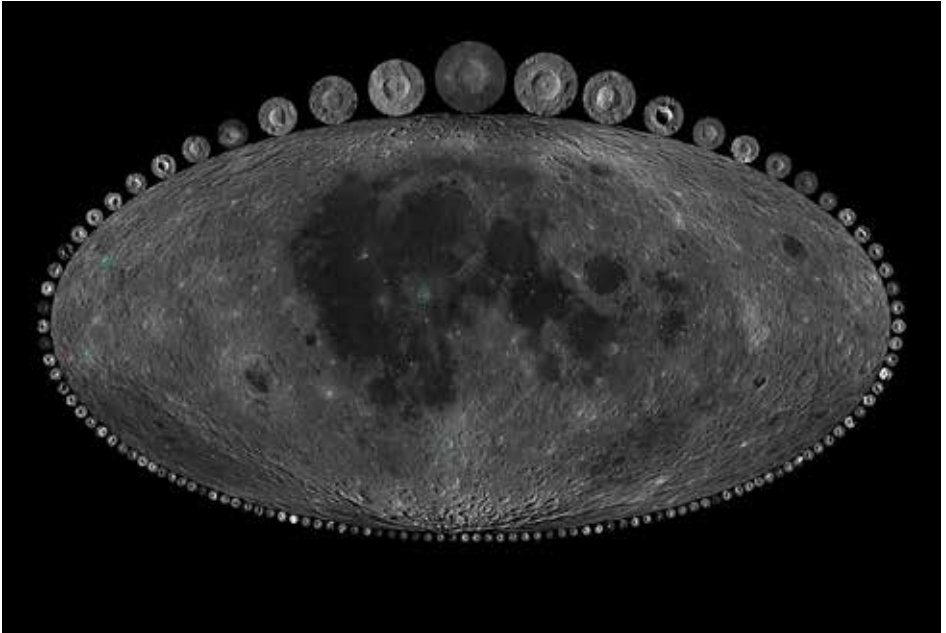


# L'astronomie dans le monde



## **Impacts**

L'érosion à la surface de la Terre gomme peu à peu les traces de cratères anciens, les *astroblèmes*. C'est pourquoi les astronomes se réfèrent à la Lune pour estimer l'historique des collisions d'astéroïdes au niveau de l'orbite de notre planète.

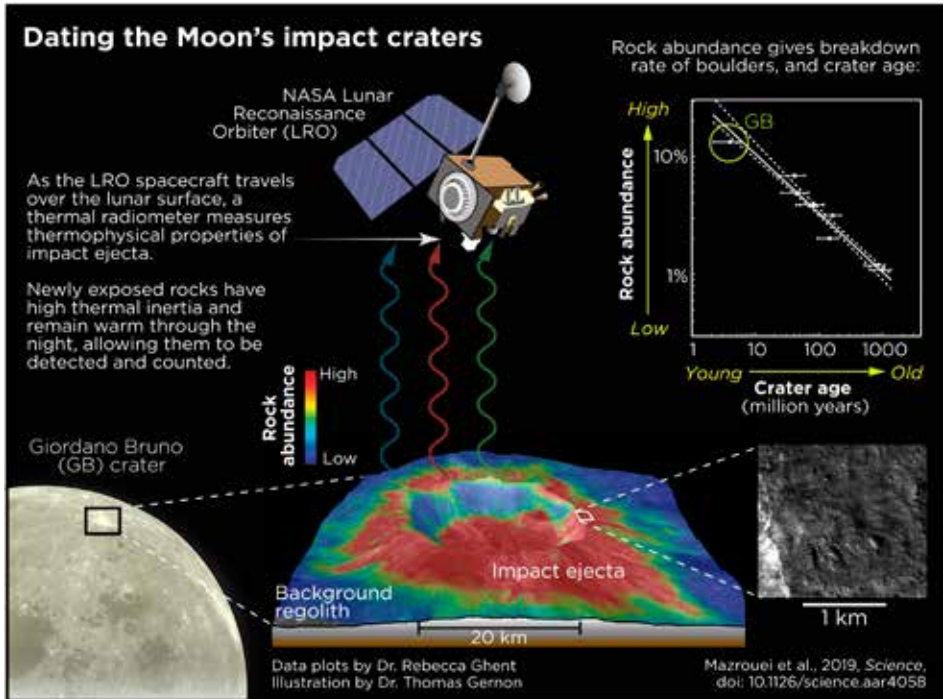
Une nouvelle étude montre que le taux de collisions a augmenté vers la fin du Paléozoïque, il y a 290 millions d'années, et s'est maintenu depuis à un niveau relativement élevé, 2,6 fois supérieur à ce qu'il était auparavant.

Les cratères terrestres plus vieux que 290 millions d'années et jusqu'à 650 millions d'années sont effectivement rares mais l'on mettait cette rareté sur le compte de l'érosion. La Lune n'a pas ce problème d'érosion. Par contre on ne pouvait pas mesurer l'âge des

*Carte des cratères ayant servi à l'étude de la fréquence des impacts. Les vignettes montrent tous ces cratères à une même échelle, avec le grand Copernic au sommet.*

*(NASA GSFC / LRO / USGS ; Alex Parker)*

cratères par datation radiométrique comme on le fait sur Terre. Depuis dix ans cependant, le Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) permet cette évaluation. Le satellite a permis de constituer une liste de tous les cratères lunaires âgés de moins d'un million d'années grâce à son radiomètre Diviner qui mesure le rayonnement thermique de la surface et peut ainsi en déterminer le taux de dégradation. Durant la nuit lunaire, les roches rayonnent beaucoup plus que la poussière du régolithe. On peut



ainsi distinguer les endroits où les rochers éjectés lors d'impacts se sont le plus dégradés au cours des âges.

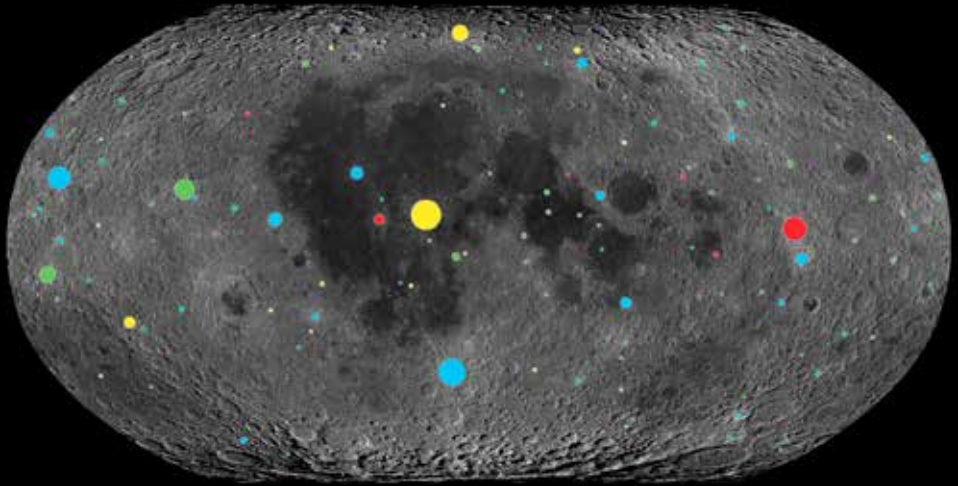
Cette méthode de datation a révélé la plus grande abondance d'impacts depuis 290 millions d'années sur les deux astres. La raison de cet accroissement n'est pas encore bien établie. Une hypothèse est que des collisions violentes dans la ceinture d'astéroïdes entre Mars et Jupiter ont pu envoyer des débris vers l'intérieur du Système solaire.

Une confirmation de ce résultat vient de l'étude des cratères présents sur le bouclier canadien, une région où l'érosion est la plus faible sur Terre comme l'attestent certaines structures volcaniques très bien préservées (les « kimberlite pipes »).

Les fluctuations de la fréquence des impacts peut avoir eu de grandes implications

*Schéma de la méthode utilisant les données du radiomètre Diviner du LRO (Lunar Reconnaissance Orbiter) pour tracer l'abondance des roches autour des cratères grâce à leur émission thermique. Cela a permis de dater les cratères de plus de 10 kilomètres de diamètre. Les cratères jeunes ont beaucoup de rochers sur leur pourtour. Ces roches se désintègrent avec l'âge laissant la place à des poussières qui rayonnent beaucoup moins et ne sont plus détectées par Diviner. (Rebecca Ghent, Thomas Gernon)*

sur l'évolution de la vie avec des phénomènes d'extinction et de renouvellement des espèces, comme semble le prouver l'événement K-T (Crétacé-Tertiaire), il y a 65 millions d'années, qui a présidé à la fin des dinosaures.



Mazrouei et al., 2019, Science, doi: 10.1126/science.aar4058

*Répartition des cratères étudiés. On voit que les cratères plus jeunes que 290 millions d'années, colorés en bleu, dominent nettement, ce qui indique que le bombardement de la Lune et de la Terre est plus intense depuis cette époque. (NASA/LRO/USGS/University of Toronto)*

*Impact météoritique lors de l'éclipse lunaire de janvier. Extrait d'un livestream du télescope de 30 cm du Griffith Observatory.*

## ***Impact et éclipse***

Plusieurs observateurs attentifs ont noté un flash lumineux sur la Lune lors de l'éclipse du 21 janvier, à 4 h 41 m 43 s TU. Il s'agissait de l'impact d'une météorite de quelques kg. De tels impacts sont surtout décelés dans des vidéos qui peuvent être regardées confortablement et analysées par des algorithmes appropriés. En temps normal, c'est naturellement sur la partie nuit du disque lunaire que l'on recherche ces flashes. Les éclipses constituent des occasions supplémentaires.



