



L'astronomie dans le monde

*Vue d'artiste de la surface de la planète Barnard b.
(ESO/M. Kornmesser)*

Étoile de Barnard

Basé sur un communiqué ESO

Une planète a probablement été découverte autour de l'étoile de Barnard grâce aux campagnes Red Dots et CARMENES axées sur la recherche de planètes rocheuses voisines, et qui récemment ont permis la découverte d'un nouveau monde autour de notre plus proche voisine, Proxima Centauri (le membre mineur du triplet d'alpha Centauri)¹. Barnard b est ainsi la seconde exoplanète la plus proche de nous. La probabilité qu'il s'agisse bien d'une planète est estimée à 99%, le risque que les variations observées soient dues au comportement de l'étoile étant très faible.

1 Les instruments utilisés dans le cadre de cette étude sont : HARPS installé sur le télescope de 3,6 mètres de l'ESO; UVES sur le VLT de l'ESO; HARPS-N sur le Télescope National Galileo; HIRES sur le télescope Keck de 10 mètres; PFS sur le télescope Magellan de 6,5 mètres de Carnegie; APF sur le télescope de 2,4 mètres de l'Observatoire Lick; et CARMENES à l'Observatoire Calar Alto. En outre, des observations ont été effectuées au moyen du télescope de 90 cm installé à l'Observatoire Sierra Nevada, du télescope robotique de 40 cm de l'Observatoire SPACEOBS, et du télescope Joan Oró de 80 cm de l'Observatoire Astronomique Montsec (OadM).

Les données acquises suggèrent qu'elle est une super-Terre, d'une masse supérieure à 3,2 masses terrestres, et d'une période orbitale voisine de 233 jours.

L'étoile de Barnard est une naine rouge, froide, peu massive, peu lumineuse qui n'éclaire que faiblement ce monde nouvellement découvert. En effet, cette planète située à 0,4 ua de l'étoile ne reçoit de celle-ci que 2% de l'énergie que la Terre reçoit du Soleil.

La température à la surface de ce monde obscur ne serait que de -170°C , ce qui la rendrait inhospitalière pour la vie telle que nous la connaissons.

Baptisée en l'honneur de l'astronome E. E. Barnard, l'étoile de Barnard est l'étoile simple la plus proche du Soleil. Probablement deux fois plus âgée que notre Soleil, et relativement inactive, elle est animée d'un mouvement apparent supérieur à celui des autres étoiles peuplant le ciel nocturne.

Les super-Terres sont les planètes les plus communément découvertes autour d'étoiles de faible masse comme l'étoile de Barnard, ce qui accrédite ce candidat plané-



Cette image à grand champ illustre le mouvement de l'étoile de Barnard dans la constellation d'Ophiuchus. La composition de trois images du Digitized Sky Survey 2 révèle l'étoile comme trois points distincts, rouge, jaune et bleu.

L'étoile de Barnard parcourt une distance équivalant au diamètre de la Lune en l'espace de 180 ans – cela peut sembler peu, mais c'est de loin le mouvement apparent le plus rapide caractérisant toutes les étoiles connues. (ESO/Digitized Sky Survey 2 ; Davide De Martin)

taire nouvellement découvert. En outre, les théories actuelles relatives à la formation planétaire placent Barnard b dans la zone idéale de formation de telles planètes.

Les recherches antérieures de planètes autour de l'étoile de Barnard s'étaient révélées infructueuses. Cette découverte récente a été permise par l'utilisation combinée de données issues de plusieurs instruments de haute précision installés sur des télescopes du monde entier.

