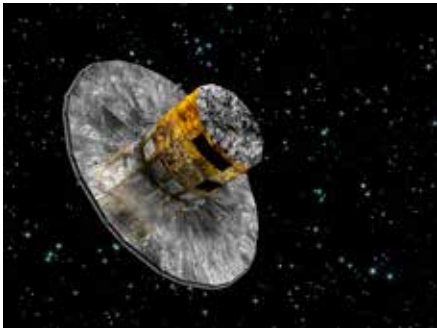




# L'astronomie dans le monde

## *Voie lactée*

La mission Gaia a révélé que notre galaxie porte encore les stigmates d'une quasi-collision qui a bousculé des millions d'étoiles de son disque. Cet événement a dû se produire il y a de 300 à 900 millions d'années. Ce résultat est dû à Gaia qui mesure avec précision la position et le déplacement d'un milliard d'étoiles dans le plan du ciel. Pour quelques millions d'entre elles la vitesse radiale peut être ajoutée ce qui fournit le vecteur vitesse dans les trois dimensions.

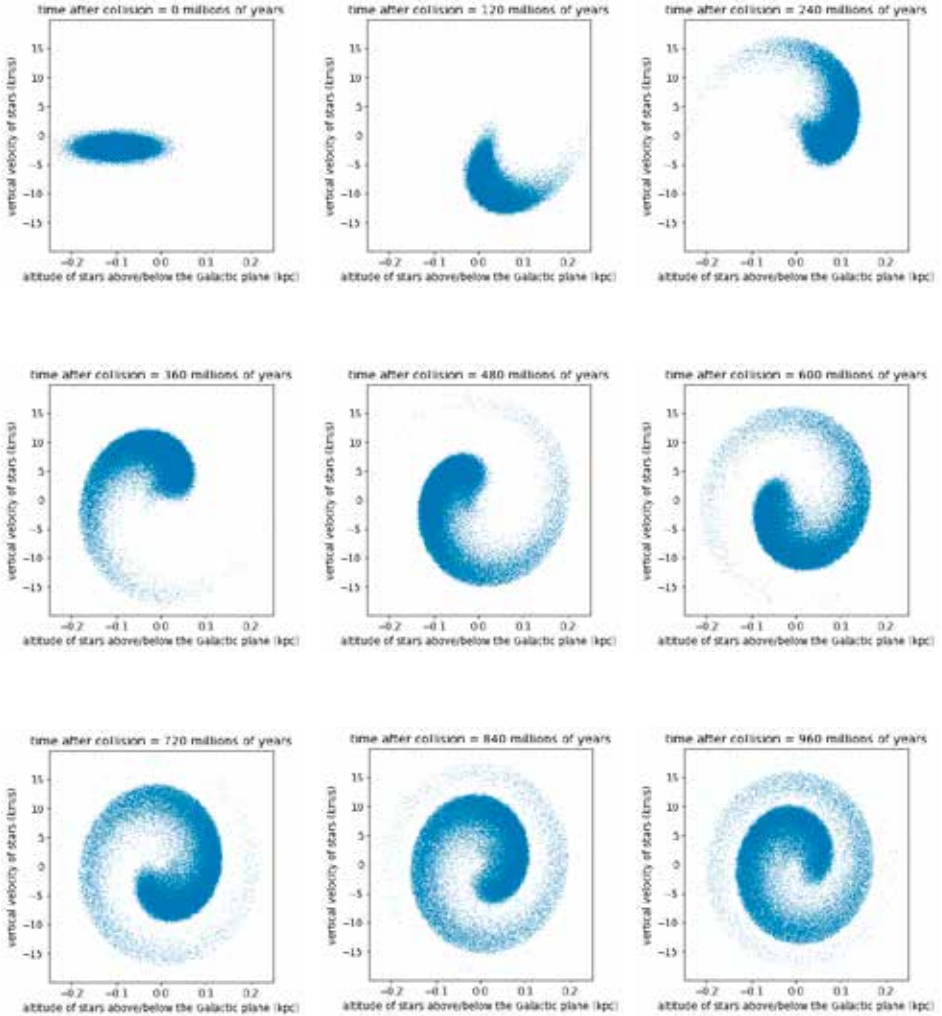


*Impression d'artiste des perturbations subies par les étoiles de la Galaxie après avoir été frôlée par un de ses satellites. (ESA)*

La combinaison des trois dimensions spatiales et des trois vitesses fournit ce que l'on appelle l'espace de phase. On y distingue des particularités intéressantes, entre autres une structure en forme de coquille d'escargot qui apparaît lorsque l'on regarde la hauteur au-dessus du plan galactique en fonction de la vitesse. Cette structure fait penser aux rides à la surface d'une mare touchée par un caillou. Contrairement aux molécules d'eau qui retournent au repos, les étoiles gardent la mémoire de la perturbation et cela se traduit dans leur mouvement, alors que leur distribution redevient pratiquement normale.

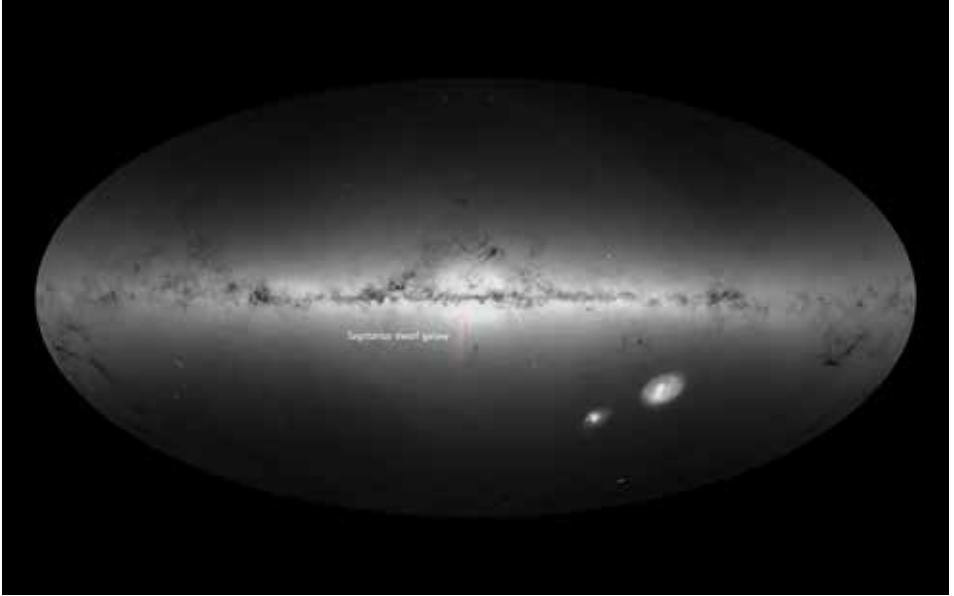
Les simulations numériques montrent que la perturbation subie par la Voie lactée a dû avoir lieu il y a quelques centaines de millions d'années. Notre galaxie absorbe de temps à autre une petite voisine et les étoiles de celle-

*Gaia, impression d'artiste (ESA)*



ci ce mêlent à celles de la nôtre, mais cela ne semble pas être le cas ici. On pense plutôt à un passage rapproché d'une de nos galaxies satellites, la naine du Sagittaire (voir l'image en page 528), qui a frôlé la Voie lactée voici 200 à 1000 millions d'années. Elle est maintenant de retour, en train de se faire proprement cannibaliser.

*Évolution de la structure en coquille d'escargot dans le plan vitesse-altitude durant le premier milliard d'années suivant une perturbation.  
(Antoja et al.)*



*La galaxie naine du Sagittaire, un petit satellite de la Voie lactée, laisse une traînée d'étoiles arrachées par l'attraction de notre galaxie. Dans cette carte Gaia donnant la densité en étoiles, on distingue cette traînée comme une zone allongée pointant vers le bas sous le centre galactique. (ESA/Gaia/DPAC)*

## ***L'Univers en Lyman-alpha***

*Basé sur un communiqué ESO*

L'instrument MUSE du VLT de l'ESO a permis la découverte d'un excès d'émission Lyman-alpha dans une grande partie du Champ Ultra Profond de Hubble (HUDF), ce qui conduit à supposer que la presque totalité du ciel montre le rayonnement Lyman-alpha de l'Univers jeune.