## ***ELT M2***

Un élément optique essentiel du futur télescope géant de l'ESO (Extremely Large Telescope, ELT) a pris forme après 16 mois de travail de précision aux ateliers Schott. Il s'agit du miroir secondaire M2 qui sera suspendu au-dessus du miroir principal M1 de 39 mètres. M2 ne mesure pas moins de 4,25 mètres de diamètre, une dimension qui serait déjà très respectable pour le miroir principal d'un télescope normal.

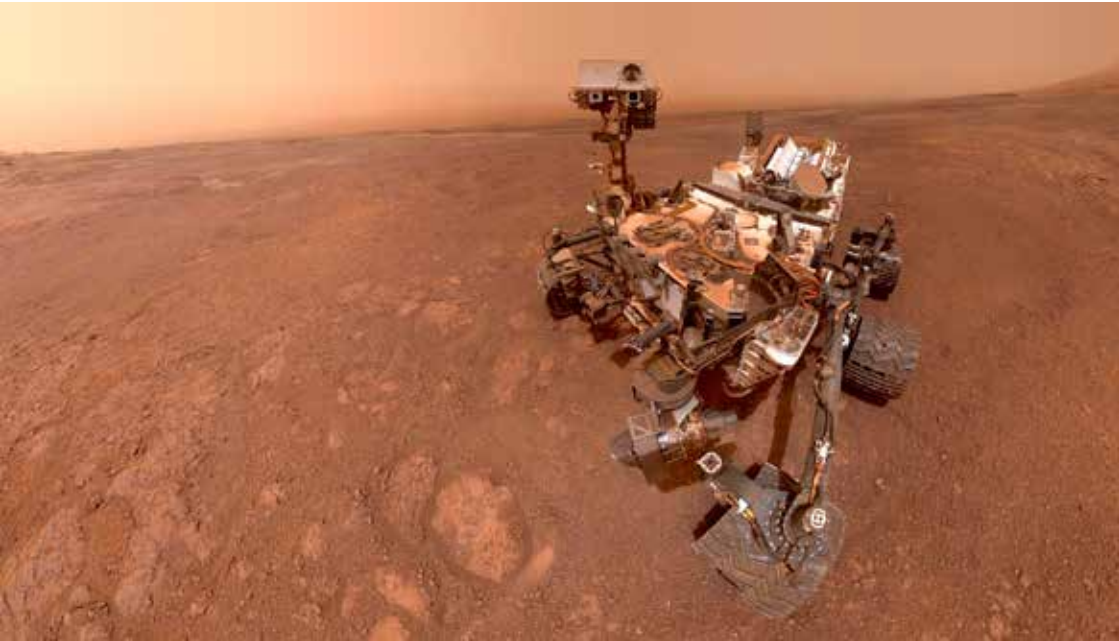
M2 sera le plus grand miroir secondaire jamais utilisé dans un télescope. Ce sera aussi le plus grand miroir convexe jamais produit

avec, en outre, des caractéristiques optiques extrêmes en terme de courbure et d'asphéricité.

Le miroir doit maintenant être poli avec une précision de 15 nanomètres, un travail délicat effectué à Safran Reosc. Finalement il recevra ses revêtements d'argent et de silice à l'observatoire de l'ESO à Paranal.

*Après polissage, cette pièce de Zerodur de trois tonnes constituera le miroir secondaire du télescope géant ELT de l'ESO. (Schott)*





## ***Mont Sharp***

Le rover martien Curiosity est pourvu de détecteurs permettant aux ingénieurs et contrôleurs de mission de déterminer ses mouvements et sa position. Ce sont des gyroscopes et des accéléromètres du même genre que ceux que l'on trouve dans les smartphones, mais beaucoup plus sensibles et plus précis. Lorsque l'engin est immobile, ces détecteurs donnent la valeur de la gravité locale.

Les scientifiques ont vu le profit qu'ils pouvaient tirer de ces données. Ils ont mesuré la pesanteur à 700 points le long du parcours de Curiosity durant les cinq premières années de sa mission qui a débuté en 2012.

En abordant le Mont Sharp, Curiosity a commencé à sentir l'attraction supplémentaire exercée par la montagne mais elle était moins forte que ce que l'on escomptait. La base de la montagne est étonnamment poreuse.

***Selfie de Curiosity pris à la mi-janvier. Le rover aborde une nouvelle étape de son parcours sur le Mont Sharp. (NASA/JPL-Caltech/MSSS)***

On a longtemps débattu de l'origine du Mont Sharp. Les cratères martiens comme Gale, qui héberge le mont, ont un piton central créé par l'impact. Le Mont Sharp en est certainement un vestige. Son sommet est fait de sédiments facilement érodés par le vent<sup>1</sup> et qui ont progressivement rempli le cratère, compactant ainsi la base de la montagne.

Les nouvelles données de Curiosity indiquent qu'il n'y a eu qu'un ou deux kilomètres de sédiments, beaucoup moins que si le cratère avait été entièrement rempli. Le tassement a donc été relativement réduit.

---

<sup>1</sup> « Mont Sharp » est un nom donné par la NASA en l'honneur d'un de ses planétologues. Le nom « officiel » attribué par l'Union Astronomique internationale est « Aeolis Mons » qui semble ici parfaitement de circonstance.



**Les mesures effectuées avec les accéléromètres de Curiosity montrent une diminution de la pesanteur lorsque le Rover gravite le Mont Sharp. Cette tendance permet d'estimer la densité des roches de la montagne.**  
(Kevin Lewis)

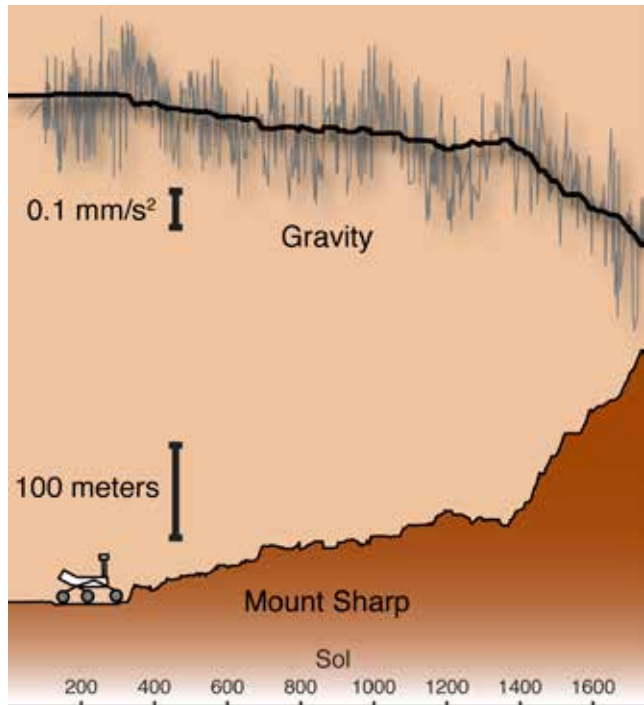
Outre les enseignements sur l'histoire du Mont Sharp ce résultat nous démontre l'imagination des chercheurs pour valoriser toutes les ressources de Curiosity.

### Étoiles de très petite masse

Basé sur un communiqué CNRS/INSU

Les grands relevés du ciel des deux décennies passées ont permis de découvrir quelques milliers d'étoiles naines et de naines brunes. Cependant leur recensement reste incomplet en raison de leur faible éclat, y compris dans le voisinage solaire. La mission Gaia, grâce à la combinaison de ses mesures très précises en astrométrie et en photométrie, apporte un nouveau moyen de les découvrir et promet d'en offrir un échantillon véritablement complet.

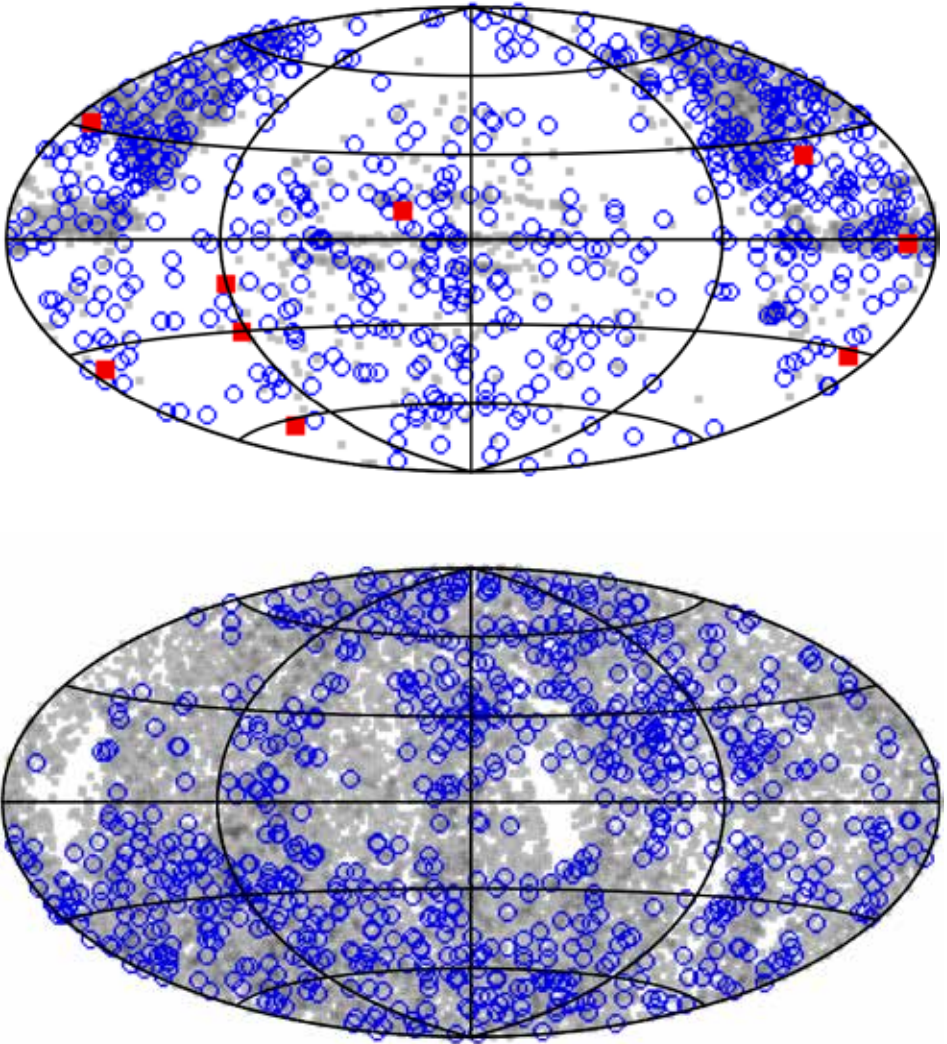
Les étoiles naines, de masse inférieure au dixième de celle du Soleil, sont majoritaires dans la Voie lactée (environ 70% de toutes les étoiles) et, pour cette raison, elles sont des sujets d'étude essentiels pour mieux connaître notre galaxie. En outre, elles sont maintenant connues pour héberger des exoplanètes dont certaines ont une masse voisine de celle de la Terre. Ces astres font le lien entre les étoiles et les naines brunes, car leur masse couvre la transition de masse stellaire / sous-stellaire, autour de 0,075 masse solaire. Cette masse conditionne la combustion de l'hydrogène au cœur de l'astre, et définit la limite entre étoiles naines et naines brunes. À cause de leur faible luminosité, la modélisation de leur atmosphère froide, d'une température inférieure à 3 000°, est complexe et reste un défi.