Les astronomes ont utilisé l'effet Doppler pour détecter le candidat exoplanète. En orbitant autour de son étoile hôte, la planète exerce une attraction gravitationnelle qui se traduit par l'oscillation de l'étoile. Lorsque l'étoile s'éloigne de la Terre, son spectre se décale vers le rouge – en d'autres termes, vers de plus grandes longueurs d'onde. À l'inverse, lorsque l'étoile se rapproche de la Terre, la

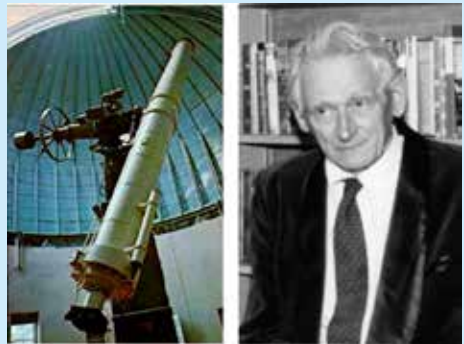
lumière qu'elle émet se décale vers des longueurs d'onde plus courtes – vers le bleu en l'occurrence.

Les astronomes utilisent cet effet pour déterminer, avec une extrême précision, les variations de vitesse de l'étoile générées par la présence d'une exoplanète. En effet, l'instrument HARPS est capable de détecter des variations de vitesse stellaire de l'ordre de 3,5 km/h – ce qui correspond à la vitesse d'un marcheur. Cette méthode de recherche des exoplanètes est connue sous l'appellation de méthode des vitesses radiales. Jusqu'à présent, elle n'avait jamais été utilisée pour détecter une exoplanète de type super-Terre située à une si grande distance de son étoile hôte.

Outre son mouvement propre exceptionnel, l'étoile de Barnard doit sa célébrité au fait qu'on lui avait déjà attribué un cortège de planètes. Des perturbations dans sa trajectoire sur le ciel avaient conduit Peter van de Kamp à proposer dès 1963 la présence d'une ou plusieurs planètes de masse comparable à celle de Jupiter. Les observations qui s'étaient sur un quart de siècle étaient très minutieuses et l'astronome hollandais avait une grande confiance dans son hypothèse. En 1985, après un demi-siècle d'observation, van de Kamp continuait d'affirmer l'existence de deux planètes comparables à Jupiter avec des orbites de 11,5 et 22 ans.

Malheureusement il fallut déchanter. Les observations ultérieures, dont certaines réalisées avec le télescope spatial Hubble ne purent confirmer les irrégularités astrométriques. Les perturbations n'étaient que des effets instrumentaux. De fait, la

planète que l'on vient de découvrir est nettement plus légère que les deux objets de van de Kamp et son orbite beaucoup plus petite.



Peter van de Kamp (1901-1995) et la lunette de 61 cm de l'observatoire de Sproul avec laquelle il observa l'étoile de Barnard.