La raie Lyman-alpha observée par MUSE est émise lorsque se produisent des transitions électroniques au sein des atomes d'hydrogène.

Ces transitions s'accompagnent de l'émission de lumière à la longueur d'onde de 122 nanomètres. Cette lumière se trouve totalement absorbée par l'atmosphère de la Terre. Seule l'émission Lyman-alpha « redshiftée » – décalée vers le rouge – en provenance des galaxies extrêmement lointaines arrive à une longueur d'onde suffisante pour traverser l'atmosphère terrestre et être détectée par les télescopes au sol.

Réaliser que le ciel dans son ensemble rayonne à des longueurs d'onde visibles en observant l'émission Lyman-alpha en provenance des lointains nuages d'hydrogène est une réelle surprise.

Les astronomes ont bien tenté d'identifier la raison pour laquelle ces nuages émettent une raie Lyman-alpha, toutefois l'origine précise demeure mystérieuse.

La région HUDF observée par l'équipe se situe dans la constellation du Fourneau. Cette région peu remarquable du ciel fut cartographiée par le télescope spatial Hubble

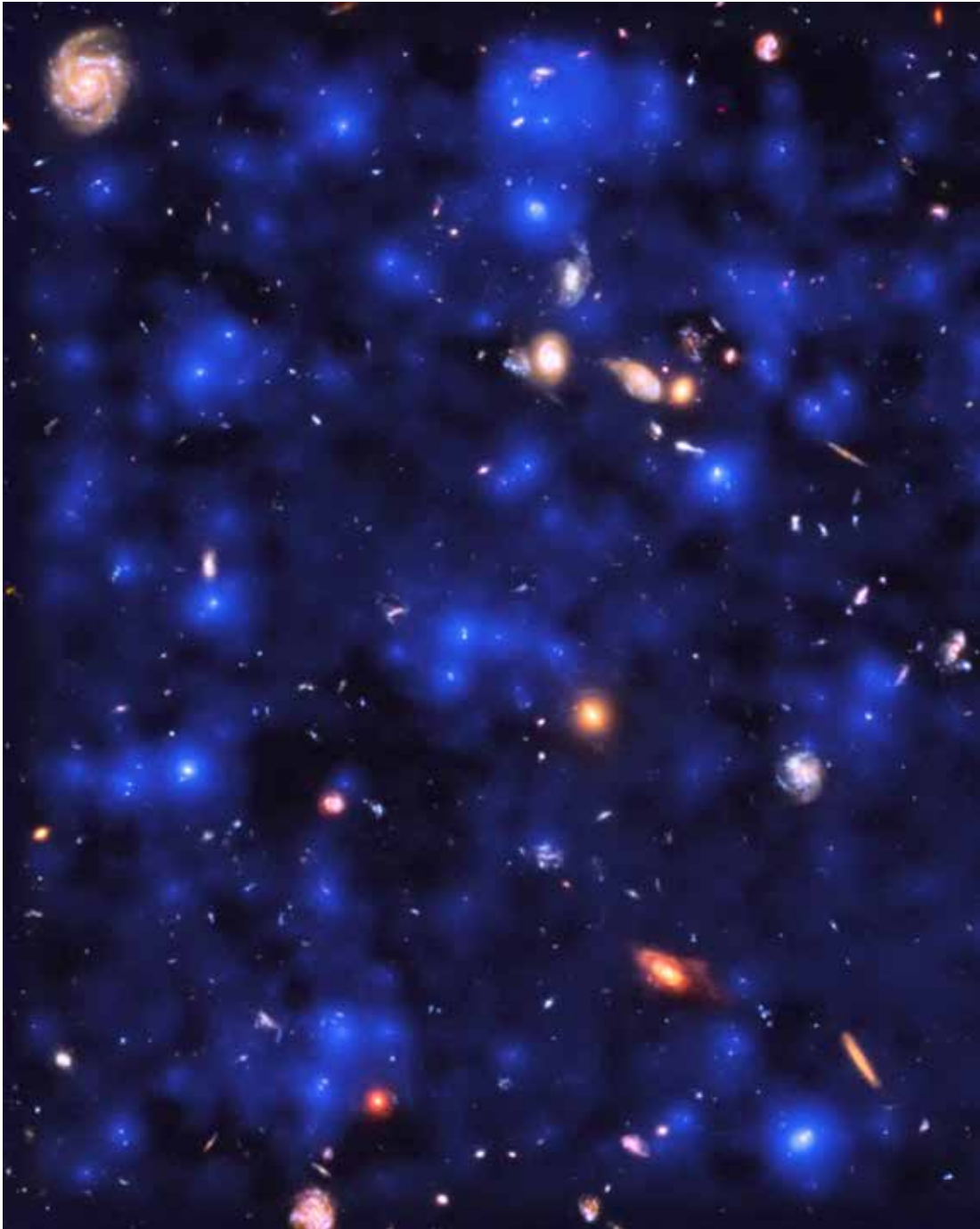
en 2004 : 270 heures d'observation avaient alors permis de la scruter en profondeur.

Les observations HUDF ont révélé l'existence de milliers de galaxies à l'arrière-plan d'une petite zone sombre du ciel, donnant ainsi un aperçu des vastes dimensions de l'Univers. Les performances de MUSE ont récemment permis de sonder cette région encore plus profondément.

MUSE est un spectrographe de champ intégral de dernière génération installé sur la quatrième Unité Téléscopique du VLT à l'observatoire Paranal de l'ESO. MUSE décompose la lumière frappant chaque pixel du détecteur en ses composantes de différentes couleurs. Le fait d'observer l'intégralité du spectre des objets astronomiques nous offre un aperçu des processus astrophysiques se produisant dans l'Univers.

*Image couleur composite de l'environnement étendu ( $2,4 \times 2$  degrés) du champ HUDF réalisée à partir du Digitized Sky Survey 2 (DSS2). Cette région du ciel particulièrement vide a été choisie à dessein pour créer le HUDF sans être gêné par des objets relativement proches. Le champ HUDF lui-même ne fait que 200 secondes d'arc de côté. (ESO/Digitized Sky Survey 2. Davide De Martin)*

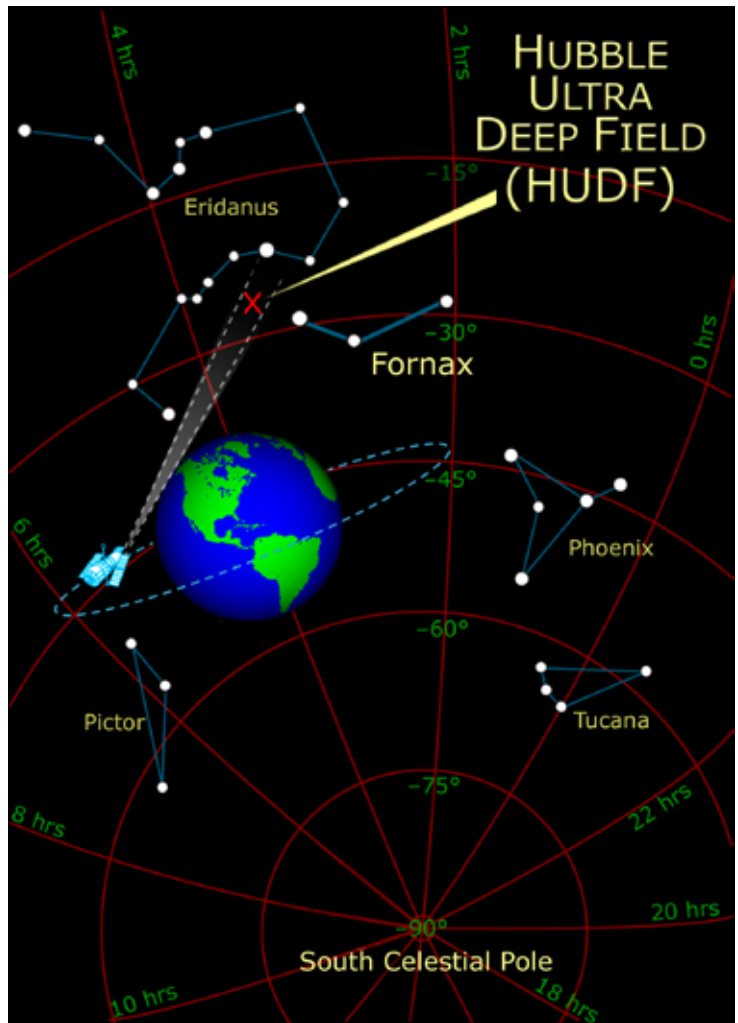






*Le spectrographe MUSE a mis en évidence les nuages émettant la raie Lyman-alpha autour des galaxies lointaines dans cette région du champ HUDF.  
(ESA/Hubble & NASA, ESO/ Lutz Wisotzki et al.)*

*Localisation du Champ Ultra Profond de Hubble dans la constellation australe du Fourneau.  
(NASA)*



## 'Oumuamua

Basé sur des communiqués ESO et ESA

'Oumuamua<sup>1</sup>, le premier visiteur interstellaire connu, a fait l'objet d'une analyse approfondie depuis sa détection en octobre 2017. En combinant les données issues du Very Large Telescope de l'ESO et d'autres observatoires, une équipe internationale d'astronomes a découvert que l'objet se déplaçait plus rapidement que prévu. Cet excès est négligeable et ne fait que retarder le ralentissement d'Oumuamua dû à l'attraction solaire.