Une meilleure connaissance de cette population d'astres insaisissables a donc des implications importantes pour l'astronomie stellaire et galactique, ainsi que pour la recherche d'exo-terres potentiellement habitables.

La première recherche systématique d'étoiles de très faible masse et de naines brunes dans le second catalogue de Gaia a permis d'identifier près de 14 000 nouvelles candidates, couvrant toute la voûte céleste. Les mesures des distances par Gaia montrent que plus de 200 candidates sont à moins de 100 années-lumière du Soleil, indiquant que même l'inventaire dans un volume proche est incomplet.

De futures observations de suivi spectroscopique devraient permettre de confirmer leur nature, et d'analyser en détail leur atmosphère. Ces observations amélioreront considérablement la connaissance de ces astres, qui pourront servir ensuite de cibles clés dans les études de la Voie lactée et les recherches d'exoplanètes.



*En haut, distribution sur le ciel des étoiles de très faible masse connues avant la mission Gaia. En bas, les découvertes de Gaia. Les marques grises indiquent des naines M, les marques rouges des naines T et les ronds bleus des naines L. Gaia est peu sensible aux étoiles aussi froides et peu lumineuses que les L et surtout les T. (Chiavassa et al, 2018)*

## ***Poussières d'étoiles (suite)***

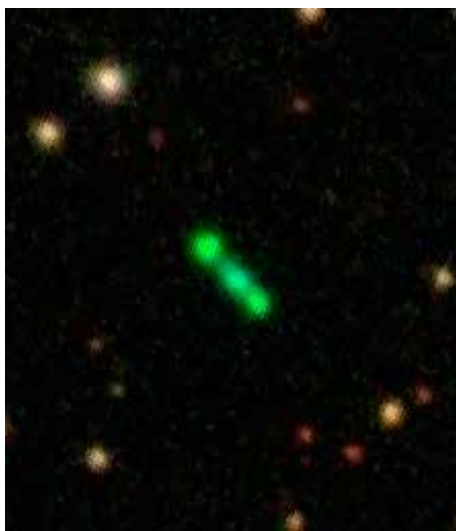
À la fin de leur vie, les étoiles retournent au milieu interstellaire une partie de leur matière, enrichie en éléments lourds comme le carbone, l'oxygène, le silicium ou l'azote (des « métaux » pour les astronomes). Les sources les plus efficaces semblent être les supernovæ et les étoiles géantes rouges (cf. *Le Ciel*, janvier 2018, 42), mais l'observation d'une nébuleuse lointaine montre que l'on ne sait pas encore tout sur la question.

Des poussières trouvées dans des météorites ont une composition isotopique compatible avec une origine dans des novæ ou des supernovæ mais celles-ci sont trop rares pour l'expliquer. La même composition a été trouvée dans la nébuleuse K4-47 située à 15 000 années-lumière. Plus spécifiquement, les isotopes lourds de carbone, oxygène et azote ( $^{13}\text{C}$ ,  $^{17}\text{O}$  et  $^{15}\text{N}$ ) y montrent une surabondance. Ces isotopes ont un neutron de plus que les noyaux normaux.

La fusion d'un neutron excédentaire demande des températures de 200 millions de degrés – températures que l'on trouve dans les explosions d'étoiles. Le fait que l'on observe ces isotopes dans une nébuleuse planétaire prouve qu'ils peuvent se former dans des étoiles aussi ordinaires que le Soleil lorsque, à

la fin de leur vie, elles deviennent instables et subissent un « flash d'hélium » dans leur cœur. Le flash d'hélium, bien que violent, ne détruit pas l'étoile. Plutôt qu'une explosion, ce n'est qu'une forte éruption stellaire.

***Image SDSS de la nébuleuse K4-47.  
(Sloan Digital Sky Survey)***



***La nébuleuse bi-lobée Butterfly (M2-9) beaucoup plus proche que K4-47 montre l'aspect probable de cette dernière. (ESA/Hubble & NASA/Judy Schmidt)***





## ***Ultima Thule***

Une nouvelle image de 2014 MU69 (= Ultima Thule) a été transmise par New Horizons. Elle a été prise le 1<sup>er</sup> janvier d'une distance de 6 700 kilomètres, sept minutes avant le survol. Mise en mémoire, elle n'a été transmise vers la Terre que le 18 janvier.

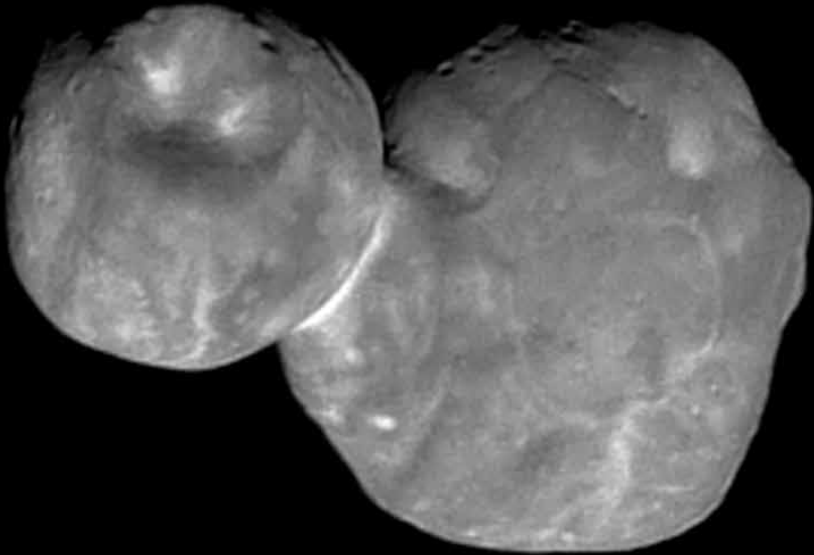
C'est la meilleure image reçue à ce jour de cet objet de la ceinture de Kuiper. On la doit à la caméra Ralph et sa résolution originale est de 135 mètres par pixel. D'autres images encore plus fines et en couleurs sont attendues au fur et à mesure des transmissions de New Horizons.

L'éclairage oblique révèle de nouveaux détails topographiques le long du terminateur (en haut de l'image). On y voit de nombreux petits trous ayant jusqu'à 700 mètres de diamètre. La plus grande dépression, sur le petit

lobe, fait 7 kilomètres de large. On ne sait pas encore si ces trous sont des cratères d'impacts ou s'ils résultent d'autres processus, par exemple l'effondrement de puits, ou l'évacuation de gaz.

Les deux lobes portent des marques claires et sombres d'origine inconnue qui pourraient révéler des indications sur la façon dont ce corps s'est assemblé il y a 4,5 milliards d'années, à l'aube du Système solaire. La plus frappante est le collier brillant à la jonction des deux lobes.

***Ultima Thule par New Horizons.  
(NASA/Johns Hopkins University  
Applied Physics Laboratory/Southwest  
Research Institute)***



## ***Dioné et Rhéa***

L'image ci-contre ne montre pas un nouvel astéroïde double mais un alignement fortuit de Dioné et Rhéa.

Rhéa (1 528 kilomètres) est plus grand que Dioné (1 118 kilomètres) mais le jeu de la perspective a pu souvent les faire apparaître de la même taille pour Cassini.

Dioné porte sur son pôle sud un gros cratère, dénommé « Evander ». C'est grâce à cette particularité que les deux objets semblent si parfaitement jointifs.