Virgae sur Dioné et Rhéa

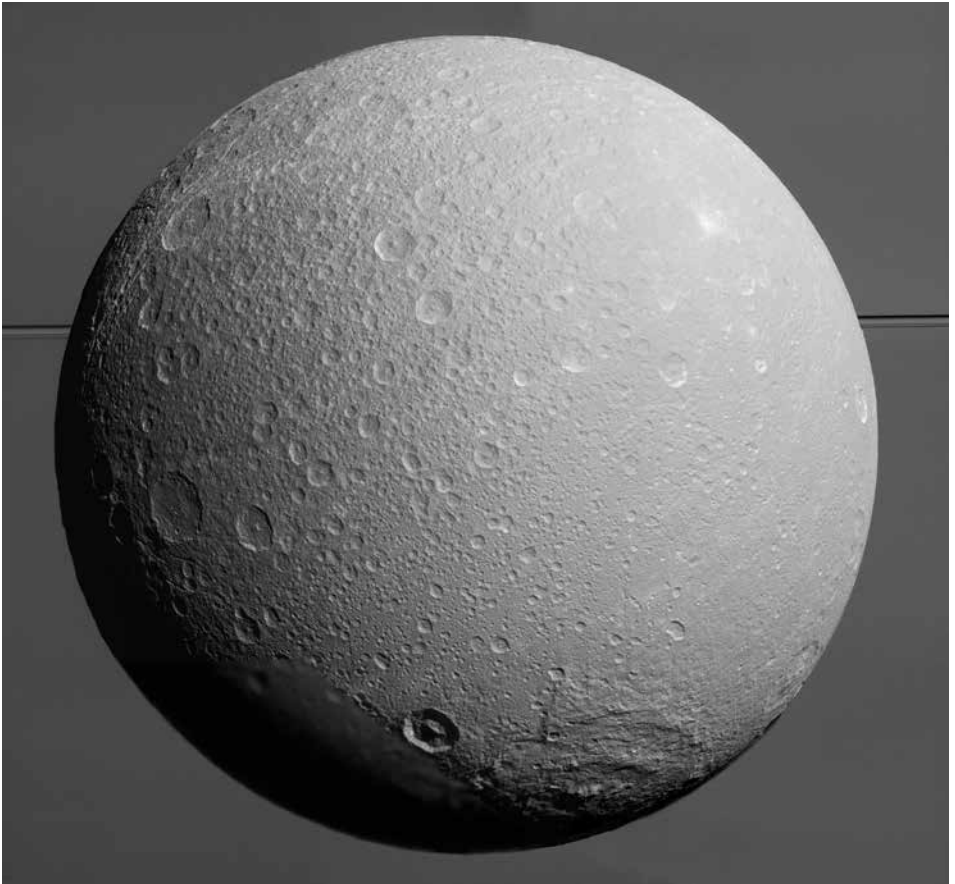
Avec plus de mille kilomètres de diamètre, Dioné est l'un des principaux satellites de Saturne. Il fut découvert, ainsi que Téthys, Rhéa et Japet, par Jean-Dominique Cassini trente ans après que Huygens eut trouvé Titan. Cassini nomma ses quatre lunes « Sidera Lodoicea » en honneur du roi Louis XIV, une appellation qui connut moins de succès que celle des satellites galiléens de Jupiter.

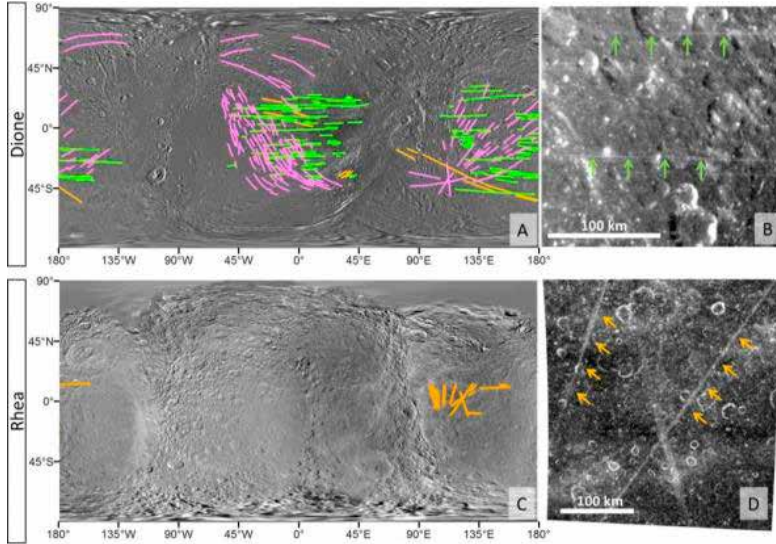
C'est un autre Cassini, un vaisseau spatial cette fois, qui a mis en évidence de longues traces rectilignes (mesurant des dizaines ou des centaines de kilomètres), minces (de 0,5 à 2 kilomètres de largeur) et brillantes, sur Dioné

et Rhéa. On leur a attribué le nom de virga (pluriel virgae) signifiant baguette en latin.