L'explication la plus plausible repose sur le dégazage d'Oumuamua – c'est-à-dire la perte de matière en surface sous l'effet du chauffage solaire. Cette matière éjectée exercerait une poussée continue de faible intensité, se traduisant par une vitesse d'échappement vers l'extérieur du Système solaire plus rapide que prévu – le 1<sup>er</sup> juin 2018, il se déplaçait à 114 000 kilomètres par heure.

Ce phénomène de dégazage est typique des comètes. Il met en question la classification initiale d'Oumuamua parmi les astéroïdes interstellaires. Il s'agit plutôt d'une comète

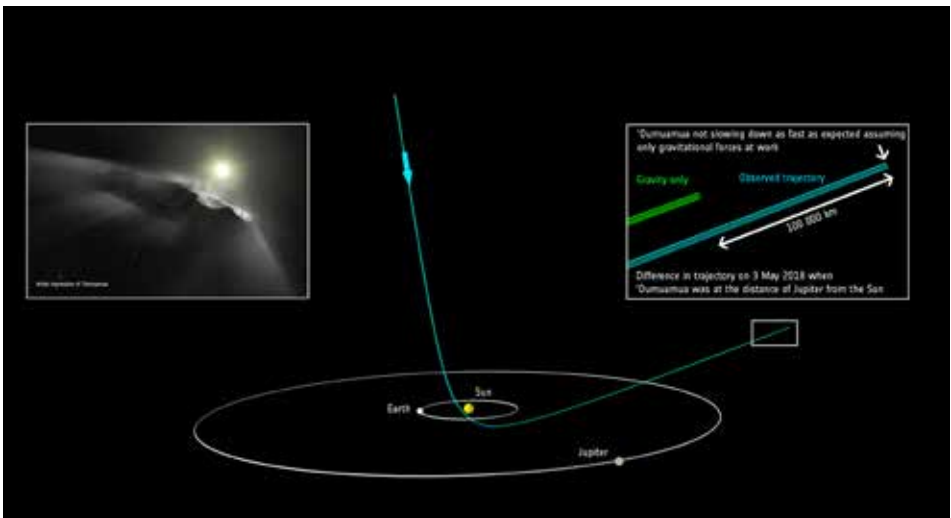
bizarre de petite taille. Les données suggèrent que cette impulsion de dégazage diminue à mesure qu'il s'éloigne du Soleil, ce qui est typique des comètes.

Normalement, les comètes chauffées par le Soleil éjectent du gaz et de la poussière formant une coma (chevelure) et une queue caractéristique. Toutefois 'Oumuamua ne montre aucun indice visible de dégazage. On n'a pu détecter la moindre poussière, coma ou queue, ce qui est totalement inhabituel. Les astronomes pensent que les petits grains de poussière à la surface de la comète ont subi un processus d'érosion durant le voyage inter-

*Sur ce diagramme figure l'orbite de l'objet interstellaire 'Oumuamua dans le Système solaire. Il montre la trajectoire théorique ainsi que le trajet réel d'Oumuamua, en considérant les nouvelles mesures de vitesse effectuées.*

*'Oumuamua se situait à proximité de l'orbite de Jupiter au début de mai 2018. Il croisera celle de Saturne en janvier 2019, celle d'Uranus en août 2020 et celle de Neptune fin juin 2024. Fin 2025, 'Oumuamua atteindra le bord extérieur de la ceinture de Kuiper et en novembre 2038, l'héliopause, soit la frontière du Système solaire. (ESA)*

<sup>1</sup> La rédaction espère qu'une commission de l'UAI supprimera ou remplacera la première « lettre » de ce nom.





tellaire. Seuls les grains les plus gros subsisteraient à l'heure actuelle. La brillance d'un nuage de particules ne suffirait pas à le détecter mais fournirait une explication plausible de la brusque variation de vitesse d'Oumuamua.

Avant de pencher pour l'idée du dégazage, les astronomes ont testé d'autres hypothèses susceptibles de rendre compte de la brusque variation de vitesse, parmi lesquelles figurent : la pression du rayonnement solaire, l'effet Yarkovsky ou de forces de frottement, un événement extérieur – une collision par exemple. Il fut également envisagé qu'Oumuamua consiste en un objet binaire ou un objet magnétisé. L'hypothèse improbable qu'Oumuamua soit un vaisseau spatial interstellaire fut également rejetée : la faible mais constante variation de vitesse ne plaide pas en faveur d'une propulsion artificielle et le fait que l'objet bascule le long de ses trois axes exclut la possibilité qu'il s'agisse d'un objet artificiel mais les aliens sont imprévisibles.

*Vue d'artiste du premier visiteur interstellaire, Oumuamua. Les observations révèlent que cet objet se déplace plus rapidement que prévu vers l'extérieur du Système solaire. La perte de matière en surface sous l'effet du chauffage solaire pourrait expliquer ce comportement. Ce dégazage est représenté sous l'aspect d'un nuage éjecté du côté de l'objet faisant face au Soleil.*

*(ESA/Hubble, NASA, ESO, M. Kornmesser)*

Les comètes sont en quelque sorte des déchets de la formation des systèmes planétaires et il est possible qu'Oumuamua ait été éjecté de son système initial alors que les planètes étaient en train de se former. Pour tenter de déterminer d'où il provient, les astronomes ont dû non seulement calculer sa trajectoire avec précision mais aussi celle de toute une série d'étoiles qui ont pu être au même endroit à un certain moment – en espérant que l'éjection n'ait pas eu lieu trop loin dans le passé.



