercier, LUPM (conception et réalisation) ; B. Freytag (image centrale)

L'astéroïde 2014AA

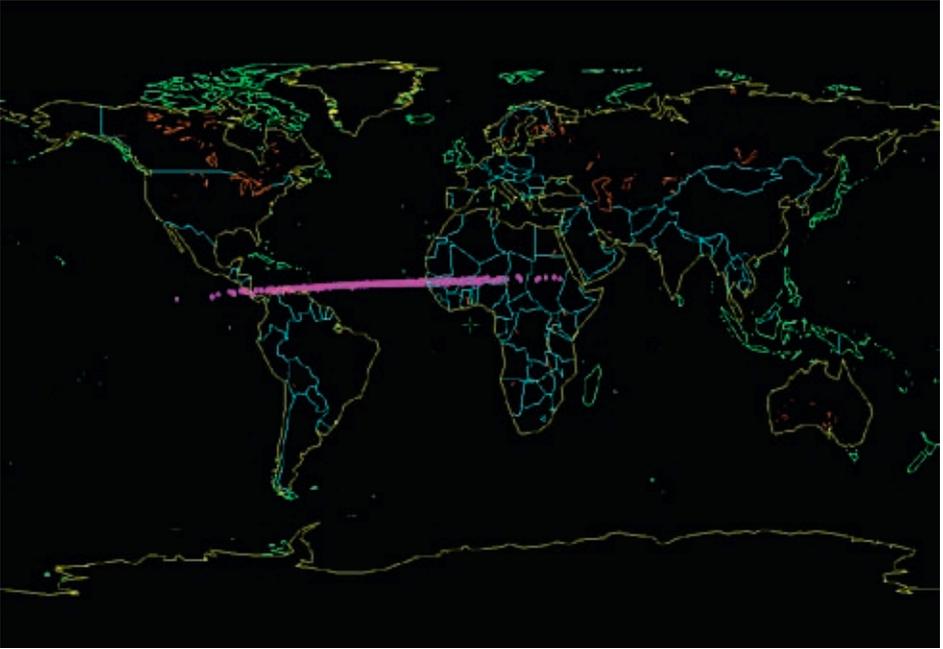
Pour la deuxième fois le scénario catastrophe s'est réalisé : un astéroïde a été découvert se dirigeant vers la Terre. Rien n'a pu être fait et le rocher s'est abattu sur notre planète peu de temps après. Dans les deux cas la découverte était due au Catalina Sky Survey, et plus précisément à Richard Kowalsky qui utilisait le télescope de 1 m 50 du Mont Lemmon, en Arizona.

Il y a cinq ans, l'astéroïde 2008TC3 explosait à près de 40 kilomètres au-dessus du Soudan, 19 heures après sa découverte. On estime le poids de l'astéroïde à 80 tonnes pour un diamètre de plus de 4 mètres. Plus de 10 kilos de débris ont été récupérés et se sont révélés du type rare des uréilites, riches en carbone et en particulier en nanodiamants.

En rouge, la trajectoire et l'altitude estimées de 2008TC3 au Soudan. La ligne verte est l'indication fournie par les infrasons. L'intersection des deux permet de situer l'endroit de l'explosion principale. Une observation plus directe était faite par les satellites comme Meteosat 8/EUMESAT qui a filmé de loin la désintégration du bolide dans l'atmosphère.



L'astéroïde 2014AA photographé à 11 minutes d'intervalle (Catalina Sky Survey / NASA)



La trajectoire estimée à partir des premières positions montrait que l'objet allait bientôt heurter notre planète, quelque-part entre l'Amérique Centrale et l'Afrique Orientale.

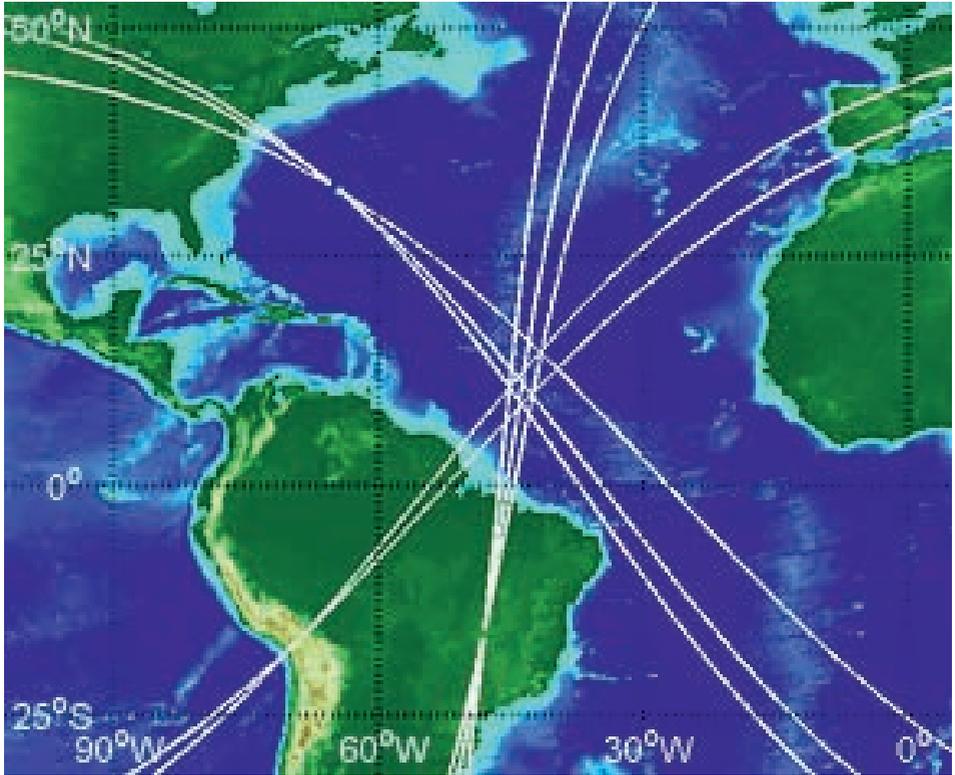
Le 1 janvier 2014, Richard Kowalsky remet ça, en découvrant le premier astéroïde de l'année.

Les éphémérides envoyées rapidement par le Minor Planet Center (MPEC 2014-A02) montrent la diminution rapide et implacable de la distance Delta entre la Terre et l'astéroïde. Heureusement, l'objet était probablement encore un peu moins gros que 2008TC3.