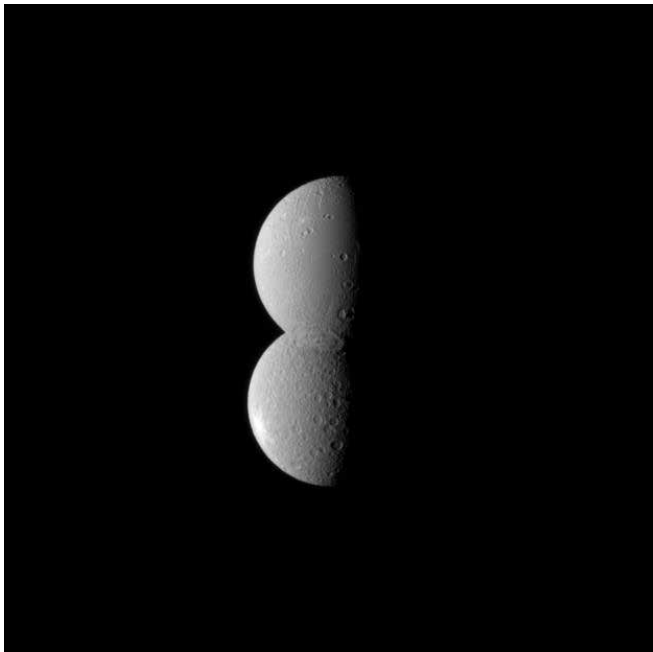
Leur réflectivité est similaire sur cette image, ce qui ajoute à l'aspect uniforme, bonhomme de neige.

Dioné est sur une orbite comparable à celle de la Lune. Vu la grande masse de Saturne, il tourne dix fois plus vite que notre satellite et fait un tour en 2,7 jours. Saturne tournant sur elle-même en dix heures, les habitants de Saturne ont droit à des lunaisons de Dioné de 7 jours saturniens.

Rhéa est plus éloigné et parcourt son orbite en 4,5 jours.

La composition de Dioné est d'un tiers de roche et deux tiers de glace d'eau. On le soupçonne d'abriter un océan souterrain.

On s'attendrait à ce que son hémisphère « avant », dirigé dans le sens du mouvement orbital, soit le plus cratérisé puisqu'il devrait être bombardé plus copieusement que l'autre.



***Dioné (en haut) et Rhéa. Les deux satellites de Saturne ont été photographiés le 27 juillet 2010 par Cassini depuis des distances de respectivement 1,1 et 1,6 million de kilomètres.***

***(NASA/JPL/Space Science Institute)***

***Dioné éclipse Rhéa vu de Cassini le 20 février 2005. On voit la face de Dioné opposée à Saturne et celle de Rhéa tournée vers Saturne. Les deux satellites étaient à respectivement 1,5 et 2,3 millions de kilomètres de la sonde.***

***(NASA/JPL/Space Science Institute)***

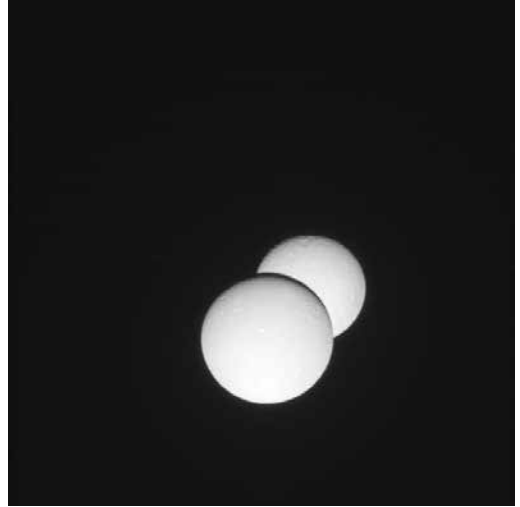


C'est pourtant le contraire qui est observé. On pense donc qu'un impact violent l'a fait tourner de 180°.

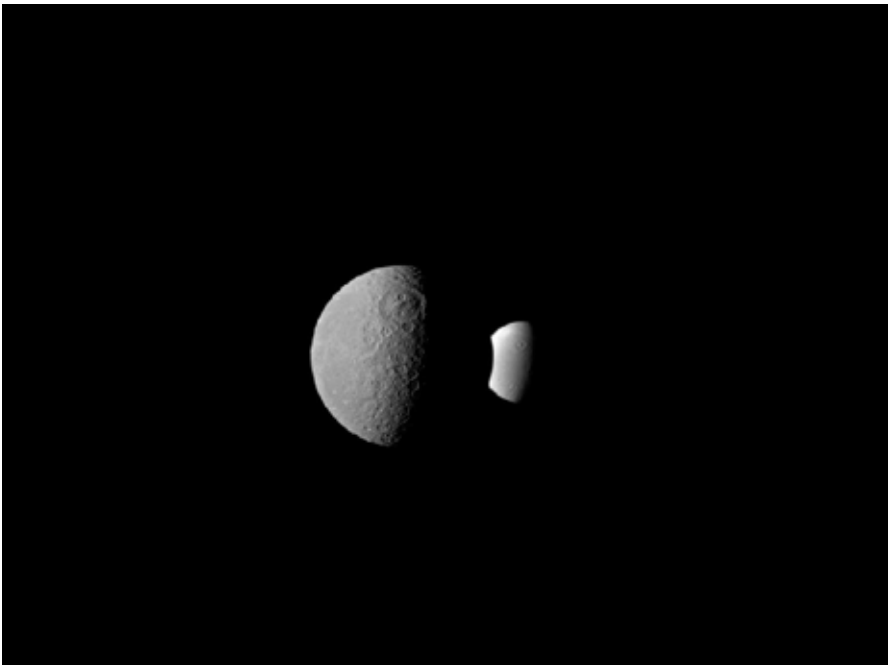
Rhéa est la seconde lune, en taille, de Saturne, après Titan. Elle est un peu moins rocheuse que Dioné avec une proportion de trois quarts de glace.

Les archives de Cassini montrent de multiples associations de ces deux lunes. Parfois, bien sûr, les positions sont inversées et Cassini est plus près de Rhéa que de Dioné, comme sur l'image du bas.

*Dans l'image ci-dessous, prise le 3 février 2011, Rhéa est plus proche que Dioné, à 1,2 million de kilomètres de Cassini, et paraît nettement plus sombre, ce qui révèle des différences entre les deux lunes. Curieusement, les deux astres montrent un cratère à peu près à la même position. (NASA/JPL/Space Science Institute)*



*Dans cette image obtenue le 11 octobre 2005, Rhéa est situé 330 000 kilomètres au-delà de Dioné. (NASA/JPL/Space Science Institute)*





## **Planète 9**

Les orbites bizarres de certains objets évoluant aux confins du Système solaire ont conduit des astronomes à invoquer l'existence d'une grosse planète, la fameuse planète 9 ou X, très loin du Soleil. Depuis 2003 une trentaine d'objets de la ceinture de Kuiper, c'est-à-dire au-delà de Neptune, ont été découverts avec des orbites très elliptiques orientées de façon assez similaire, ce qui est statistiquement impossible et ne peut être expliqué par l'influence des huit planètes officielles et des autres non officielles connues. La plupart des astéroïdes de cette ceinture ont au contraire des orbites bien sages, quasi circulaires.

Une planète X, une dizaine de fois plus massive que la Terre, pourrait, par son attraction gravitationnelle combinée à celles des autres planètes, rassembler les objets excentriques dans un mouvement général.

Cette hypothèse est souvent contestée, principalement parce qu'on ne l'a pas encore découverte. Un nouvel argument lui met du plomb supplémentaire dans l'aile. Une explication alternative fait appel non pas à une planète mais à une foule de petits corps cumulant une masse de plusieurs fois celle de la Terre et

*Vue d'artiste de la ceinture de Kuiper.  
(ESO/M. Kornmesser)*

situés dans la ceinture de Kuiper. Trop petits pour être facilement détectés, on n'aurait pas encore d'objections à opposer.

Une modélisation de l'essaim d'objets transneptuniens (TNO) et des quatre planètes géantes du Système solaire montre qu'il est possible d'obtenir des groupements d'orbites pour certains TNO et de reproduire l'anomalie que l'on a observée. Il faut pour cela que la ceinture de Kuiper groupe une masse totale de plusieurs fois (jusqu'à dix fois) la masse de la Terre. C'est beaucoup plus que la masse estimée actuellement (un dixième de masse terrestre) mais pas impossible, d'autant que les ceintures du type de Kuiper que l'on voit autour d'autres étoiles peuvent être très massives.

Et finalement, les deux hypothèses ne s'excluent pas. Pourquoi n'y aurait-il pas un disque massif et une planète massive qui attendent d'être découverts ?

## ***Titan***

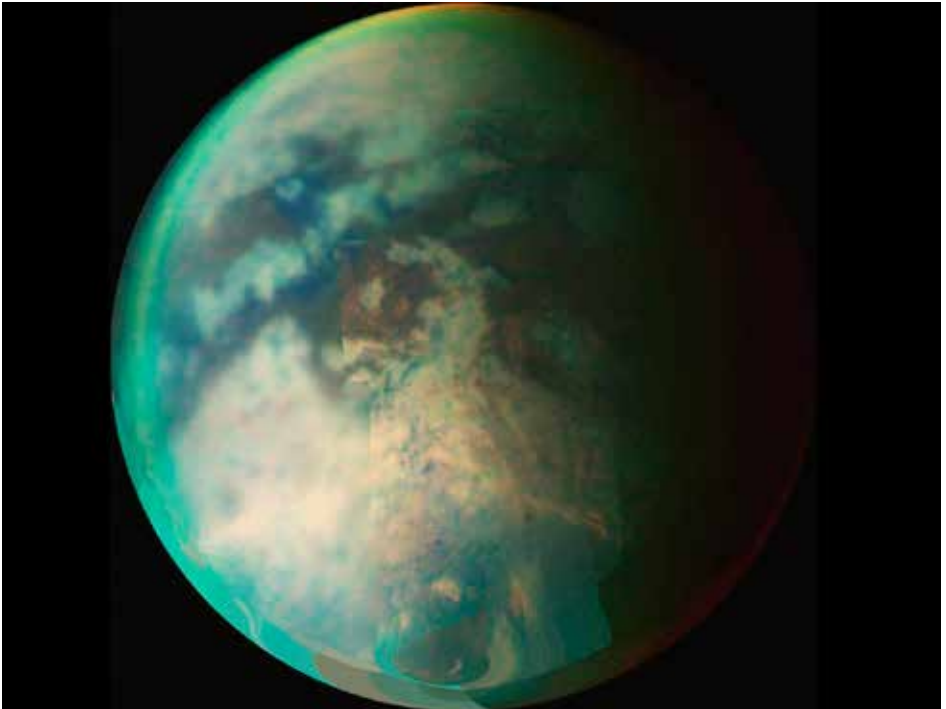
Une image de Titan prise par Cassini suggère qu'il pleuvait au pôle nord du gros satellite de Saturne. Cela marquerait le début de l'été boréal sur Titan. Les astronomes guettaient ce signe avec impatience. Les modèles prévoient que de la pluie devait arriver au pôle mais, jusqu'alors, on n'y voyait aucune trace de nuages, au point qu'on en avait fait le « mystère des nuages manquants ».