Encelade montre une candidate et Titan arbore aussi des lignes un peu similaires, mais elles sont sombres, marquées par des zigzags, et probablement d'origine tectonique endogène. Les virgae de Dioné sont parallèles à l'équateur et traversent sans anicroche les

Dioné, sur fond de Saturne et de ses anneaux, photographiée par la sonde Cassini en août 2015. En bas à droite le grand bassin d'impact Evander. (NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute)





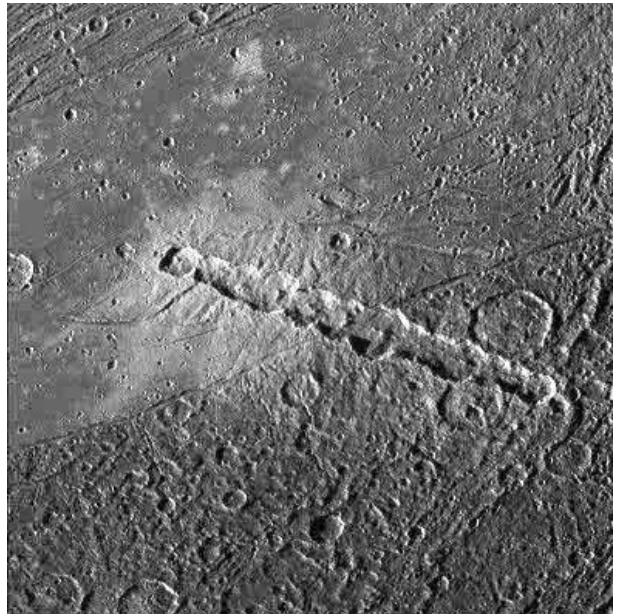
Répartition des virgae sur Dioné (en haut) et Rhéa. En vert les virgae rectilignes, en orange les virgae potentielles et en rose les rayons émanant de cratères. Les panneaux de droite montrent des vues détaillées. (Roatsch et al., 2008, 2012)

Image obtenue par Galileo de la catena Enki sur Ganymède, le plus gros satellite du Système solaire. La chaîne de 13 cratères provient d'une comète fragmentée par l'attraction de Jupiter. (Galileo Project, Brown University, JPL, NASA)

accidents de terrain ce qui suggère qu'elles sont jeunes et d'origine exogène.

On pense qu'elles résultent de l'accumulation de matériaux provenant des anneaux de Saturne, de comètes occasionnelles, ou des petits satellites co-orbitaux de Dioné, Héléne et Polydeuces.

On ne connaît pas de virgae sur les satellites galiléens de Jupiter. On y voit par contre des chaînes de cratères (catenae) dues à l'impact de débris de comètes désintégrées. Les catenae sont plus larges et moins longues que les virgae, mais peut-être participent-elles du même processus. Toujours est-il que les moyens existent pour transférer des matériaux sur des mondes susceptibles d'abriter la vie dans des océans souterrains.