Ephemeris:

Date	TT	R. A. (2000)	Decl.	Delta	r	Elong.	Phase	V
2014 AA				a,e,i = 1.17, 0.21, 1				q = 0.9155
2014 AA				a,e,i = 1.17, 0.21, 1			Elements MPC xxxxxx	
2013 12 30.50	05 31 01.6	+14 17 03	0.009391	0.9923	162.3	17.6	21.7	
2013 12 30.50	05 31 08.0	+14 16 48	0.007929	0.9909	161.9	18.0	21.3	
2013 12 31.00	05 31 18.1	+14 16 36	0.006465	0.9895	161.4	18.4	20.9	
2013 12 31.50	05 31 35.0	+14 16 29	0.004996	0.9881	161.1	18.9	20.3	
2014 01 01.00	05 32 07.5	+14 16 28	0.003520	0.9867	160.7	19.2	19.6	
2014 01 01.05	05 32 12.4	+14 16 28	0.003371	0.9865	160.7	19.2	19.5	
2014 01 01.10	05 32 17.7	+14 16 29	0.003223	0.9864	160.7	19.3	19.4	
2014 01 01.15	05 32 23.6	+14 16 30	0.003074	0.9863	160.6	19.3	19.3	
2014 01 01.20	05 32 30.1	+14 16 31	0.002925	0.9861	160.6	19.3	19.2	
2014 01 01.25	05 32 37.3	+14 16 32	0.002775	0.9860	160.6	19.3	19.1	
2014 01 01.30	05 32 45.4	+14 16 33	0.002626	0.9858	160.6	19.4	18.9	
2014 01 01.35	05 32 54.4	+14 16 35	0.002476	0.9857	160.6	19.4	18.8	
2014 01 01.40	05 33 04.6	+14 16 37	0.002326	0.9855	160.6	19.4	18.7	
2014 01 01.45	05 33 16.2	+14 16 39	0.002175	0.9854	160.6	19.4	18.5	
2014 01 01.50	05 33 29.6	+14 16 42	0.002024	0.9853	160.6	19.4	18.4	
2014 01 01.55	05 33 45.2	+14 16 45	0.001872	0.9851	160.6	19.4	18.2	
2014 01 01.60	05 34 03.5	+14 16 49	0.001720	0.9850	160.6	19.4	18.0	
2014 01 01.65	05 34 25.5	+14 16 53	0.001567	0.9848	160.6	19.3	17.8	
2014 01 01.70	05 34 52.2	+14 16 59	0.001413	0.9847	160.7	19.3	17.6	
2014 01 01.75	05 35 25.5	+14 17 05	0.001258	0.9845	160.7	19.2	17.3	
2014 01 01.80	05 36 08.3	+14 17 13	0.001102	0.9844	160.9	19.1	17.0	
2014 01 01.85	05 37 05.3	+14 17 24	0.000944	0.9842	161.0	19.0	16.7	
2014 01 01.90	05 38 25.6	+14 17 37	0.000783	0.9841	161.2	18.7	16.3	
2014 01 01.95	05 40 28.1	+14 17 54	0.000618	0.9839	161.6	18.4	15.8	
2014 01 02.00	05 44 02.0	+14 18 15	0.000448	0.9838	162.3	17.7	15.0	
2014 01 02.05	05 52 16.8	+14 18 17	0.000266	0.9836	164.0	16.0	13.9	

Éphémérides MPEC 2014-A02 établies par le Minor Planet Center pour 2014AA. Delta, est la distance à l'astéroïde, en unités astronomiques; r est la distance au Soleil. En même temps que Delta tend vers zéro, la distance r se rapproche de la distance Terre-Soleil – quasiment à son minimum périhélique. La magnitude V varie en conséquence.



Son explosion se produisit au-dessus de l'Atlantique et apparemment n'eut aucun témoin. Les données infrasoniques de trois stations du réseau du « Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization » permirent de préciser le lieu de l'explosion, malgré des détections relativement marginales.

Les deux astéroïdes étaient nettement plus petits que celui qui a explosé au-dessus de Chelyabinsk en février 2013 et que l'on n'avait pas vu venir. On estimait sa taille à 17 mètres, ce qui lui confère donc une masse plus grande de deux ordres de grandeur.

Trois détections de l'explosion par les infrasons permettent une triangulation approximative du lieu de l'impact. (Peter Brown, / University of Western Ontario)

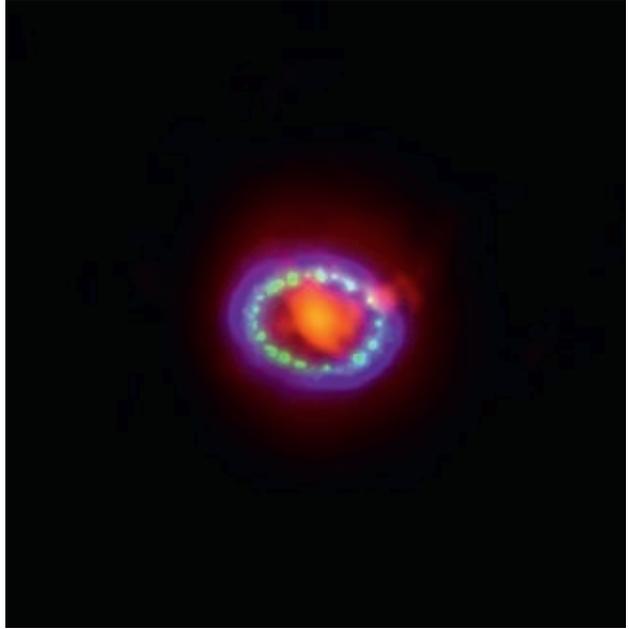
SN 1987A

Basé sur un communiqué ESO

Les galaxies abritent de grandes quantités de poussière dont les supernovæ constituent vraisemblablement la source principale, au sein de l'Univers jeune notamment. Mais les preuves directes des capacités d'une supernova à fabriquer de la poussière sont longtemps demeurées minces et ne pouvaient rendre compte des vastes quantités de poussière détectées dans les galaxies jeunes et distantes. De récentes observations d'ALMA apportent de nouveaux éléments.

Les astronomes ont utilisé le réseau d'antennes ALMA pour observer les vestiges de la Supernova 1987A dans le Grand Nuage de Magellan, à quelque 160 000 années lumière de la Terre. SN 1987A était la supernova la plus proche de la Terre depuis celle observée par Johannes Kepler en 1604. Celle-ci était nettement plus brillante car située dans la Voie lactée. Il en était de même des autres supernovæ remarquées par les Anciens, par exemple la supernova de Tycho Brahe en 1572, celle du Crabe en 1054, et d'autres en 1006, 393, 185, etc. Bien d'autres supernovæ ont dû exploser près de nous mais sont restées invisibles derrière les nuages opaques de la Galaxie.