L'image gagnante a été obtenue le 7 juin 2016 par l'instrument infrarouge de Cassini, le « Visual and Infrared Mapping Spectrometer ». On y voit une région de haute réflectivité, moitié aussi grande que les Grands Lacs, qui n'apparaissait pas sur les images précédentes. Son analyse conclut à une pluie de méthane, suivie d'une évaporation, ce qui donne un effet similaire à celui d'un trottoir vu sous le Soleil après une averse. L'aspect suggère que

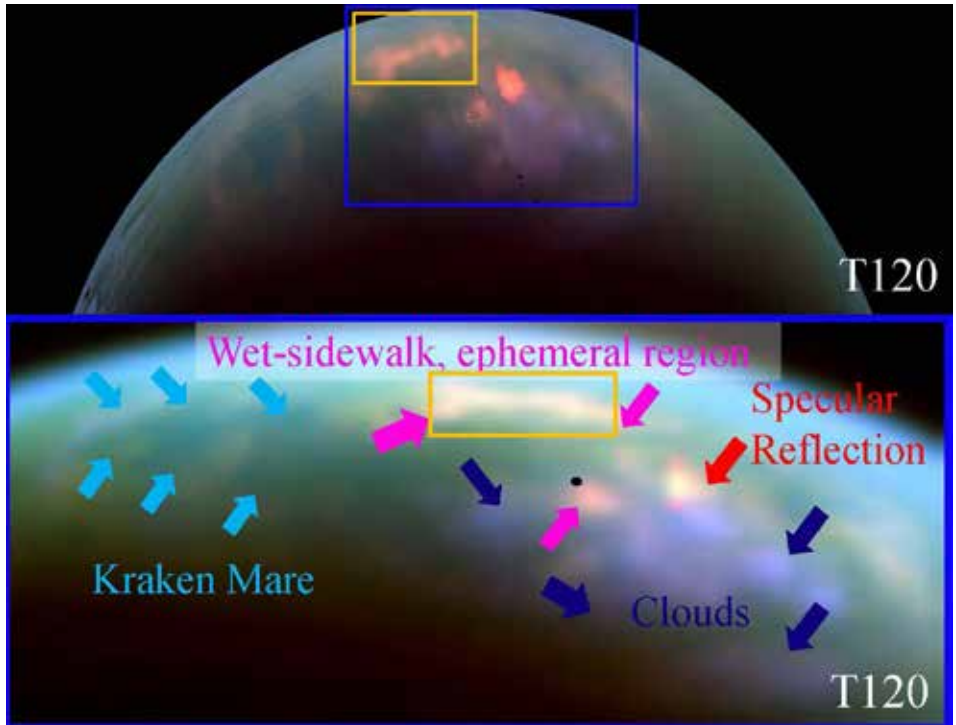
le sol est jonché de quelques cailloux. Un sol lisse aurait produit des flaques et une réflexion différente.

L'année de Titan, et donc les saisons, durent 30 fois plus longtemps que celles de notre planète. Cassini est arrivé dans le système de Saturne durant l'été austral de Titan. Il y a observé des nuages et de la pluie. Les modèles climatiques prédisaient un temps similaire dans l'hémisphère nord dans les quelques années précédant le solstice d'été boréal, en 2017. Mais au début 2016, il n'y avait toujours pas de nuages. L'image prise en juin confirme les modèles, avec simplement un petit délai qu'il faudra expliquer.

*Titan vu par Cassini.  
(NASA/JPL/University of Arizona)*







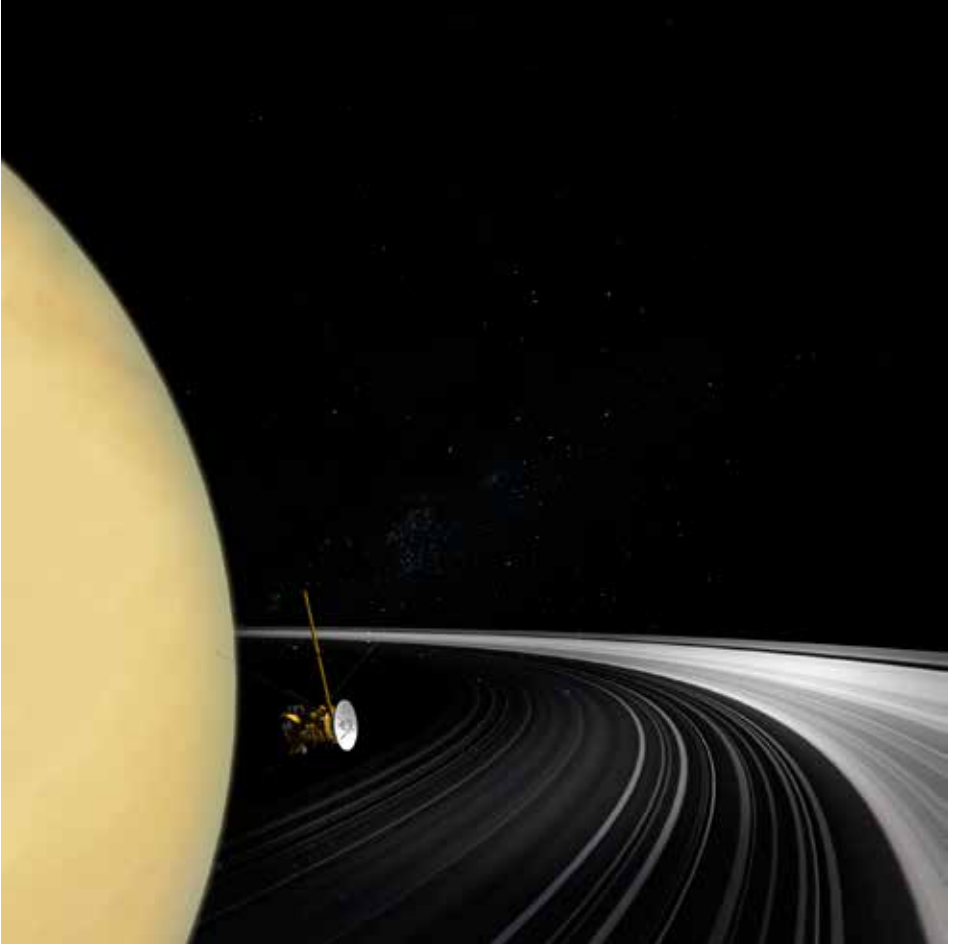
*Le pôle nord de Titan vu par le « Visual and Infrared Mapping Spectrometer » de Cassini. La boîte orange montre la réflexion de la lumière solaire sur le sol mouillé.*

*En bas, un agrandissement montre les nuages en bleu. Les flèches rouges indiquent les reflets sur le lac Xolotlan Lacus. En rose, la région du « trottoir mouillé ». Le pôle nord est marqué d'un point noir. Les flèches bleu clair indiquent les rivages de la plus grande mer polaire boréale, Kraken Mare. (NASA/JPL/University of Arizona/University of Idaho)*

## Saturne

L'étude des données de Cassini obtenues lors de ses dernières orbites avant de plonger dans l'atmosphère de Saturne ont permis de déterminer la masse des anneaux, ce qui a conduit à estimer l'âge de ceux-ci. Deux hypothèses principales s'affrontaient. Certains pensaient que les anneaux s'étaient formés en même temps que la planète, il y a plus de quatre milliards et demi d'années. D'autres voyaient en eux les débris de petits satellites s'étant heurtés relativement récemment, peut-être après avoir été perturbés par le passage d'un astéroïde, ou les restes d'un objet de la ceinture de Kuiper qui s'était aventuré trop près de Saturne.

C'est l'idée d'anneaux jeunes que favorisent les données de Cassini. L'analyse de variations subtiles de la vitesse de la sonde a permis de caractériser le champ gravifique dû à la planète et à ses anneaux et, de là, obtenir la masse de ces objets. Les anneaux ne pèsent que quelques dix-millièmes



*Simulation artistique du passage de Cassini dans le plan des anneaux de Saturne. (NASA/JPL-Caltech)*

de notre Lune et leur âge serait de 10 à 100 millions d'années. On sait d'autre part que la « pluie » que les anneaux font tomber sur l'équateur de Saturne les fera disparaître en moins de 100 millions d'années, les anneaux internes s'évanouissant les premiers.