Les rainures de Phobos

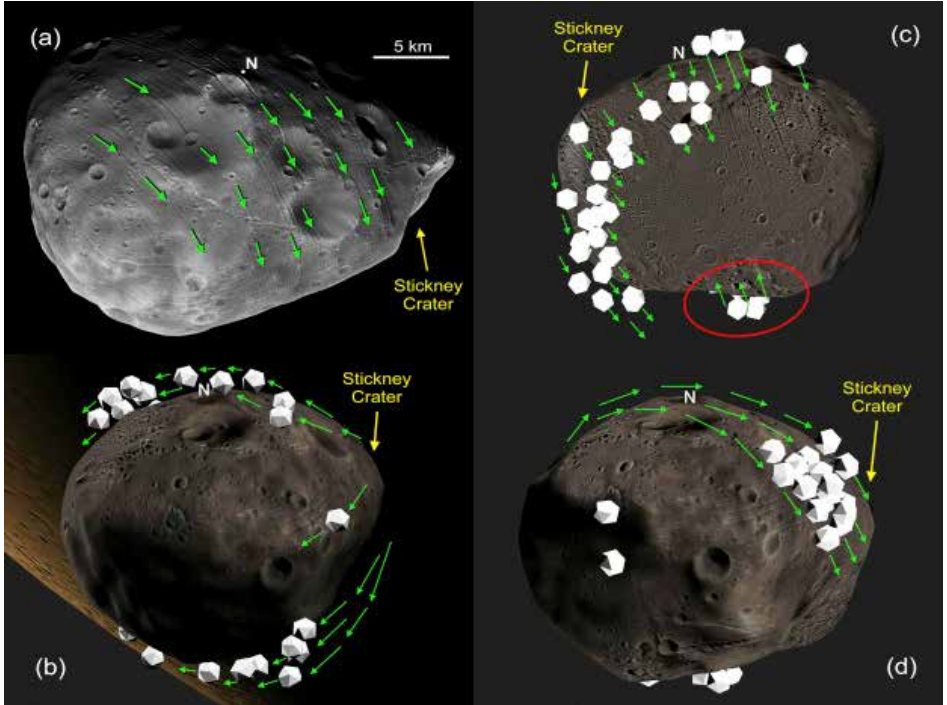
Les curieuses rainures qui strient le petit satellite de Mars, Phobos, semblent bien dues à des roches qui ont roulé après la collision d'un astéroïde. La modélisation des trajectoires des débris projetés lors de l'impact qui a formé le cratère Stickney montrent qu'ils ont bien pu dessiner ce réseau de rayures qui recouvre la plus grande partie du satellite.

Ces traces sont une des spécificités de Phobos et elles intriguent les planétologues depuis 40 ans. Elles ont été découvertes dans les années 70 par les missions Mariner et

Viking. Les explications proposées évoquaient les retombées d'impacts mais aussi les effets de marée de Mars qui peuvent stresser le petit astre. Dès la fin des années 70 on pointait déjà le cratère Stickney comme suspect principal ; il est vrai que la création d'un cratère de 9 kilomètres sur un objet de 27 kilomètres n'a pas dû se faire sans conséquences. De nombreux débris ont dû retomber et rouler. Cette hypothèse n'était cependant pas sans failles.

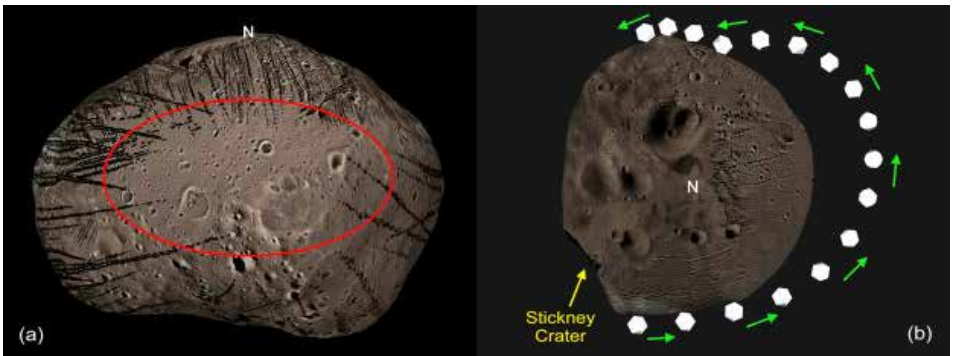
***Phobos est sillonné de rainures sur une grande partie de sa surface.
(NASA/JPL-Caltech/University of Arizona)***