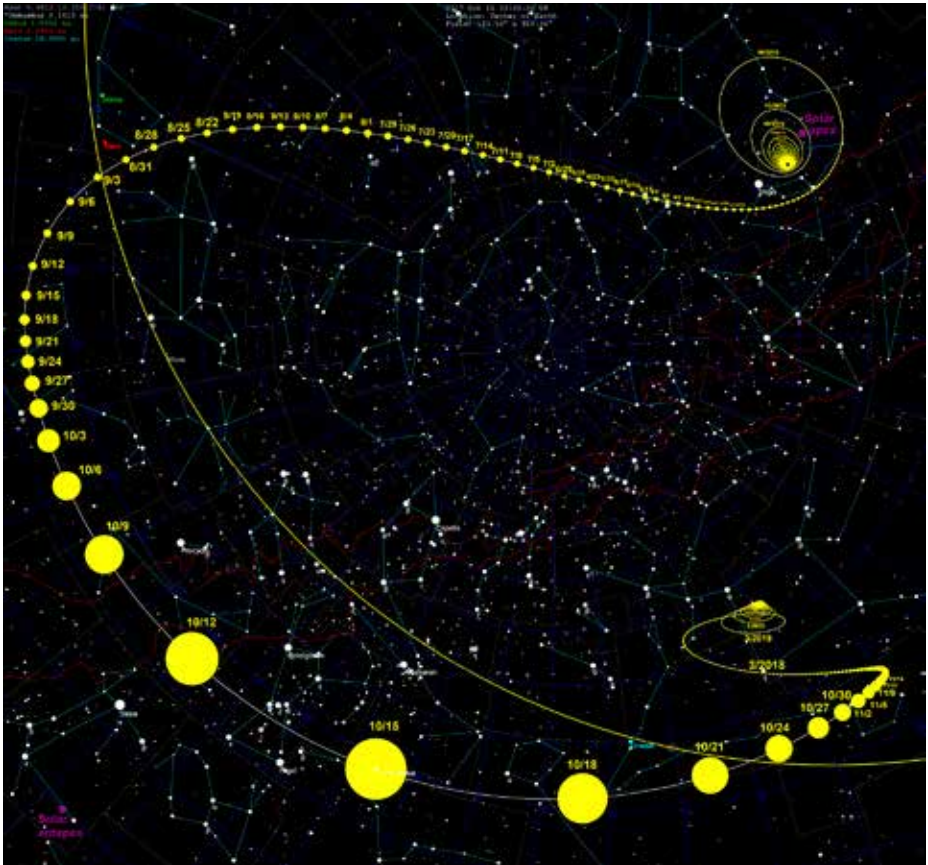
Les données de Gaia viennent à point pour ce genre d'investigation en donnant les positions apparentes et les mouvements propres de plus d'un milliard d'étoiles mais aussi, et surtout, la distance et la vitesse radiale de plusieurs millions d'entre elles. Il faut en effet toutes ces informations pour reconstruire les trajectoires. Munis de cela, les astronomes ont identifié quatre étoiles qui ont approché Oumuamua dans un passé récent – il y a entre un et sept millions d'années – et ce, avec une vitesse relative compatible avec le mécanisme d'éjection.

Les quatre étoiles sont des naines, c'est-à-dire des étoiles de masse comparable ou inférieure à celle du Soleil. On ne leur connaît

pas de compagnes ni de planètes alors que le mécanisme le plus probable pour une éjection est l'interaction avec un astre massif, planète géante ou étoile.

L'étude plus approfondie de ces quatre étoiles pourrait permettre de mieux évaluer la possibilité que l'une d'elle soit l'étoile-mère d'Oumuamua. D'autre part, les prochaines éditions du catalogue de Gaia devraient fournir des données plus précises et plus nombreuses, notamment beaucoup plus de vitesses radiales ce qui permettra de calculer plus de trajectoires d'étoiles.

*Trajectoire d'Oumuamua vue depuis la Terre, venant de la Lyre et allant vers Pégase. (Tom Ruen ; JPL Horizons)*



## Étoiles hypervéloces

On connaissait les étoiles hypervéloces fuyant notre galaxie. Gaia en révèle fonçant vers elle depuis d'autres galaxies.

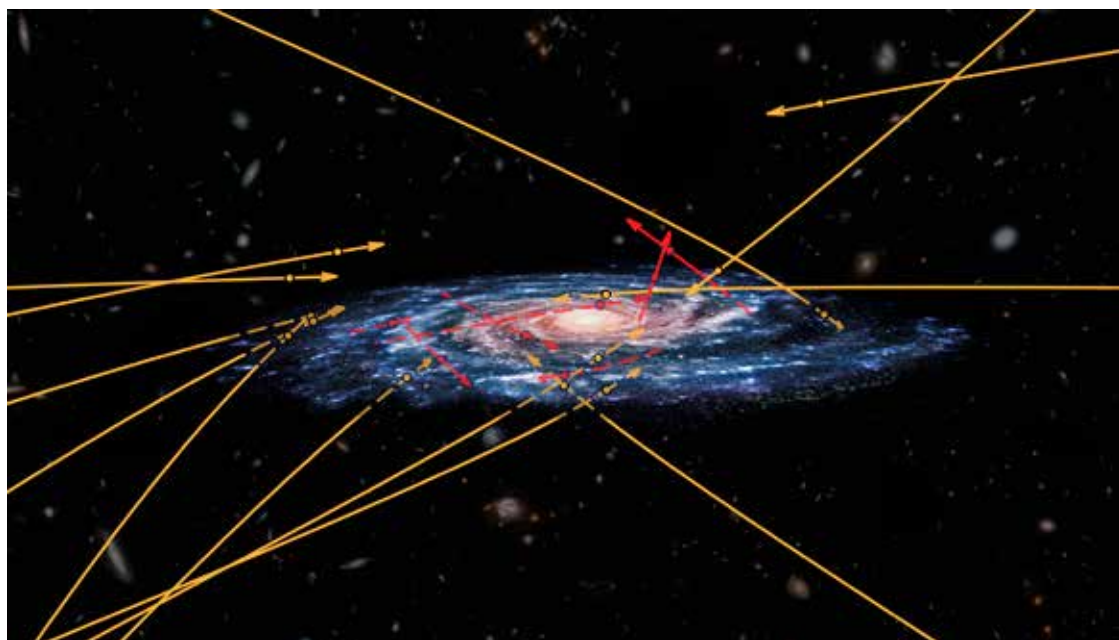
Depuis la publication en avril du formidable catalogue astrométrique d'un milliard d'étoiles les astronomes en explorent toutes les facettes, tentant de découvrir les secrets de notre galaxie. Ceux qui recherchaient les étoiles hypervéloces dans le sous-ensemble des 7 millions d'étoiles dont on connaît la vitesse radiale ont trouvé 20 étoiles suffisamment rapides pour échapper à l'attraction de la Voie lactée. Mais à leur grande surprise la plupart de ces étoiles ne fuient pas la Galaxie mais se dirigent vers elle. Il doit donc s'agir d'astres ayant échappé à une autre galaxie, peut-être le Grand Nuage de Magellan, et traversant la nôtre au hasard de leur course intergalactique. L'interaction d'une binaire avec un trou noir supermassif, ou l'explosion d'une supernova dans un système double, peuvent expliquer ces éjections. Une autre possibilité est qu'il s'agisse d'étoiles du halo de la Voie lactée

ayant subi une interaction avec une galaxie naine satellite.

Des informations sur l'âge et la composition de ces étoiles pourrait résoudre le problème. Les étoiles du halo sont vieilles et pauvres en métaux alors que celles d'autres galaxies devraient en être bien pourvues. Observer un échantillon d'étoiles d'autres galaxies tout près de nous serait une aubaine pour les astronomes, un peu comme les météorites qui mettent à notre portée des matériaux extraterrestres.

Les observations par Gaia et par d'autres télescopes vont continuer. On espère *in fine* connaître les vitesses en trois dimensions de 150 millions d'étoiles et moissonner ainsi des centaines d'étoiles hypervéloces.

*Étoiles hypervéloces s'éloignant de la Galaxie (en rouge) et allant vers elle (en orange). L'image de la Galaxie est un dessin. Le fond est une image Hubble. (Marchetti et al. 2018 ; NASA/ESA/Hubble)*