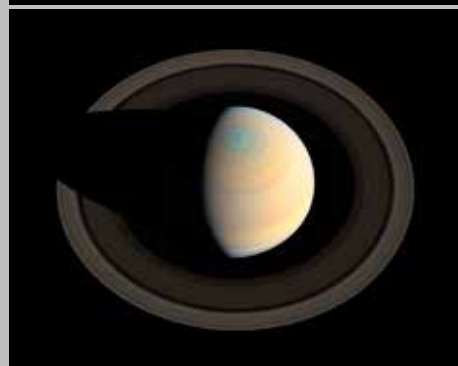
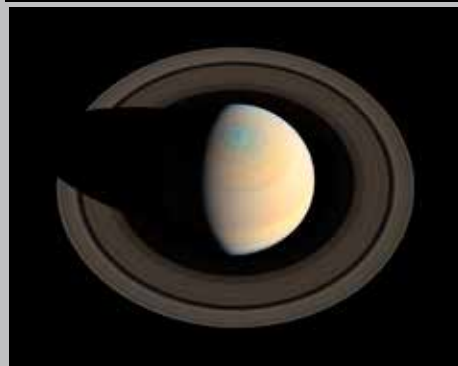
Ces mesures ont également livré d'importantes indications sur la structure interne de Saturne. On a ainsi pu apprendre que la masse de son noyau est comprise entre 15 et 18 masses terrestres. On savait que la surface de Saturne tourne plus vite que son intérieur.

Cassini a révélé à quelle profondeur se fait la transition.

Des observations d'un autre ordre concernent des phénomènes d'oscillation dans les anneaux qui sont liés à des vibrations au cœur de la planète. Elles ont conduit à obtenir enfin la durée de rotation de Saturne, 10 h 33 m 38 s, une valeur plus courte de



*Simulation de l'aspect de Saturne dans les futures cent millions d'années. Les images sont arrangées dans le sens horlogique. Les anneaux internes disparaissent le plus rapidement en pleuvant sur l'équateur. (NASA/Cassini/James O'Donoghue)*



quelques minutes que celle estimée par les sondes Voyager en 1980 et 1981 sur base des émissions radio : 10 h 39 m 22 s. On pensait alors que ces ondes étaient modulées par la rotation du cœur de la planète, ce qui permettait d'obtenir quelque chose de plus fiable que l'observation des taches changeantes de la sur-

face qui ne sont que des phénomènes atmosphériques. Des mesures radio effectuées par Cassini en 2004 avaient donné 10 h 45 m 45 s, preuve que cette technique ne fournissait pas une véritable période de rotation globale. Il s'est avéré qu'elle reflétait des mouvements dans le plasma entourant la planète.

*(suite page 166)*

## ***Amas de Coma***

Les images du télescope spatial Hubble montrent une galaxie (D100) plongeant vers le cœur de l'amas de Coma et perdant par friction ses nuages de gaz et de poussières. On voit un long panache s'étirant depuis le cœur de la galaxie sur 200 000 années-lumière, expulsé par la pression dynamique du milieu intergalactique.

À terme, cette galaxie perdra toute sa matière de base pour former des étoiles et ne brillera plus que par ses vieilles étoiles rouges.

D100 est un exemple extrême d'un processus habituel dans un amas de galaxies massif comme celui de Coma où les spirales bleues, actives, dépérissent en galaxies rouges. Les bras disparaissent, aucune étoile ne se forme plus.

Ce processus a dû commencer pour D100 il y a environ 300 millions d'années.

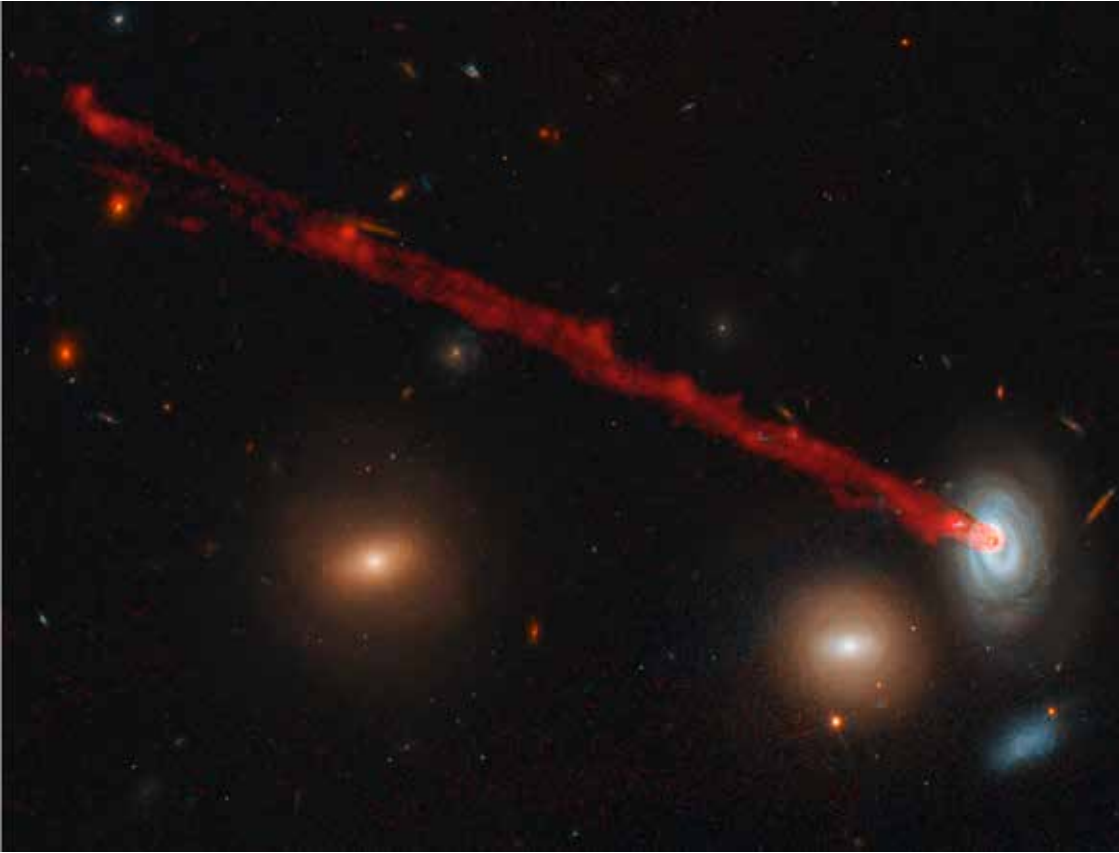
La longue queue, ne faisant que 7 000 années-lumière de large est remarquablement rectiligne et

***La galaxie spirale D100 (à droite) perd son gaz en raison de son mouvement rapide dans le milieu intergalactique de l'amas de Coma. Dans quelques centaines de millions d'années, privée de matériaux de base, elle ressemblera à sa voisine, D99 qui ne contient plus que de vieilles étoiles rouges.***

***Cette image est une composite de poses prises dans le domaine visible entre 2016 et 2018 avec la caméra ACS (Advanced Camera for Surveys).***

***(NASA, ESA, M. Sun/University of Alabama, W. Cramer, J. Kenney/Yale University)***





bien délimitée. Les simulations numériques ainsi que les observations montrent que c'est rarement le cas. Habituellement l'aspect du panache est plus chaotique. Les bords francs et les structures filamenteuses de la queue de D100 suggèrent que les champs magnétiques y jouent un rôle majeur, ce que confirment les modèles numériques. Sans champ magnétique la queue est irrégulière et fragmentée plutôt que filamenteuse.

Le but principal des astronomes était d'étudier la formation d'étoiles dans la queue. Les yeux perçants de Hubble ont décelé la présence de groupes d'étoiles bleues. Le plus

*Une image prise dans la lumière H-alpha de l'hydrogène avec la caméra Suprime du télescope Subaru de 8 mètres (Hawaii) a été combinée aux images obtenues par le télescope spatial Hubble pour mettre particulièrement en évidence la queue émanant de la galaxie D100. (NASA, ESA, M. Sun/University of Alabama, W. Cramer, J. Kenney/Yale University; M. Yagi/National Astronomical Observatory of Japan).*



brillant de ces amas, au milieu de la queue, contient plus de 200 000 étoiles. Au vu du rayonnement intense de l'hydrogène gazeux, les scientifiques s'attendaient toutefois à en trouver trois fois plus.

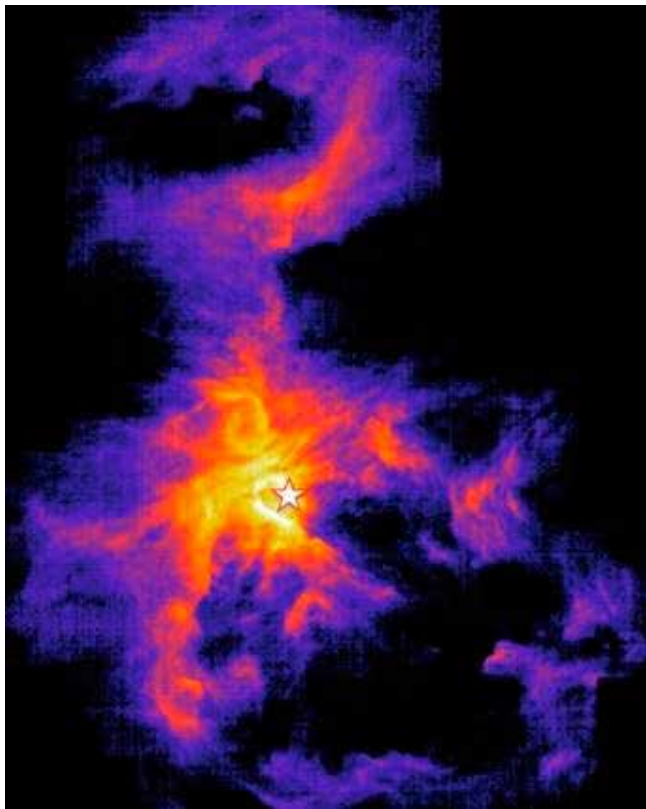
Les données de Hubble montrent que la perte de gaz commence par les bords de la galaxie avant de se propager vers le centre. Ce balayage en est arrivé à 6400 années-lumière pour D100. Il reste donc encore une région centrale où il y a du gaz et où la formation d'étoiles a lieu.