Les astronomes avaient prévu que le refroidissement du gaz après l'explosion se traduisait par l'agglomération d'atomes d'oxygène, de carbone et de silicium, et donc la formation de vastes quantités de poussière dans les régions froides et centrales du reste de supernova. Toutefois, les observations antérieures de SN 1987A effectuées au moyen de télescopes infrarouges dans les 500 jours qui ont suivi l'explosion n'avaient permis de détecter qu'une faible quantité de poussière chaude.



Cette image montre les restes de la supernova 1987A photographiés à différentes longueurs d'onde. Les données d'ALMA (en rouge) révèlent la poussière nouvellement formée au centre du résidu. Les données d'Hubble (en vert) et de Chandra (en bleu) indiquent l'onde de choc en expansion.

(ALMA, ESO/NAOJ/NRAO/A. Angelich ; NASA/ESA Hubble Space Telescope. NASA Chandra X-Ray Observatory)

La résolution et la sensibilité inégales d'ALMA ont permis à l'équipe de chercheurs de photographier une quantité bien plus importante de poussière froide émettant un rayonnement intense dans les domaines millimétrique et submillimétrique. Les astronomes estiment que le résidu de l'explosion renferme à présent une quantité de poussière nouvellement formée équivalant à environ 25% de la masse solaire. Ils ont également détecté la présence, en quantités significatives, de monoxyde de carbone et de monoxyde de silicium récemment créés eux aussi.

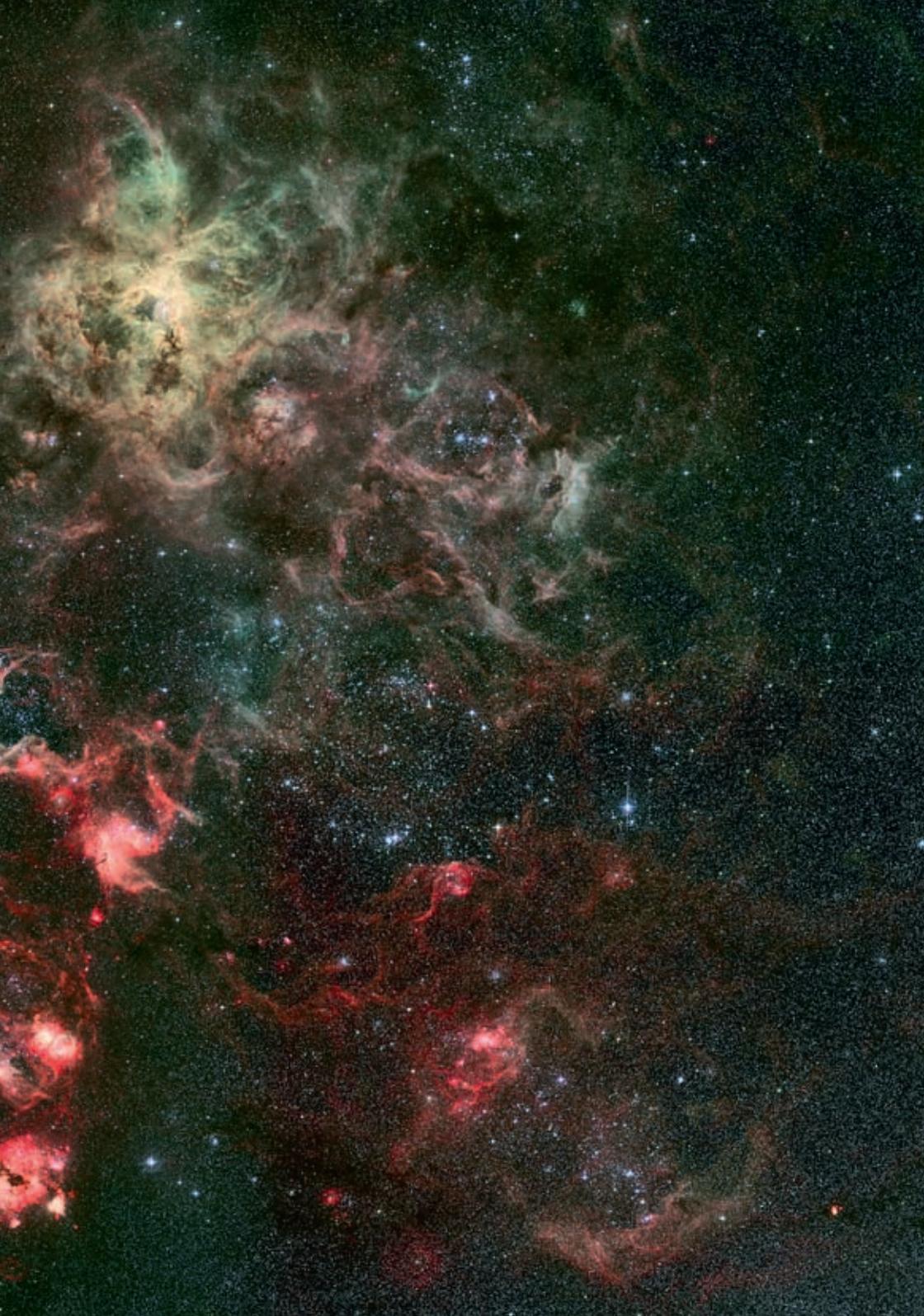
SN 1987A constitue un cas spécialement intéressant puisque son contenu n'a pas encore été mélangé à l'espace environnant.

Toutefois, les supernovæ sont tout autant capables de créer que de détruire les grains de poussière.

L'onde de choc issue de la première explosion a engendré, au cours de son déplacement, la formation d'anneaux de matière brillante comme en témoignent divers clichés obtenus par le télescope spatial Hubble. Après avoir heurté l'enveloppe de gaz expulsée par la géante rouge en fin de vie, l'onde a rebondi vers le centre. Tôt ou tard, elle percutera les amas de poussière nouvelle et en dissipera une partie qui se mêlera aux nuages interstellaires. Ce processus pourrait expliquer l'existence des vastes quantités de poussière que les astronomes détectent dans l'Univers jeune et qui y ont joué un rôle crucial.