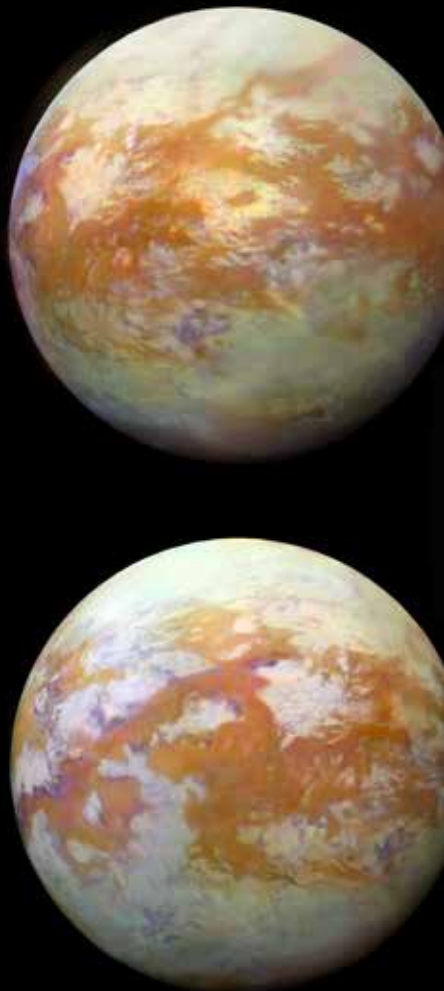


## *Titan*

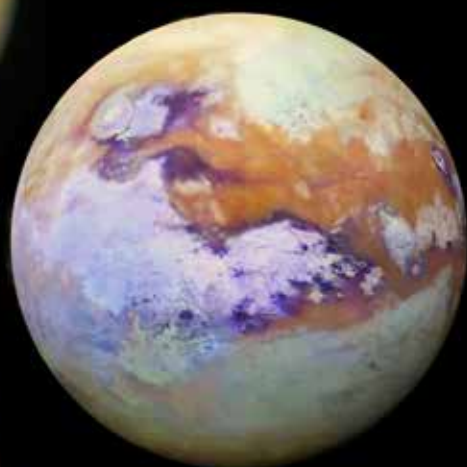
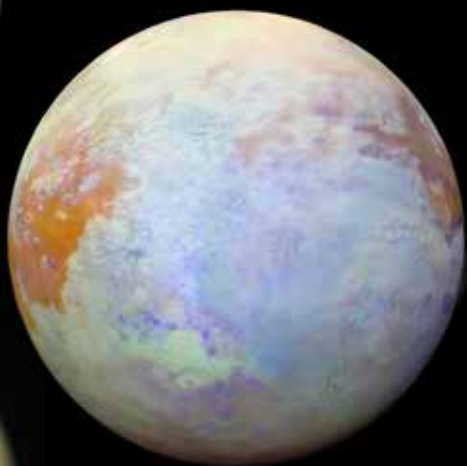
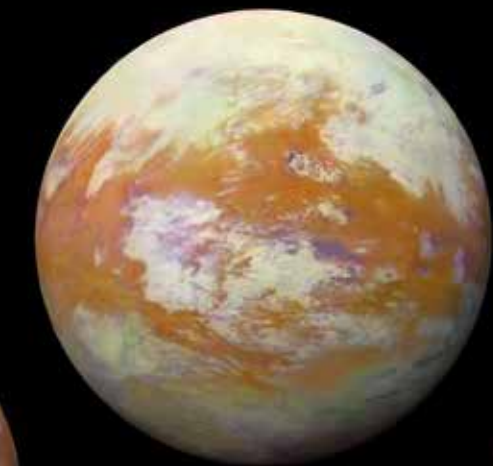
Treize ans d'observation avec l'instrument VIMS (Visual and Infrared Mapping Spectrometer) de Cassini ont permis de créer des vues claires et homogènes de Titan. Les survols avaient eu lieu dans des conditions très variées, de sorte que les observations ont été faites à des distances différentes, sous des angles variés et des éclairages divers. Les mosaïques réalisées jusqu'à présent montraient ainsi de méchants raccords entre les régions.

Des techniques d'assemblage sophistiquées ont permis d'avoir maintenant la meilleure représentation du gros satellite de Saturne tel qu'il apparaîtrait s'il n'était pas entouré de son atmosphère brumeuse. Les images infrarouges obtenues avec VIMS sont peu affectées par la diffusion et l'absorption de l'atmosphère et ont permis de percer celle-ci.

Les reproductions en couleur comportent les trois canaux rouge, vert et bleu correspondant non pas aux intensités elles-mêmes, mais aux rapports d'intensité infrarouge de 1,59/1,27 micron, 2,03/1,27 micron et 1,27/1,08 micron. Cette technique permet de réduire considérablement les raccords et de mettre en évidence des variations subtiles de teinte. Ainsi les champs de dunes équatoriaux apparaissent en marron de façon bien homogène et les régions bleues ou pourpres semblent plus riches en glace d'eau que les autres.



*Titan en infrarouge vu par Cassini. Au centre une image en lumière visible. (NASA/JPL-Caltech/Université de Nantes/University of Arizona)*



## ULX

*Basé sur un communiqué NASA*

Le télescope spatial X Chandra a mis en évidence un anneau de sources X ultra-lumineuses (ULX) dans la galaxie AM 0644-741 distante de 300 millions d'années-lumière, sans doute des binaires contenant un trou noir stellaire ou une étoile à neutrons. Une collision avec une autre galaxie – probablement celle située en bas à gauche – a suscité la formation d'ondes, comme les ronds que fait un caillou jeté dans une mare, et a conduit à créer un anneau dense où les étoiles ont pu se former en abondance. Les plus massives de ces étoiles explosèrent rapidement en supernovæ, créant alors des trous noirs de quelques masses solaires (5 à 20) et, pour les moins massives, des étoiles à neutrons d'une masse de l'ordre de celle du Soleil. Si elles font partie de binaires, ces reliques peuvent siphonner du gaz de leur compagne. Il se forme un disque d'accrétion et la matière surchauffée émet des rayons X.

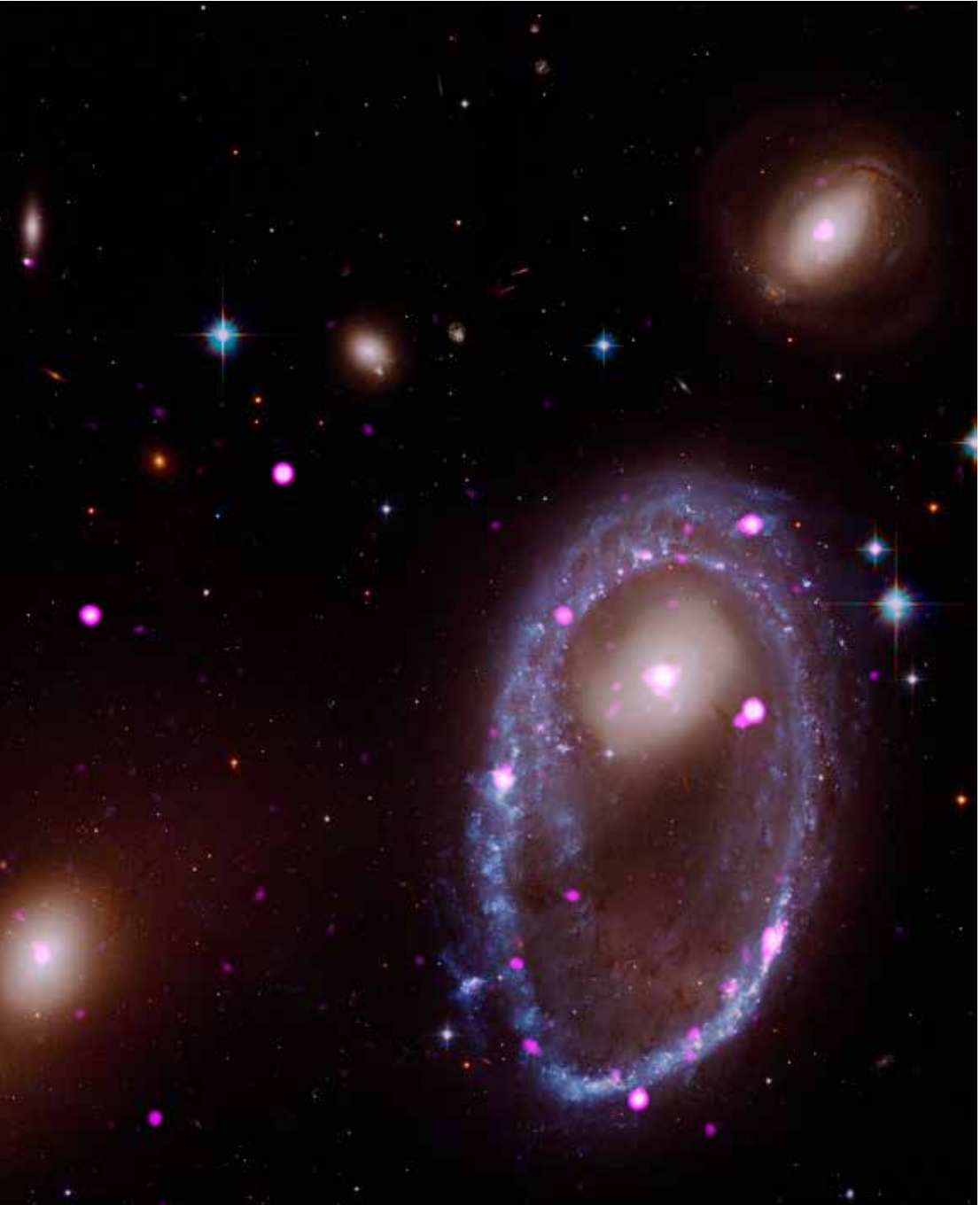
La présence d'un anneau de trous noirs et d'étoiles à neutrons est déjà intrigante mais l'histoire ne s'arrête pas là. Toutes les sources X qu'on y a détectées sont assez brillantes pour être qualifiées d'ultra-lumineuses, des ULX (ultraluminous X-ray sources). Ce type d'objet émet des centaines ou des milliers de fois plus de rayons X que les binaires normales comprenant un trou noir ou une étoile à neutrons. Jusqu'à il y a peu, on pensait qu'il fallait un trou noir de masse stellaire – et parfois de masse intermédiaire – pour expliquer les ULX, mais certaines galaxies comme M51 et M82 montrent des ULX contenant une étoile à neutrons. On ne peut donc rien conclure de ce côté pour AM 0644-741 et la raison de leur surbrillance reste mystérieuse.