À côté de D100, on peut voir une galaxie, D99, préfigurant l'avenir de D100. Tout son gaz a été extrait il y a 500 ou 1 000 millions d'années. Elle a pratiquement perdu sa structure spirale et ne contient plus que des étoiles rouges très âgées.

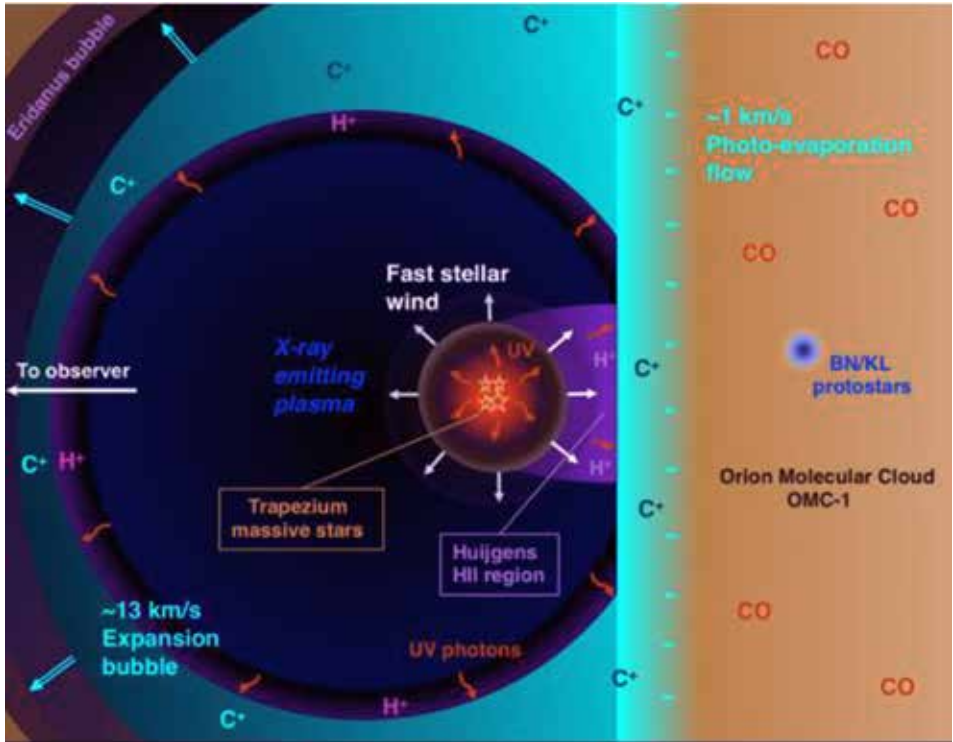
## ***Les étoiles massives font des vagues***

*Basé sur des communiqués NASA et CNRS*

La Voie lactée compte environ 100 milliards d'étoiles dont la majorité se sont formées quand notre galaxie avait la moitié de son âge actuel. Au cours du temps, le rythme de formation des étoiles s'est considérablement ralenti. Des chercheurs apportent une explication inédite à ce phénomène en montrant que les vents stellaires dégagés par les étoiles massives perturbent les nuages de gaz dans lesquels se forment les étoiles comme le Soleil, ralentissant ainsi leur formation. Grâce à l'observatoire SOFIA de la NASA, les scientifiques ont cartographié « l'empreinte » laissée par les vents stellaires sur les nuages



***Image à haute résolution de la nébuleuse d'Orion obtenue avec l'observatoire SOFIA. Sur chaque pixel de l'image, une mesure de la vitesse du gaz a été effectuée, permettant de calculer l'énergie déposée par le vent de l'étoile massive (dont la position est indiquée par un symbole) dans le nuage de gaz. (NASA / C. Pabst et al. Nature, 2019)***



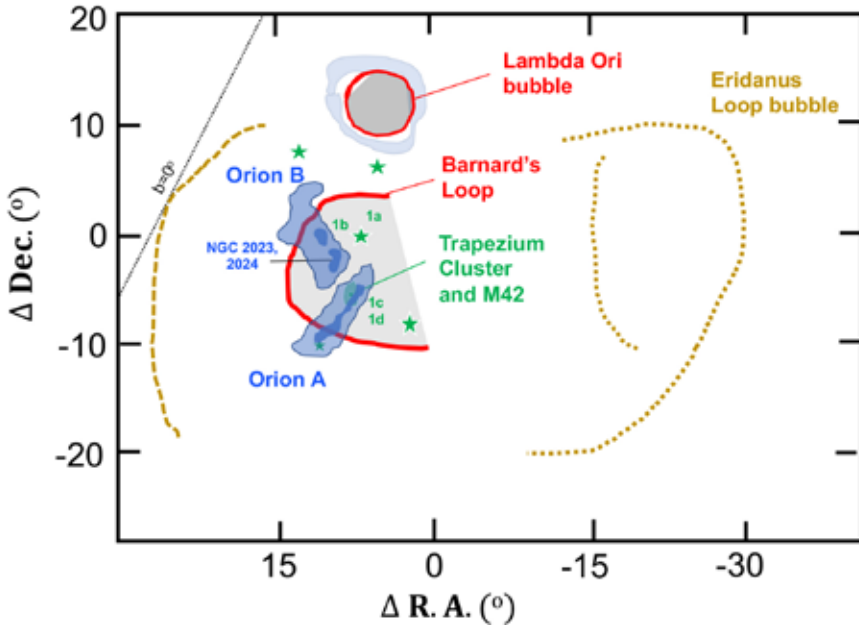
de gaz de la nébuleuse d'Orion. Ils ont en particulier pu mesurer avec une précision inédite la quantité d'énergie déposée dans le nuage. Ces résultats révèlent que l'influence des vents stellaires est même supérieure à celle des supernovæ.

La nébuleuse d'Orion est l'un des objets les mieux observés et les plus photographiés du ciel. C'est la pouponnière stellaire la plus proche de nous et elle sert de laboratoire aux astronomes qui étudient comment se forment les étoiles. Les nappes de gaz et de poussière qui font toute la beauté de la nébuleuse nous cachent les étoiles nouveau-nées et il faut en appeler aux longueurs d'onde

*Schéma de la structure de la bulle dans la nébuleuse d'Orion. Elle a créé sur une partie de son pourtour une enveloppe de 4 parsecs de diamètre qui gonfle à la vitesse de 13 kilomètres par seconde. Le cœur dense du nuage moléculaire d'Orion, OMC-1, situé derrière les étoiles du Trapèze, entrave l'expansion dans cette direction. Le rayonnement ultraviolet ionise l'hydrogène et provoque les émissions qui dominent dans le domaine optique. Les poussières sont échauffées, ce qui provoque une émission continue intense dans l'infrarouge lointain. Les grosses molécules PAH (polycyclic aromatic hydrocarbon) donnent, quant à elles, une fluorescence à la longueur d'onde de 8 microns. L'émission du carbone ionisé à 158 microns sert à refroidir le gaz.*

*À une échelle beaucoup plus grande (350 parsecs), le nuage moléculaire d'Orion fait partie de la superbulle Orion-Eridanus.*

*(C. Pabst et al. Nature, 2019)*



*Schéma à grande échelle d'Orion. Les étoiles massives (aux épaules, aux genoux et dans le baudrier du géant légendaire) sont figurées en vert. En bleu, les nuages moléculaires géants A et B. À l'intérieur de la boucle de Barnard sont les régions HII excitées par le Trapèze. L'étoile lambda Orionis est elle aussi entourée d'une bulle et d'une enveloppe de gaz moléculaire. (C. Pabst et al. Nature, 2019)*

infrarouges pour percer ces voiles. C'est là qu'intervient l'observatoire volant SOFIA. En volant à près de 14 kilomètres d'altitude, au-dessus de 99% de la vapeur d'eau atmosphérique, il permet des observations beaucoup plus claires que les observatoires terrestres les plus hauts. Il est particulièrement adapté à l'étude de l'infrarouge moyen et lointain, de 28 à 320 microns, un domaine où il n'y a guère de compétition, ni dans l'espace, ni au sol. Un avantage de SOFIA par rapport aux télescopes

spatiaux est de pouvoir embarquer les derniers instruments les plus perfectionnés.

SOFIA a ainsi permis d'étudier à haute résolution une raie spectrale d'une grande importance, celle du carbone ionisé située à la longueur d'onde de 158 microns. Grâce à l'effet Doppler, on peut mesurer la vitesse du gaz en tous points de la nébuleuse et étudier l'interaction des étoiles massives avec le milieu ambiant.

Les observations ont montré que le puissant vent stellaire provenant de la plus brillante des jeunes étoiles,  $\theta_1$  Orionis C ( $\theta_1$  Ori C), a soufflé une gigantesque bulle dans le nuage de gaz originel de l'amas. La faible densité à l'intérieur de cette bulle a interdit la formation de nouvelles étoiles. Mais la matière repoussée forme une enveloppe dense où pourront se former d'autres étoiles. Ce n'est donc que partie remise.