*Champ d'un degré montrant la nébuleuse de la Tarentule et ses alentours. La nébuleuse, ayant l'apparence d'une araignée, peut être vue en haut au centre de l'image. Vers le bas, à droite, une toile de filaments héberge la fameuse supernova SN 1987A. De nombreuses autres nébuleuses rougeâtres sont visibles dans l'image, tout comme l'amas de jeunes étoiles sur la gauche connu sous le nom de NGC 2100. Cette image est basée sur des observations faites avec le Wide Field Imager (WFI) du télescope de 2,2 mètres de La Silla, dans les bandes B, V, H- α et [OIII].
ESO/R. Fosbury, ST-ECF)*





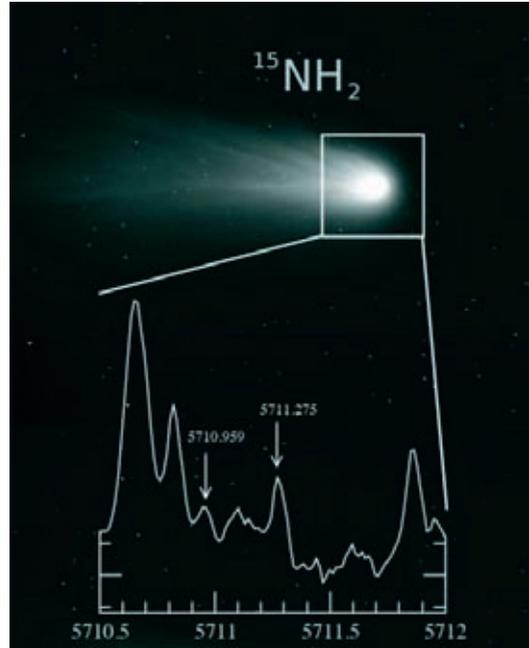
Azote cométaire

Basé sur un communiqué CNRS

Une équipe de chercheurs comprenant des astronomes de l'université de Liège vient de publier la première détection du radical $^{15}\text{NH}_2$ dans le gaz issu des comètes, une étape supplémentaire dans l'étude de l'origine du Système solaire.

La mesure des rapports isotopiques constitue un moyen d'analyse puissant pour mieux comprendre l'origine des différents corps qui constituent le Système solaire. En effet différents isotopes d'un même atome possèdent le même nombre de protons, donc le même nombre d'électrons et les mêmes propriétés chimiques. Ils conservent cependant la mémoire de leur origine car leur nombre ne change pas, sauf lors de réactions de fusions thermonucléaires qui ne se produisent qu'à des températures de plusieurs millions de degrés. Parmi les différents atomes utilisés par les astrophysiciens pour calculer des rapports isotopiques figure l'atome d'azote. Celui-ci possède habituellement 7 protons et 7 neutrons (^{14}N) mais il existe un autre isotope stable qui possède un neutron supplémentaire : l'azote 15 (^{15}N). Le rapport entre ces deux isotopes est typiquement de l'ordre de quelques centaines mais présente de grandes variations selon l'endroit où il est mesuré et les molécules considérées.

Dans l'atmosphère terrestre, l'azote est un composant majoritaire car il forme le diazote (N_2) qui compose 78 % de l'air que nous respirons. Les mesures du rapport $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ effectuées à partir de ces molécules ont donné un rapport de 272. D'autres mesures, plus ou moins précises, ont cependant pu être effectuées ces dernières années dans différents corps du Système solaire. Parmi celles-ci figurent celles effectuées dans l'atmosphère de Jupiter, qui donnent une valeur de 450 (mesure de la sonde Cassini avec les molécules d'ammoniac NH_3), ainsi que des mesures in situ effectuées dans le vent solaire (rapport de 441). Ces deux dernières valeurs sont supposées représentatives de la nébuleuse protosolaire



Les glaces des noyaux cométaires libèrent du gaz dans la coma qu'il est possible d'analyser en détail grâce à la spectroscopie. On voit ici deux des sept raies d'émission du radical $^{15}\text{NH}_2$ qui viennent d'être identifiées, avec leur longueur d'onde. (ESO/P. Rousselot)

qui a mené à la formation du Soleil et des corps planétaires.

Les comètes, qui figurent parmi les objets les plus primitifs du Système solaire, possèdent de l'azote principalement dans leurs glaces dans deux types de molécules : le cyanure d'hydrogène (HCN) et l'ammoniac (NH_3). Jusqu'à présent la valeur du rapport $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ avait seulement pu être mesuré dans le cyanure d'hydrogène et surtout, grâce aux travaux des chercheurs liégeois, dans le radical CN qui en dérive. La valeur obtenue était de 150 et relativement constante quel que soit le type de comète étudiée.

La mesure du rapport $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ dans l'ammoniac, était un élément manquant important car il pouvait être très différent de cette valeur, les molécules d'ammoniac pouvant avoir une origine différente.

La mesure de cette valeur représente cependant un vrai challenge observationnel. Même si les spectres d'émission observés dans le gaz qui entoure les comètes actives révèlent de nombreuses raies de NH_2 , le produit de dissociation de l'ammoniac, les raies observées jusqu'à présent appartenaient à celles du principal « isotopologue » ($^{14}\text{NH}_2$). Même si la présence de (très faibles) raies de $^{15}\text{NH}_2$ était certaine, leur identification nécessitait à la fois de nouvelles mesures de laboratoire (pour identifier leur position avec une grande précision) et des observations au sol de grande qualité.

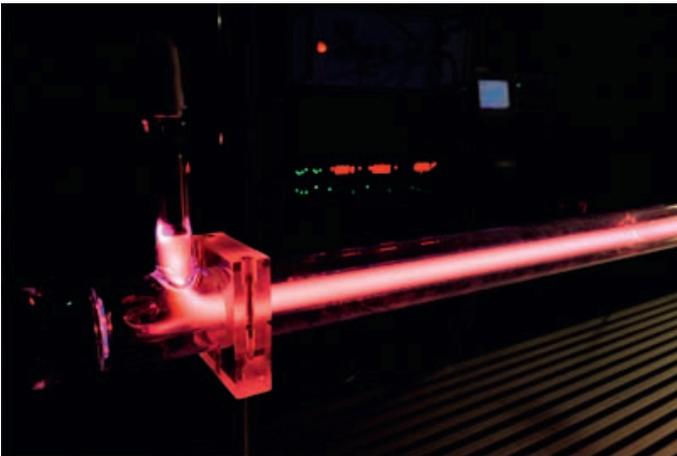
Ce travail a débuté par une mesure des positions des raies du spectre de $^{15}\text{NH}_2$ en laboratoire, sur le synchrotron SOLEIL. Une fois la longueur d'onde des raies connue avec précision, il a été possible de les identifier à partir d'une collection unique de spectres à haute résolution obtenus avec le spectromètre UVES du Very Large Telescope (VLT) de l'ESO dans un total de 12 comètes de différents types, observées durant les années 2000. Pour obtenir un rapport signal / bruit suffisant il a été nécessaire d'ajouter 39 spectres

au total. Toutes ces analyses ont permis pour la première fois d'identifier sans ambiguïté plusieurs raies d'émission dues au $^{15}\text{NH}_2$ et d'en déduire une première mesure du rapport $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ dans l'ammoniac des comètes.