Il n'y a pas que l'anneau qui contienne des sources X dans cette image. Une autre source, loin derrière la galaxie, à 9,1 milliards d'années-lumière est un trou noir supermassif qui grossit rapidement. Présent aussi est le trou noir supermassif au centre de la galaxie AM 0644-741 elle-même.

Six autres galaxies à anneau ont été analysées dans cette étude qui a fourni un total de 63 sources dont 50 ULX. Les galaxies à anneau semblent contenir généralement plus d'ULX que les autres. Elles donnent en tout cas aux astronomes un échantillon idéal pour tester les modèles de formation des étoiles doubles et comprendre l'origine de ULX.

*Image composite de la galaxie AM 0644-741. Les données X de Chandra (en violet) ont été combinées aux images du télescope spatial Hubble dans le domaine optique (rouge, vert et bleu).  
(X : NASA/CXC/INAF/A. Wolter et al ;  
Optique : NASA/STScI)*





## ***Jet supraluminique***

En août 2017 les ondes gravitationnelles émises au cours des dernières secondes de la fusion de deux étoiles à neutrons étaient détectées par les interféromètres LIGO et VIRGO. L'événement désigné comme GW170817 était le premier cas d'ondes gravitationnelles accompagnées d'un signal électromagnétique. Les fusions de trous noirs observées auparavant par LIGO n'émettent presque pas de photons – pratiquement toute l'énergie part dans des oscillations de l'espace-temps.

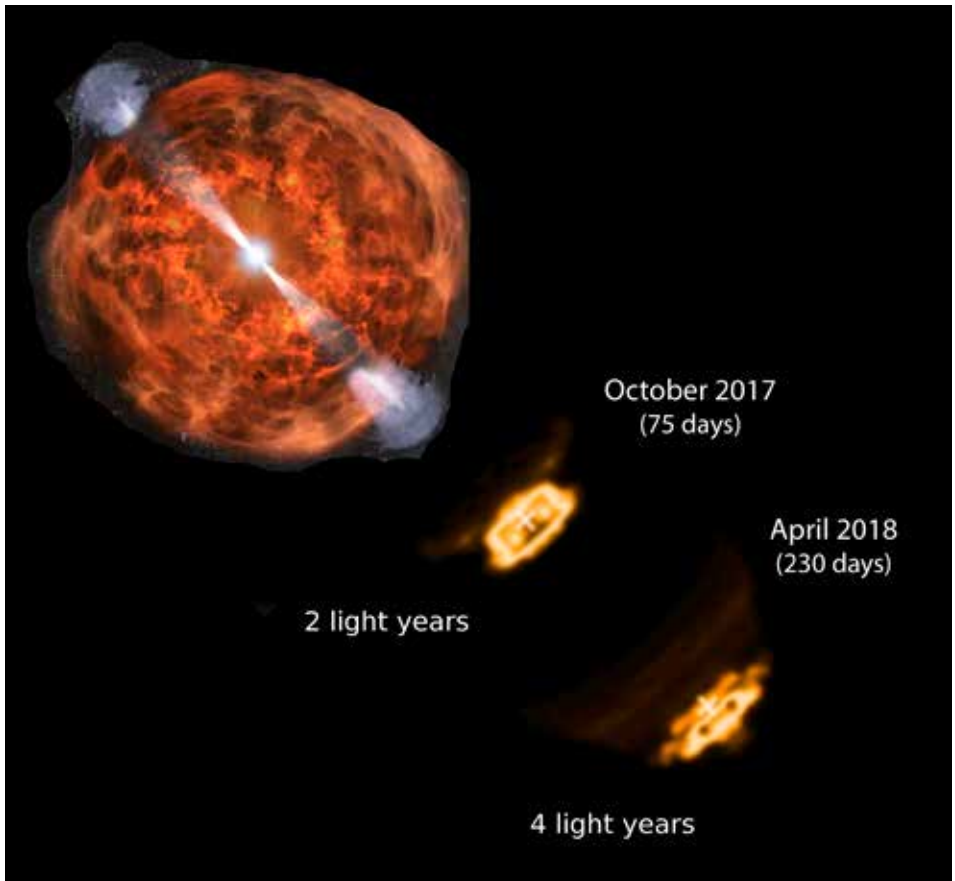
Immédiatement après le signal gravitationnel, un bref sursaut de rayons gamma était observé. Ensuite GW170817 fut progressivement vu dans le domaine optique, de l'infra-

rouge à l'ultraviolet, et finalement en X et en radio.

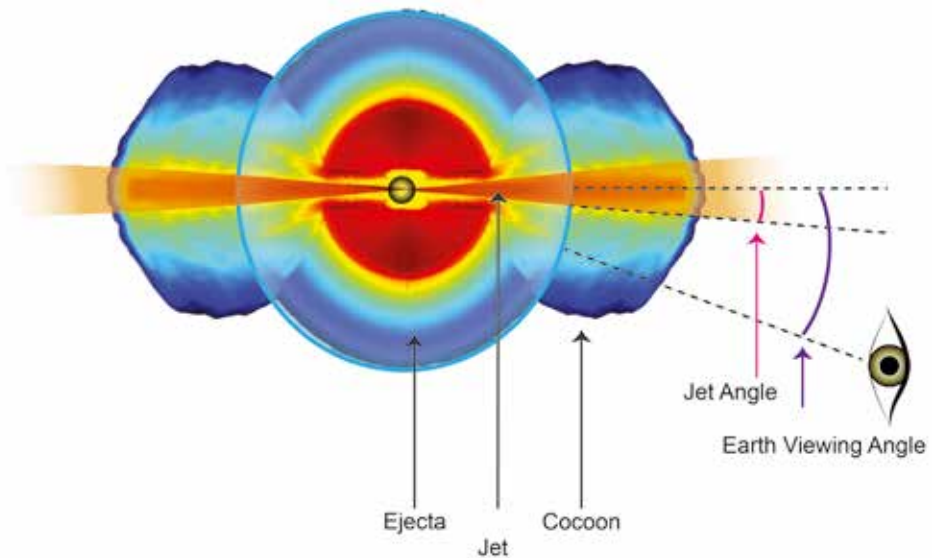
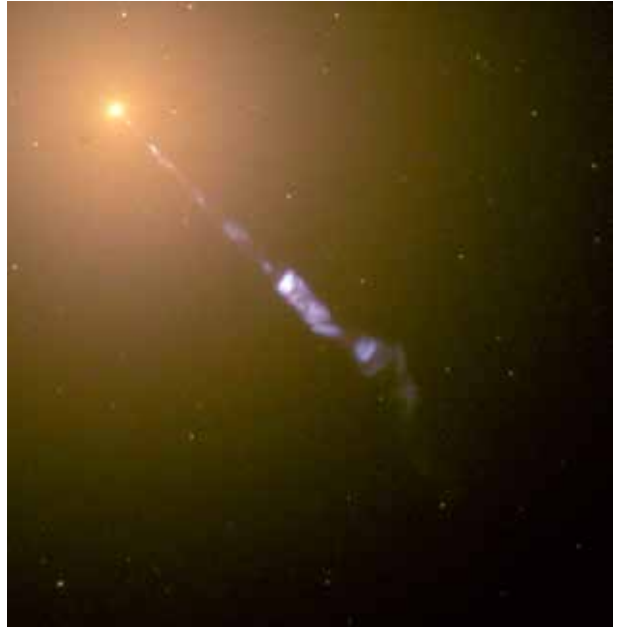
75 jours après la fusion, la présence d'un jet était constatée grâce à des observations faites avec le VLBA (Very Long Baseline Array), le VLA (Karl G. Jansky Very Large Array) et le Robert C. Byrd Green Bank Telescope. Ce jet était réobservé 155 jours plus tard.