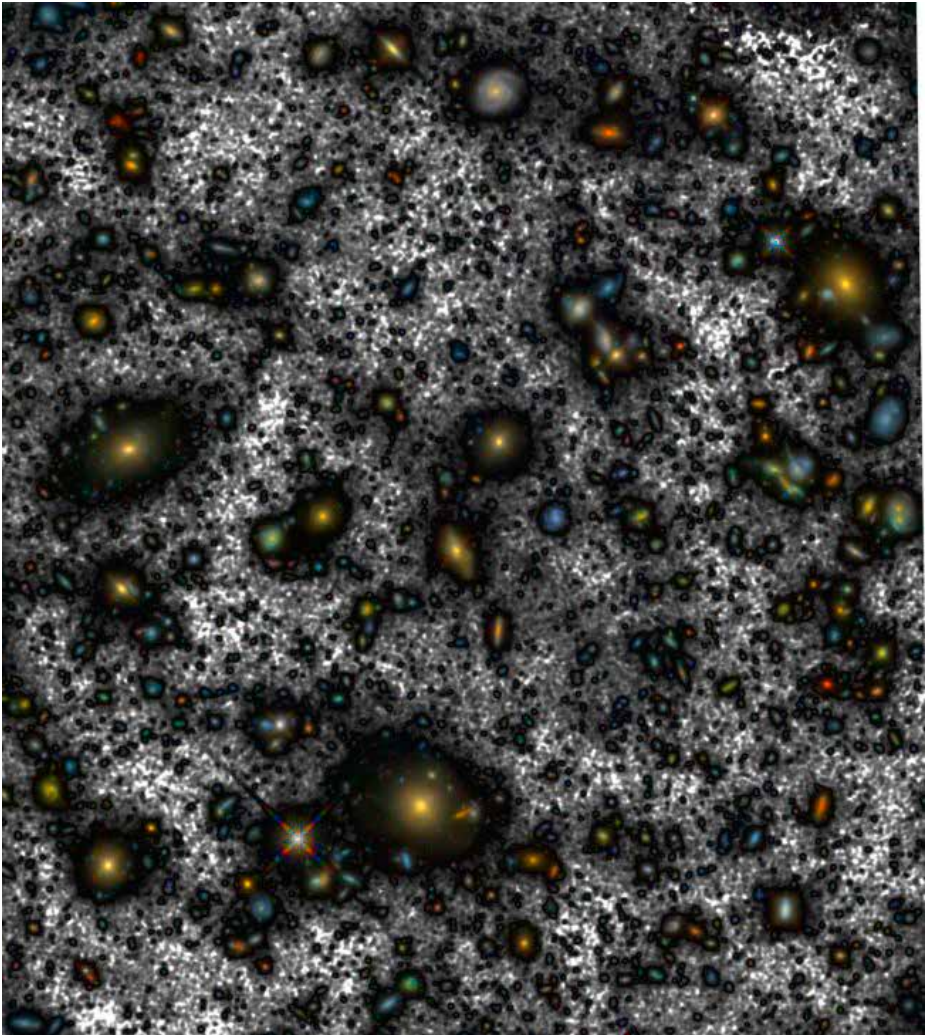
## ***Image profonde***

En traitant des données d'archive du télescope spatial Hubble, les astronomes ont réussi à améliorer l'image du champ ultra-profond HUDF (Hubble Ultra-Deep Field). Ce champ est le résultat de la combinaison d'images obtenues durant 230 heures d'observation. La version originale produite en 2012 n'était cependant pas optimisée pour la détection d'objets étendus. Le nouveau traitement améliore cet aspect, ce qui permet de distinguer des extensions de galaxies faibles. Certaines de ces galaxies apparaissent mainte-

nant près de deux fois plus grandes que précédemment.

Une amélioration essentielle a été la calibration soignée de la caméra WFC3 de Hubble, une caméra installée en 2009 par des astronautes et qui n'avait pu être calibrée sur Terre en combinaison avec le télescope. Cela est maintenant chose faite après analyse de milliers d'images de différentes régions du ciel.

***Le champ ultra-profond de Hubble revisité.  
(ABYSS HUDF WFC3/IR project)***



### ***Quasar record***

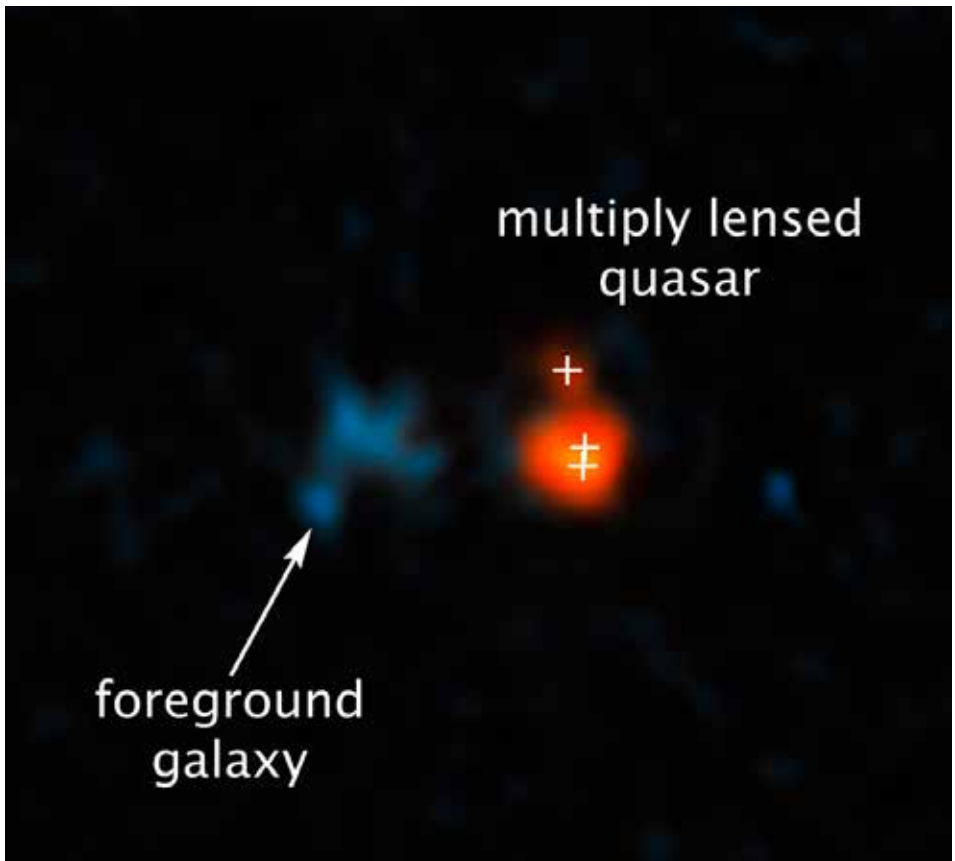
Les astronomes viennent de trouver l'astre le plus brillant parmi ceux peuplant l'Univers âgé d'environ un milliard d'années. Il s'agit bien sûr d'un quasar, le noyau d'une galaxie excitée par un trou noir supermassif et glouton, dévorant tout ce qui passe à proximité.

Malgré sa grande distance, ce quasar a pu être observé grâce à la gravitation d'une galaxie située sur la ligne de visée. Son image est déformée et amplifiée une cinquantaine de fois par cet effet de lentille gravitationnelle.

Aussi brillant que 600 milliards de soleils, il semble bien que ce quasar, connu sous l'appellation de J043947.08+163415.7, ait éta-

bli un record qui tiendra longtemps, ce qui en fait une cible de choix pour de futures études. Son trou noir supermassif pèse des centaines de millions de fois autant que le Soleil. Il se trouve au cœur d'une galaxie qui est seulement en train de se former. On a là l'occasion d'étudier le rôle des trous noirs supermassifs dans la formation d'étoiles et de galaxies dans l'Univers jeune.

*Image obtenue par le télescope spatial Hubble du quasar J043947.08+163415.7, amplifié 50 fois et séparé en trois par une galaxie lentille gravitationnelle. (NASA, ESA, and X. Fan/University of Arizona)*







On estime que dix mille nouvelles étoiles apparaissent chaque année dans J043947.08+163415.7. Elles échauffent les poussières environnantes ce qui rend le quasar très brillant dans le domaine submillimétrique. Les astronomes ont ainsi pu l'observer avec le radiotélescope James Clerk Maxwell au Mauna Kea (Hawaii).

On voit cet astre dans une période de transition de l'Univers, la réionisation, lorsque les nouvelles galaxies et les quasars ont entrepris de réchauffer et d'ioniser l'hydrogène qui s'était rapidement refroidi après le Big Bang.

On identifie généralement les quasars lointains par leur couleur rouge due non seulement au décalage Doppler, mais à l'absorption par des nuages diffus intergalactiques. Certains quasars peuvent paraître plus bleus s'ils se trouvent sur la ligne de visée d'une galaxie proche. Il reste donc peut-être des quasars lointains à découvrir, qui ont échappé jusqu'ici à la sagacité des astronomes.

J043947.08+163415.7 a été trouvé grâce à la combinaison d'observations photométriques du survey « United Kingdom Infrared Telescope Hemisphere » et de Pan-STARR1 (Panoramic Survey Telescope and Rapid

*Impression d'artiste du quasar  
J043947.08+163415.7.  
(ESA/Hubble, NASA,  
M. Kornmesser)*

Response System) dans le domaine visible et de données d'archive du survey « Wide-field Infrared Survey Explorer » dans l'infrarouge.

L'astre a ensuite été étudié avec les télescopes terrestres MMT (Multi-Mirror Telescope), Gemini et Keck qui ont révélé la présence de la galaxie lentille. Avec ses images très fines, le télescope spatial Hubble a permis de confirmer qu'il y avait bien un quasar image par une galaxie lentille gravitationnelle.

Des spectres obtenus au VLT de l'ESO sont maintenant analysés, et des observations sont prévues avec le réseau ALMA et, sans doute un jour avec le futur télescope spatial James Webb qui devrait permettre de voir la proximité du trou noir et le mouvement des étoiles et du gaz à moins de 150 années-lumière de lui.