Le résultat de ce travail a mené à la détection de 7 raies différentes de $^{15}\text{NH}_2$ et permis pour la première fois d'estimer la valeur du rapport $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ dans l'ammoniac cométaire. Cette valeur, malgré l'incertitude de la mesure, est clairement incompatible avec celle mesurée dans l'atmosphère terrestre ainsi que la valeur protosolaire. Elle apparaît semblable à celle mesurée dans le HCN et le CN et, surtout, avec le rapport déterminé dans le diazote de l'atmosphère de Titan, le principal satellite de Saturne.

L'interprétation précise de ce résultat dans le cadre de l'origine des comètes nécessitera d'autres travaux mais deux points intéressants semblent se dégager. D'une part il pourrait être un argument en faveur d'une origine commune de l'ammoniac des comètes et de celui qui aurait, vraisemblablement, été à l'origine du diazote contenu aujourd'hui dans l'atmosphère de Titan. Autrement dit les éléments constitutifs des comètes et de Titan pourraient avoir une origine commune. D'autre part, il confirmerait que l'azote primitif dans le Système solaire aurait été contenu dans deux réservoirs distincts ayant deux rapports $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ différents : un d'ammoniac (comètes, Titan, etc.) et un autre de N_2 (qui aurait été transformé en ammoniac dans l'atmosphère de Jupiter).

Le plasma produit par une décharge électrique a permis de mesurer en laboratoire les raies de la molécule $^{15}\text{NH}_2$ (Synchrotron SOLEIL)



Fomalhaut

Basé sur un communiqué CNRS

Fomalhaut (α Piscis Austrini) est l'une des plus brillantes étoiles du ciel. Elle se trouve à 25 années-lumière dans la constellation du Poisson austral, elle brille d'une couleur bleutée de façon saisissante dans l'hémisphère sud et apparaît bas sur l'horizon les soirs d'automne dans l'hémisphère nord.

Fomalhaut fait partie d'un système de trois étoiles et, si l'on veut être précis, doit donc être désignée comme Fomalhaut A. Le premier compagnon à avoir été reconnu est TW Piscis Austrini (Fomalhaut B), une petite variable de type BY Draconis.

Fomalhaut C, aussi appelée LP 876-10, est une naine rouge à la faible lueur rougeâtre invisible sans un bon télescope, et ne fut trouvée comme faisant partie du système Fomalhaut que très récemment, en octobre 2013.

L'étoile brillante Fomalhaut A a été une cible de choix pour le Hubble Space Telescope et les astronomes furent comblés en découvrant qu'elle était entourée d'un magnifique anneau de lumière diffusée par les poussières produites par les comètes le constituant. En 2008, ils purent identifier une exoplanète située près du bord intérieur de l'anneau dans l'image astronomique. Si un millier d'exoplanètes ont déjà été découvertes par des méthodes indirectes, les exoplanètes n'ont été directement détectées à l'aide d'images astronomiques qu'autour de seulement trois étoiles à ce jour.

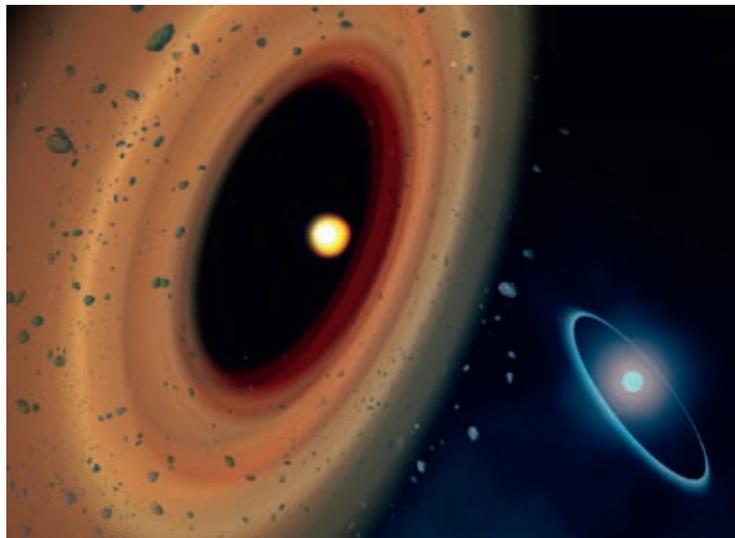
Les astronomes ont récemment mis en évidence un second anneau de comètes dans le système planétaire Fomalhaut. Fomalhaut C, la moins massive des étoiles du système, s'avère

en effet entourée elle aussi d'un anneau de comètes.

La nouvelle découverte faite avec Herschel d'un second anneau de comètes dans ce système stellaire triple, pourrait permettre de mieux comprendre l'architecture des systèmes exoplanétaires. Selon la théorie, il devrait inclure à la fois un cortège de planètes et des restes de leur formation dans la périphérie du système, comme la ceinture de Kuiper pour le Système solaire. Évidemment, cette théorie a été construite essentiellement pour comprendre la formation de notre système planétaire et les astronomes cherchent maintenant à montrer qu'elle pourrait être universelle. Or, on découvre beaucoup d'exo-Jupiters autour d'étoiles sans anneau de comètes et, inversement, les étoiles avec anneaux n'ont souvent pas d'exo-

Vue d'artiste du système Fomalhaut.

Le nouvel anneau de comètes autour de Fomalhaut C est montré à gauche. L'autre anneau autour de Fomalhaut A est montré au loin à droite. L'anneau autour de Fomalhaut A est décentré, c'est la signature que les orbites dans l'anneau sont elliptiques. Selon le scénario des astronomes, la cause pourrait être l'interaction gravitationnelle avec Fomalhaut C. (© Amanda Smith)



Jupiter. On a aussi mis en évidence que la plupart des exoplanètes suivent des orbites excentriques, c'est-à-dire moins circulaires que celles de la plupart des planètes du Système solaire.