Une analyse minutieuse a révélé que ce jet a une vitesse proche de celle de la lumière.

*Vue d'artiste de la fusion de deux étoiles à neutrons créant un trou noir, une enveloppe en expansion et deux jets relativistes.*  
(D. Berry, O. Gottlieb, K. Mooley, G. Hallinan, NRAO/AUI/NSF)

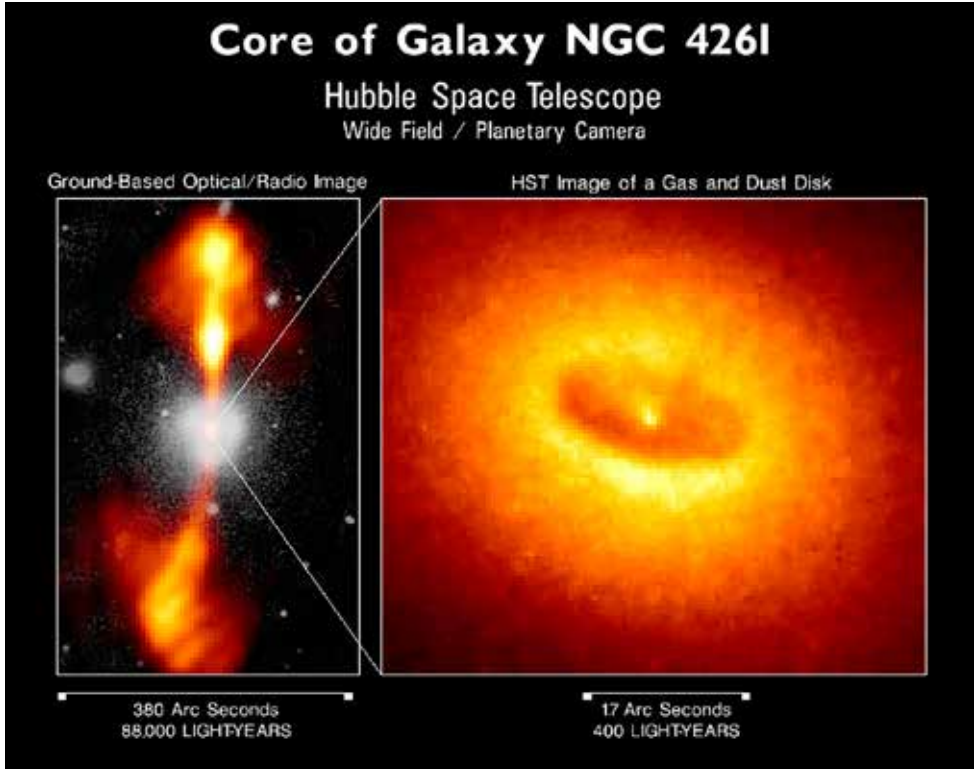


*Le jet supraluminique de M87.  
(NASA, Hubble Heritage Team/STScI/AURA)*



*Schéma de l'environnement du trou noir produit par la fusion des étoiles à neutrons. Le cocon de débris est finalement percé par les deux jets qui s'élancent dans l'espace interstellaire.  
(Sophia Dagnello, NRAO/AUI/NSF)*





Par un effet de perspective la vitesse apparente apparaît supraluminique, quatre fois supérieure à la vitesse de la lumière. Cela a lieu lorsqu'un jet relativiste fait un angle suffisamment petit avec la ligne de visée. Dans le cas présent, le jet est orienté à  $20^\circ$  de la ligne de visée et sa vitesse est estimée à 97% de celle de la lumière. Les vitesses supraluminiques s'observent dans certains quasars (noyaux actifs de galaxies, comme M87 ou NGC4261), ou dans des microquasars (des binaires comprenant un objet compact, comme GRS 1915+10531).

Ce résultat confirme les idées actuelles concernant les sursauts gamma de haute énergie que l'on voit lorsque des jets puissants sont dirigés vers nous.

Le scénario le plus probable est que la fusion a déclenché une explosion cataclysmique qui a projeté une enveloppe de débris. Un

*Jets supraluminiques de la galaxie NGC 4261 (à gauche) s'élançant du disque d'accrétion du trou noir central (à droite).  
(NASA/STScI)*

disque s'est formé autour du trou noir résultant de la fusion des étoiles à neutrons et ce disque, en tournant rapidement, a engendré deux jets opposés dans la direction des pôles. On ne voit les jets que lorsqu'ils ont percé la coque de débris. Ainsi dans les deux premiers mois, l'émission radio était dominée par le cocon entourant le trou noir. Ce n'est qu'après cela que l'émission des jets a pris le dessus.

Il est heureux que l'orientation de ce jet ait permis cette observation, autrement le signal radio aurait été trop faible.

## **Ryugu**

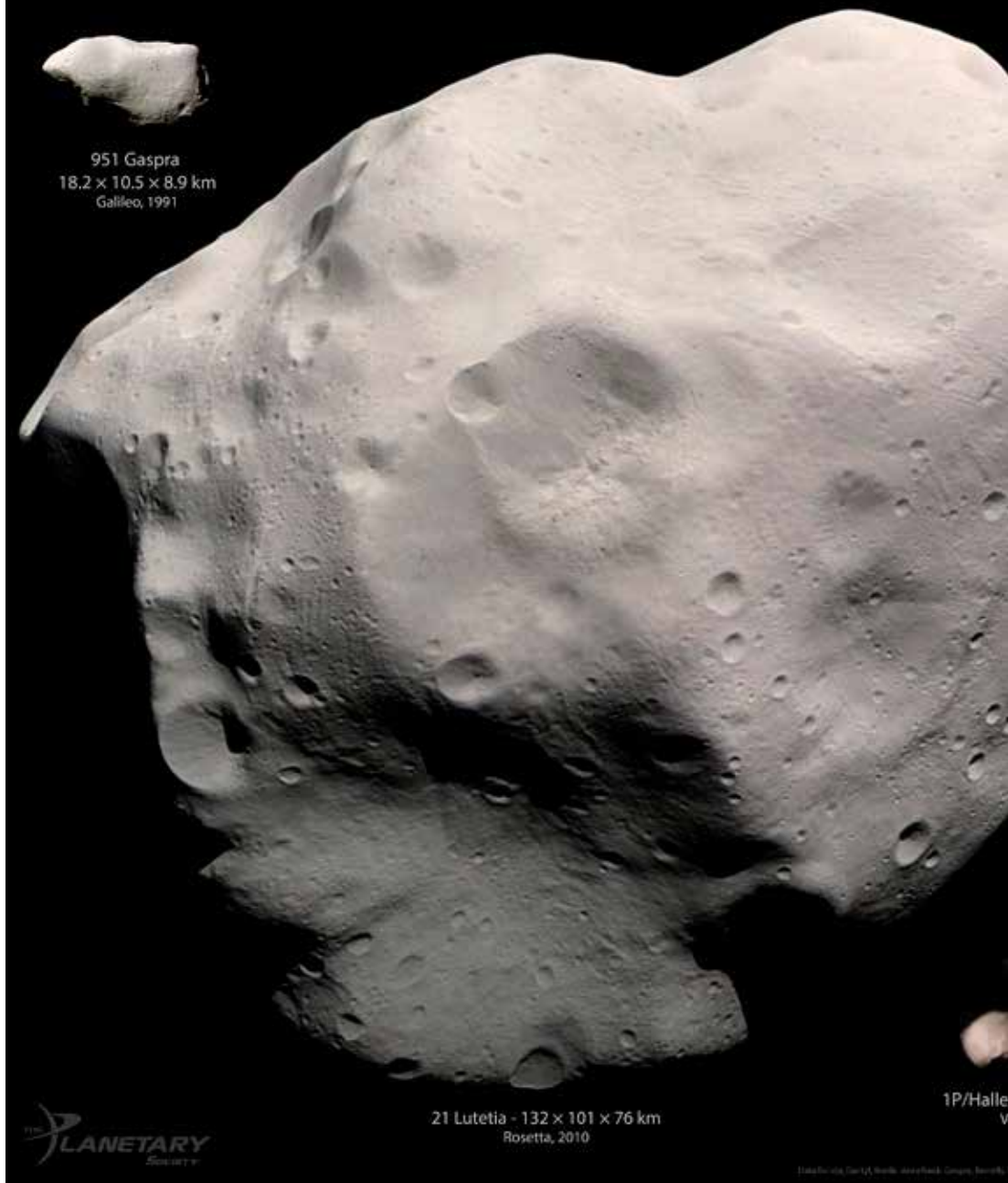
Le 21 septembre, la sonde japonaise Hayabusa2 est descendue à 60 mètres de l'astéroïde 162173 Ryugu et y a déposé deux petits robots de 1,1 kg (Rover-1A et 1B). En jouant sur la faible attraction de l'astéroïde, un mécanisme utilisant des masses en rotation leur fait faire continuellement des petits bonds. Les robots ont immédiatement commencé leur mission. Les premières images étaient floues car prises durant la descente des robots mais elles montraient la surface rocheuse de l'astéroïde et confirmaient le bon fonctionnement des appareils. Quelques jours plus tard, le 3 octobre, Hayabusa2 déposait un plus gros