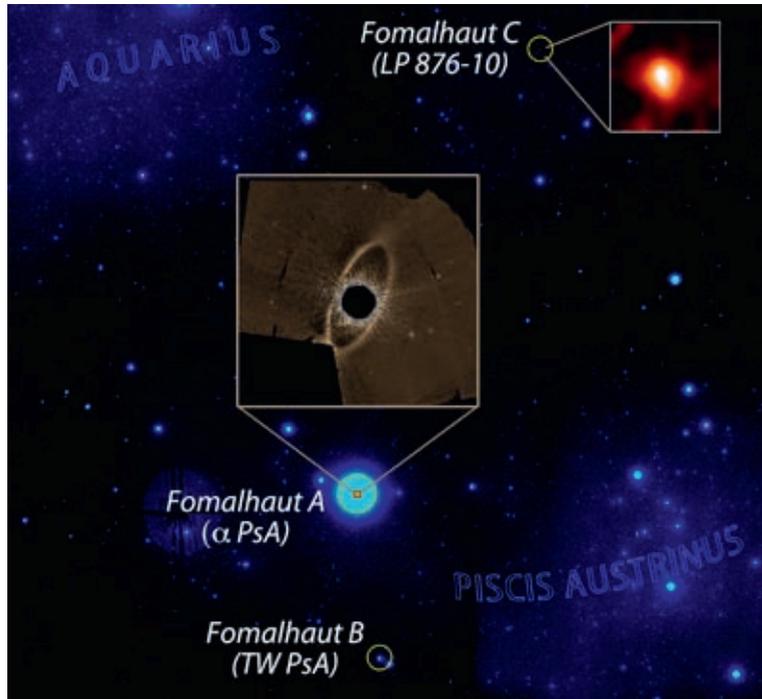
La découverte de l'anneau autour de Fomalhaut C pourrait aider à dissiper ce mystère. Il se trouve que les orbites des comètes et de l'exoplanète autour de Fomalhaut A sont relativement excentriques. Or, ce type d'orbite peut facilement être engendré par des rencontres proches entre étoiles dans un système stellaire triple. Le ballet entre trois étoiles soumises à la force gravitationnelle passe par des figures obligées ; se rapprocher, puis s'éloigner à grande distance, avant de se frôler à nouveau. Dans ce ballet, les rencontres proches sont propices, toujours à cause des forces gravitationnelles, à amorcer des collisions entre comètes qui produisent quantité de poussières rendant l'anneau observable.

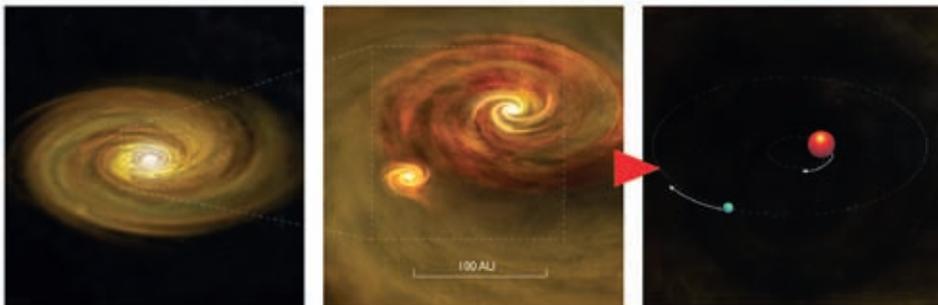
Ce scénario conduit à l'idée qu'un anneau de comètes deviendrait observable seulement après avoir été frôlé par une autre étoile. Ce scénario pourra être testé dans les années à venir en mesurant précisément l'orbite de Fomalhaut C pour déduire son mouvement relativement à Fomalhaut A à l'aide de simulations numériques sur une échelle de temps de l'ordre du million d'années correspondant au mouvement périodique dans le système. Pourquoi aucun anneau de comètes n'a été trouvé autour de Fomalhaut B reste une question qui sera aussi étudiée en établissant son mouvement par rapport aux deux autres étoiles pour montrer peut-être, comme le laisse penser le

scénario, qu'aucune rencontre stellaire proche n'a eu lieu.

Cette découverte pourrait être le point de départ d'une nouvelle recherche sur le système de Fomalhaut. Elle aura probablement une portée plus générale pour notre compréhension de l'architecture des systèmes exoplanétaires.

Vue du système stellaire triple Fomalhaut depuis la Terre. Le petit encadré montre un zoom du nouvel anneau autour de Fomalhaut C tel qu'il vient d'être découvert par Herschel aux longueurs d'onde infrarouge. Le grand encadré est l'anneau bien plus grand connu autour de Fomalhaut A grâce à des images aux longueurs d'onde optique du Hubble Space Telescope. Le pouvoir séparateur dans l'infrarouge étant moins fin que dans l'optique, la taille de l'anneau autour de Fomalhaut C n'est pas bien connue encore. (Grant Kennedy, Cambridge & Paul Kalas, UC Berkeley)





Étoiles multiples

La moitié des étoiles de type solaire font partie de systèmes multiples mais on ne sait pas avec certitude comment elles se forment. Pour élucider le mystère, rien ne vaut l'observation d'étoiles en formation.

En 2006 le « Karl G. Jansky Very Large array » (VLA) avait montré un couple d'étoiles, chacune encore entourée de son disque de gaz et de poussières. Les deux disques sont dans un même plan, ce qui suggère qu'ils résultent de la fragmentation d'un disque primordial plus étendu, englobant les deux protoétoiles.

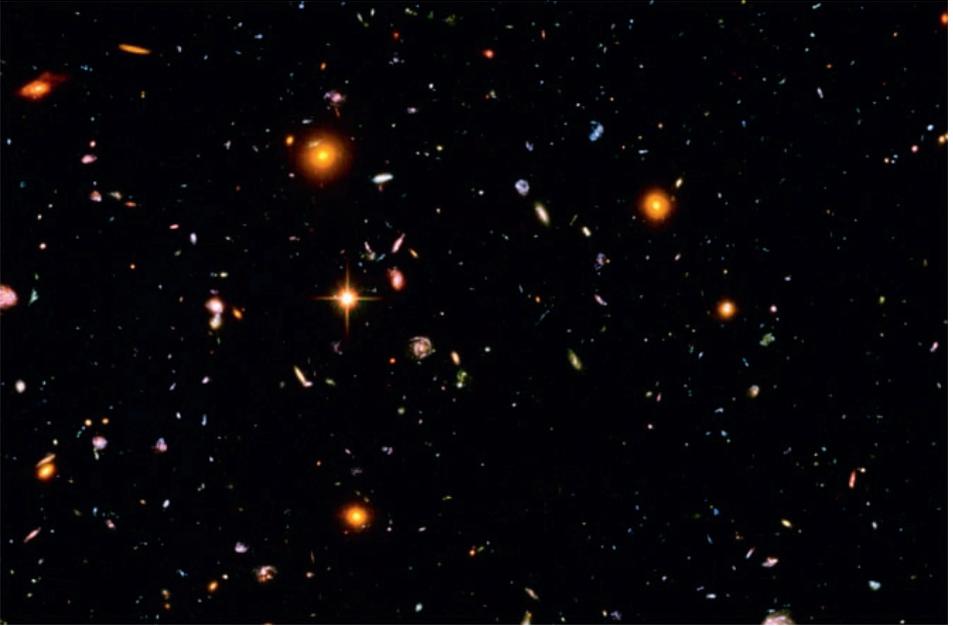
Le disque entourant une étoile jeune (à gauche) se fragmente sous l'effet de la gravitation. Une seconde étoile se forme alors (centre). Avec le temps, les nuages se dissipent et il reste un couple stellaire. (Bill Saxton, NRAO/AUI/NSF)

Des améliorations techniques et l'augmentation de la sensibilité du VLA ont maintenant permis la découverte de compagnons de deux protoétoiles dans un nuage situé à un millier d'années-lumière. Le réseau CARMA (Combined Array for Research in Millimeter-wave Astronomy) a contribué aux observations. Les compagnons stellaires se trouvent dans le plan perpendiculaire aux jets émanant des systèmes, c'est-à-dire dans le plan que doit occuper le disque circumstellaire. L'un de ces disques a d'ailleurs été mis en évidence.

Cette découverte supporte à nouveau l'hypothèse de la formation des étoiles multiples par fragmentation du disque protostellaire.

Quelques antennes du VLA (NRAO/VLA)

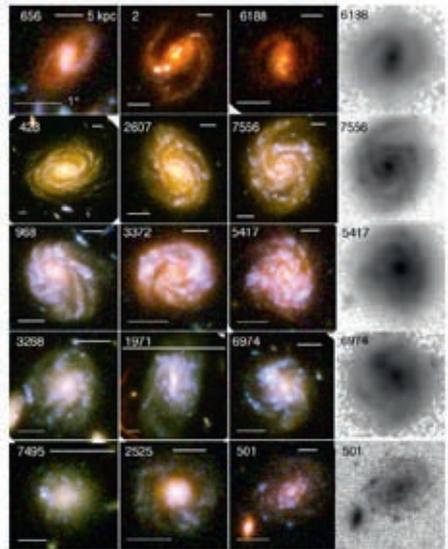




Le champ ultra-profond « Hubble Ultra Deep Field » est une petite zone de la constellation Fornax qui a été photographiée intensivement par le télescope spatial Hubble en 2003 et 2004. Le choix de la région a été guidé par la faible densité en étoiles brillantes (NASA/ESA/Hubble Heritage Team)

Spirales

La minuscule région « vide » couverte par le Hubble Ultra Deep Field (UDF) montre environ 10 000 galaxies. Après un examen attentif, les astronomes y ont recensé 269 galaxies spirales très lointaines – et donc très jeunes. Ils ont réduit leur sélection aux 41 dont le redshift était connu et dont la structure spirale était la plus claire. Ils les ont classées en cinq catégories morphologiques, depuis les galaxies montrant deux bras symétriques, assez flous et irréguliers, jusqu'à celles, plus « mûres » ayant plusieurs bras et ressemblant aux galaxies actuelles comme la nôtre. Cette classification permet de se faire une idée de l'évolution des galaxies spirales dans l'Univers jeune.



Exemples des cinq groupes morphologiques de galaxies. (Elmegreen & Elmegreen)

Les données de l'UDF montrent que la structure spirale des galaxies a commencé à se manifester entre les redshifts 1,4 et 1,8 avec les galaxies de la première catégorie. Les spirales normales ne sont vraiment apparues qu'après le redshift 0,6, soit huit milliards d'années après le Big Bang. Ces résultats sont en accord avec une série de travaux théoriques récents.

La transition entre les spirales grossières et celles mieux définies se fait progressivement lorsque la vitesse d'accrétion et la dispersion des vitesses du gaz diminuent. La population des étoiles vieilles et rapides gonfle et se met à dominer la masse du disque.

Pourquoi y a-t-il des étoiles massives ?

Basé sur un communiqué NRAO

Les observations de nuages interstellaires obscurs avec ALMA montrent pourquoi certains d'entre eux peuvent former des étoiles massives en se contractant.

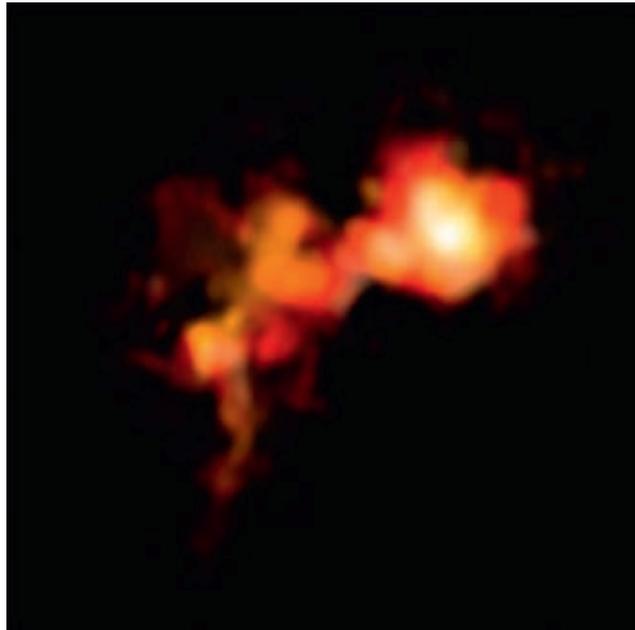
Les étoiles massives – c'est-à-dire de masse supérieure à huit fois celle du Soleil – ont toujours intrigué les astronomes : pourquoi ont-elles pu devenir si grosses, alors que la grande majorité des étoiles de la Voie lactée sont beaucoup plus petites.

Pour résoudre ce mystère les astronomes ont utilisé ALMA

Image prise avec ALMA dans la lumière de N₂D⁺ d'un nuage moléculaire montrant deux noyaux denses. Le noyau de droite est particulièrement brillant et symétrique, ce qui suggère qu'il est principalement soumis à sa propre gravité et qu'il est en train de former une étoile massive unique – un événement très rare. L'autre noyau est plus irrégulier et fragmenté, ce qui pourrait conduire à la formation de plusieurs étoiles de moindre masse. (Bill Saxton, NRAO/AUI/NSF; ALMA, ESO/NAOJ/NRAO)

(Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) pour observer le cœur de quelques-uns des nuages moléculaires les plus denses et les plus froids de la Galaxie, à une dizaine de milliers d'années-lumière dans l'Aigle et l'Écu, et y chercher les indices de la naissance d'étoiles. Les noyaux de ces nuages sont si massifs et si denses que la gravité a dû avoir raison de la pression, et qu'ils doivent être en train de s'effondrer pour former de nouvelles étoiles de masse comparable au Soleil. Si l'on n'y trouve pas encore d'étoiles, c'est que quelque-chose d'anormal se passe, entravant la contraction des nuages.

Les étoiles comme la nôtre commencent leur vie comme des concentrations denses, mais relativement peu massives, d'hydrogène, d'hélium et de traces d'autres éléments, au sein de grands nuages moléculaires. Lorsqu'un noyau initial se forme, la matière s'y précipite sous l'action de la gravité de façon relativement ordonnée, en formant un disque d'accrétion où peuvent éventuellement naître des planètes. Dès qu'une masse critique est atteint-



te, les réactions de fusion nucléaires démarrent et une étoile est née.