robot sauteur d'une dizaine de kg (MASCOT) pour une brève mission de 17 heures.

Ryugu, découvert en 1999, mesure un peu moins d'un kilomètre. C'est un NEA (near-Earth asteroid) carboné. Dès son arrivée en juin, Hayabusa2 avait révélé une forme curieuse présentant des angles et des faces un peu à la façon d'un cristal. Après les trois premiers robots, Hayabusa2 devra larguer Rover-2 l'an prochain. Mais ce n'est pas tout.

*L'ombre de la sonde Hayabusa2 se projette sur l'astéroïde Ryugu. On remarquera la « gloire » entourant l'ombre et due à la rétrodiffusion des rayons solaires. (JAXA)*





951 Gaspra  
18,2 × 10,5 × 8,9 km  
Galileo, 1991

21 Lutetia - 132 × 101 × 76 km  
Rosetta, 2010

1P/Halle  
v

Illustration: Carl A. Sauer, NASA/JPL-Caltech, ESA/ESA/ESA

En ce mois d'octobre et en février, la sonde doit s'approcher de quelques mètres de l'astéroïde, y envoyer un projectile et récupérer un échantillon des débris qui auront été expulsés. En avril ou mai il devrait creuser un cratère au

moyen d'un explosif et s'y poser pour récolter de la matière souterraine, non affectée par l'exposition prolongée à l'espace interplanétaire. Ces échantillons devront alors être retournés sur Terre en 2020.





## ***Mars en tempête***

Le rover Opportunity était toujours muet le 20 septembre lorsque cette image prise par la caméra HiRISE du MRO l'a photographié comme un petit point sur les pentes de la Vallée Persévérance. Le rover était en train de descendre dans la vallée lorsque la grande tempête de sable s'est abattue sur lui en juin.

L'opacité de l'atmosphère martienne est mesurée par le paramètre « tau ». Sa valeur dépassait 10 au plus fort de la tempête. Depuis, elle a régulièrement diminué mais atteignait encore 1,3 au moment où l'image a été prise.

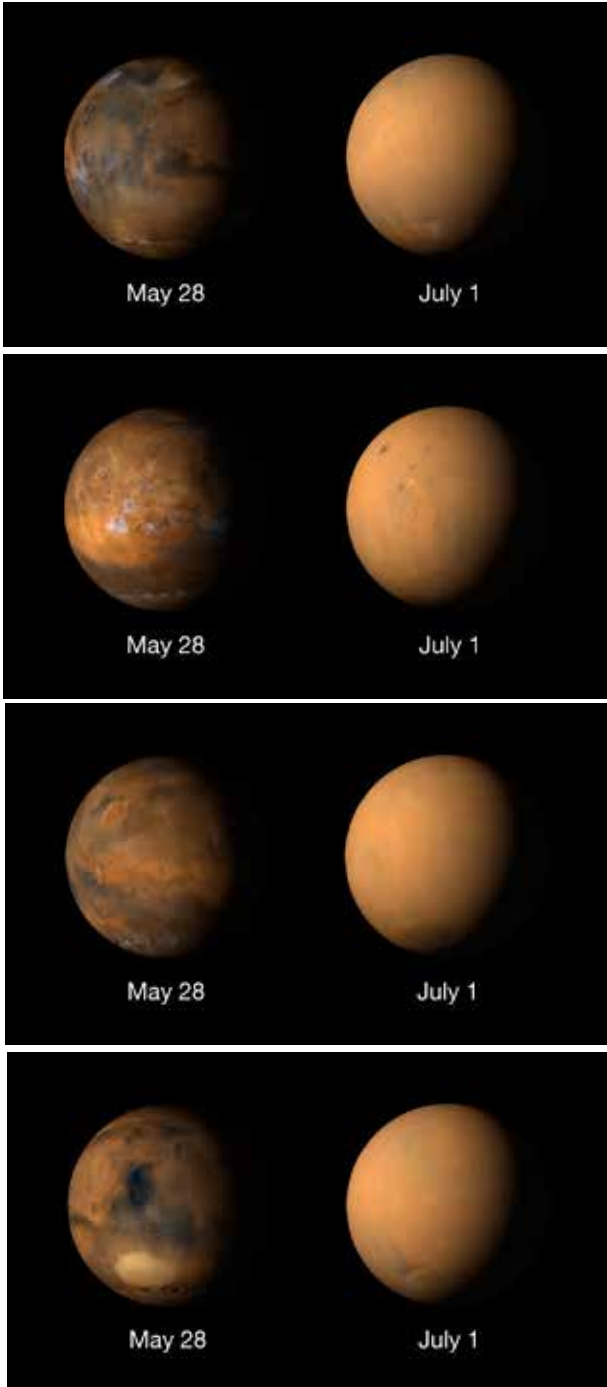
La tempête était l'un de ces grands soulèvements de poussière qui caractérisent la Planète rouge. La majorité de la surface disparut sous une couverture opaque et cela a amené le rover qui est alimenté par l'énergie solaire à entrer en hibernation. La tempête s'est manifestée pour Opportunity dès le 30 mai. Le 8 juin, elle forçait le rover à interrompre les

***Le rover Opportunity vu par MRO depuis une altitude de 267 kilomètres. Le carré blanc centré sur le rover mesure 500 mètres de côté. (NASA/JPL-Caltech/Univ. of Arizona)***

opérations scientifiques. De l'autre côté de la planète, le 5 juin, elle commençait à affecter le cratère Gale, où travaillait Curiosity, un premier signe qu'elle devenait globale. Le 20 juin, elle était officiellement classée comme telle.

En plus des images obtenues par diverses sondes, et des télescopes terrestres et spatiaux, l'évolution de la tempête était suivie par divers équipements des rovers dont, sur Curiosity, la « Rover Environmental Monitoring Station » qui mesure température, pression atmosphérique et divers autres paramètres. Cette station

**Comparaison de la surface de Mars, avant la tempête (le 28 mai) et pendant celle-ci (1<sup>er</sup> juillet), à quatre phases de la rotation diurne. (NASA/JPL-Caltech/MSSS)**



a montré l'accumulation progressive de poussière.

Un témoin totalement inattendu de cette évolution a été un moteur contrôlant l'ouverture de l'entonnoir où arrivent les échantillons de poudre de roche résultant des opérations de forage de Curiosity. Pour des raisons techniques la température de cet actuateur doit rester dans une plage étroite. Il faut donc surveiller continuellement la température extérieure afin de réchauffer l'équipement le cas échéant. Il se fait que cette température est bien corrélée à la présence de poussières atmosphériques. En bloquant le rayonnement solaire, la poussière conduit à des températures diurnes plus faibles. La nuit, au contraire, l'atmosphère poussiéreuse réchauffe le sol. En surveillant la température de l'actuateur on a ainsi pu suivre avec précision la montée en puissance, puis l'affaiblissement de la tempête, et même pronostiquer sa fin.