Ce scénario explique très bien la majorité des étoiles, mais pas les étoiles massives. S'il était universel, la population stellaire de la Galaxie serait moins variée.

Pour trouver le mécanisme permettant la formation d'étoiles massives, les astronomes ont recherché dans les zones denses de nuages moléculaires la signature d'une molécule contenant du deutérium (N_2D^+) et qui permet de mesurer la température locale. Le deutérium (hydrogène lourd, contenant un neutron) tend en effet à former certaines combinaisons à basse température, alors qu'il est rapidement remplacé par l'hydrogène normal lorsque la température s'élève – par exemple, lorsqu'une étoile se forme et chauffe son environnement.

Les observations d'ALMA ont mis en évidence d'importantes quantités de deutérium, ce qui suggère que les nuages sont froids et ne contiennent pas encore d'étoiles. Les astronomes pensent que ce sont peut-être des champs magnétiques puissants qui empêchent les nuages de se contracter plus vite. Les objets observés ressemblent très fort aux pouponnières stellaires habituelles, mais en dix ou cent fois plus grand, une caractéristique qui suffirait à expliquer la masse des étoiles qui y apparaîtront.

Nébuleuse du Crabe

Basé sur des communiqués ESA

Dans l'Univers, chaque fin est un nouveau commencement. Quand une étoile massive meurt et explose en supernova, d'énormes quantités de matière et d'énergie sont expulsées et les restes de l'explosion elle-même demeurent une intense zone d'activité pour des milliers d'années.

L'un des restes, ou « rémanents » de supernova les plus connus est la nébuleuse du Crabe, issue d'une explosion de supernova observée par des astronomes chinois en 1054. Il subsiste en son centre une étoile à neutrons qui tourne rapidement sur elle-même – un pulsar – et qui libère des flux de particules très énergétiques dans la nébuleuse.

Les astronomes qui étudient la nébuleuse avec Herschel ont révélé que ce rémanent de supernova contient bien plus de poussières qu'ils ne le pensaient – à peu près un quart de la masse du Soleil.

Les nouvelles observations ont également révélé la présence de molécules contenant de l'argon, et c'est d'ailleurs la première fois qu'une molécule basée sur un gaz noble est trouvée dans l'espace.

Les atomes de gaz nobles (hélium, néon, argon, krypton, xénon, et radon) se caractérisent par leur faible tendance à prendre part à des réactions chimiques et à former des molécules. Le nom d'argon provient d'ailleurs du grec signifiant « inerte ». Cette inertie n'est pourtant pas absolue et l'on a maintenant pu étudier en laboratoire des composés comprenant des atomes nobles. Les gaz nobles ont été détectés dans l'espace depuis des décennies, dans le Soleil (l'hélium, au nom révélateur, y a d'ailleurs été découvert au 19^e siècle par Janssen et Lockyer, bien avant d'être vu sur Terre), les planètes, les comètes, les étoiles, les nuages interstellaires, etc. Jusqu'à présent on n'avait cependant pas encore observé de molécules contenant des atomes nobles.

L'argon est produit lors des réactions nucléaires qui ont lieu pendant une explosion de supernova, et les astronomes avaient déjà détecté cet élément dans la Nébuleuse du Crabe. C'est néanmoins surprenant que l'argon se soit lié à d'autres éléments et ait formé des molécules qui ont survécu dans l'environnement hostile qu'est un rémanent de supernova, où des gaz chauds sont toujours en expansion à grande vitesse après l'explosion.

La molécule trouvée dans l'espace est un ion d'hydrure d'argon (ArH^+). Elle est produite lorsque des ions d'argon (Ar^+) réagissent avec les molécules d'hydrogène (H_2). Ces deux gaz sont généralement situés dans des régions différentes des nébuleuses. Les ions sont produits dans les zones soumises aux rayonnements les plus énergétiques alors que la molécule d'hydrogène survit dans les poches de gaz denses et froides, là où les rayonnements peinent à se frayer un chemin.



La nébuleuse du Crabe. Image composite combinant une vue infrarouge obtenue par l'observatoire spatial Herschel (en rouge) avec une image optique extraite des archives du télescope spatial Hubble (bleu). Le rouge trace les poussières, tandis que le bleu souligne l'émission des atomes de soufre et d'oxygène présents dans le gaz. (ESA/Herschel/PACS/MESS Key Programme Supernova Remnant Team ; NASA, ESA et Allison Loll/Jeff Hester, Arizona State University)

Cependant, à la frontière entre ces régions, il y a une zone de transition où les deux gaz coexistent et où les réactions peuvent se produire.

Les raies d'émission de la molécule contenant de l'argon ont permis de déterminer qu'il s'agissait de l'isotope 36 de l'argon, ce qui n'est pas très surprenant puisque c'est l'isotope le plus abondant de l'argon dans l'Univers – mais pas dans l'atmosphère de la Terre, où l'on trouve surtout l'argon 40 provenant de la transmutation du potassium 40.

Les astronomes espèrent poursuivre leurs observations, découvrir d'autres raies d'émission et éventuellement d'autres isotopes de l'argon ce qui permettrait, au travers des rapports d'abondances, de mieux caractériser les réactions nucléaires ayant lieu lors de l'explosion des étoiles massives.

Un pulsar et deux naines blanches

Les astronomes ont découvert le premier exemple d'un pulsar milliseconde accompagné de deux naines blanches. Ce système triple permettra de tester la théorie de la relativité.

Les trois objets évoluent dans un espace plus petit que l'orbite terrestre. Le pulsar a été découvert grâce au radiotélescope géant de

Green Bank. Il tourne sur lui-même 366 fois par seconde, ce qui le place dans la catégorie des pulsars milliseconde.

Un système triple aussi compact permet, par les interactions mutuelles, de rechercher des effets très subtils de la gravitation. Ce sera l'occasion de voir comment se comporte la théorie de la relativité générale dans des conditions extrêmes. Jusqu'à présent toutes les observations ont confirmé cette théorie, mais les savants admettent qu'elle n'est pas compatible avec la théorie quantique. Ils s'attendent donc à voir des anomalies lorsque les conditions deviennent très spéciales et qu'une très grande précision des mesures peut être atteinte, ce qui est le cas ici.

Impression d'artiste : le pulsar (à gauche) est accompagné d'une naine blanche très proche et d'une autre, plus froide, plus rouge et plus lointaine (à droite). Le couple serré a une période orbitale de deux jours, tandis que la naine extérieure tourne en un peu moins d'un an autour de lui.