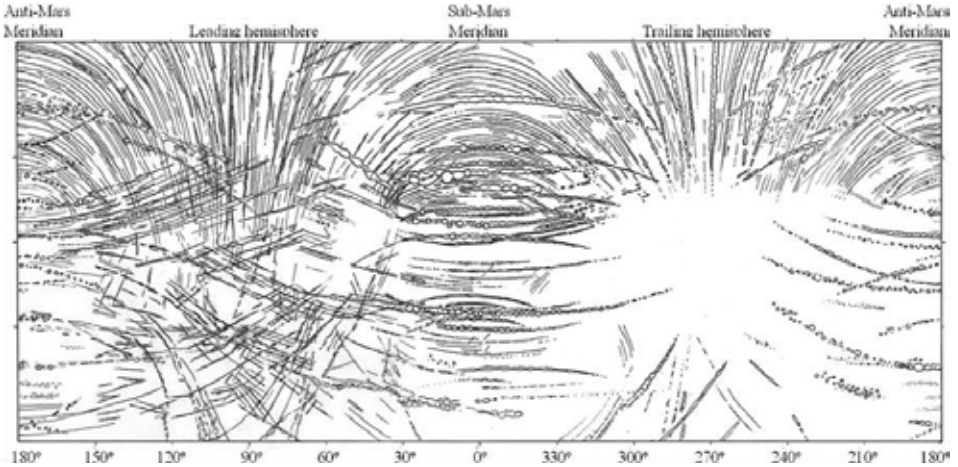




*Modélisations de trajectoires de débris de l'impact de Stickney.
(K.R. Ramsley & J.W.Head, 2018)*

*Les simulations montrent comment les rochers sautent par-dessus une dépression et la laissent intacte.
(K.R. Ramsley & J.W.Head, 2018)*





Ainsi, les rainures ne semblent pas toutes émaner du cratère alors qu'on s'attendrait à une distribution radiale comme pour les éjecta des cratères lunaires. Certaines rainures se croisent et se superposent, ce qui semble impossible pour un événement unique. Le cratère Stickney est lui-même traversé de quelques raies, suggérant qu'il était déjà là lors de leur formation. Finalement, il y a un endroit totalement dépourvu de rainures, une tache aveugle. Pourquoi les rochers auraient-ils évité cette zone ?

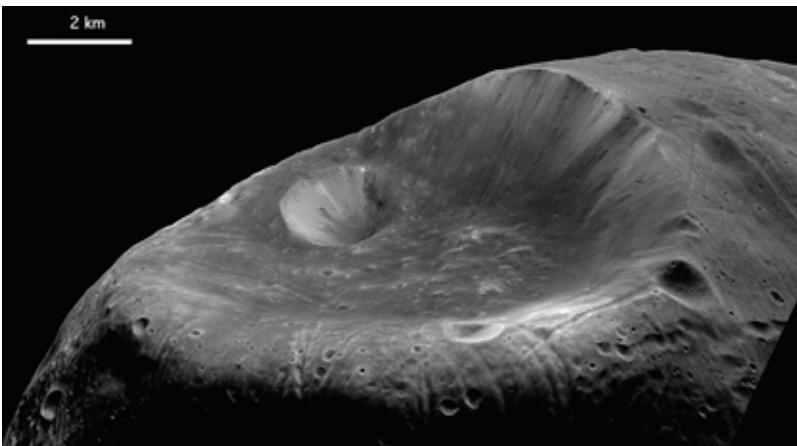
Pour élucider le problème, les astronomes ont modélisé les trajectoires des éjecta de Stickney en tenant compte de la forme et

Cartographie des rainures de Phobos.
(John Murray CEPSAR Centre for Earth, Planetary, Space & Astronomical Research, The Open University)

de la topographie de Phobos, de sa rotation et de la gravité martienne. Les résultats sont en accord avec ce que l'on observe. Les simulations montrent qu'en raison de la faible gravité de Phobos, les rochers ne se sont pas arrêtés après quelques centaines de mètres mais ont continué à rouler et rebondir sur de longues distances, faisant parfois le tour complet de Phobos, ce qui explique les traces laissées sur

le cratère ainsi que les superpositions. La tache aveugle s'explique aussi très facilement : il s'agit d'une dépression et les débris l'ont tout simplement survolée avant de retrouver la terre ferme de l'autre côté.

Le cratère Stickney vu par Mars Global Surveyor.
(NASA / JPL / MSSS)



InSight

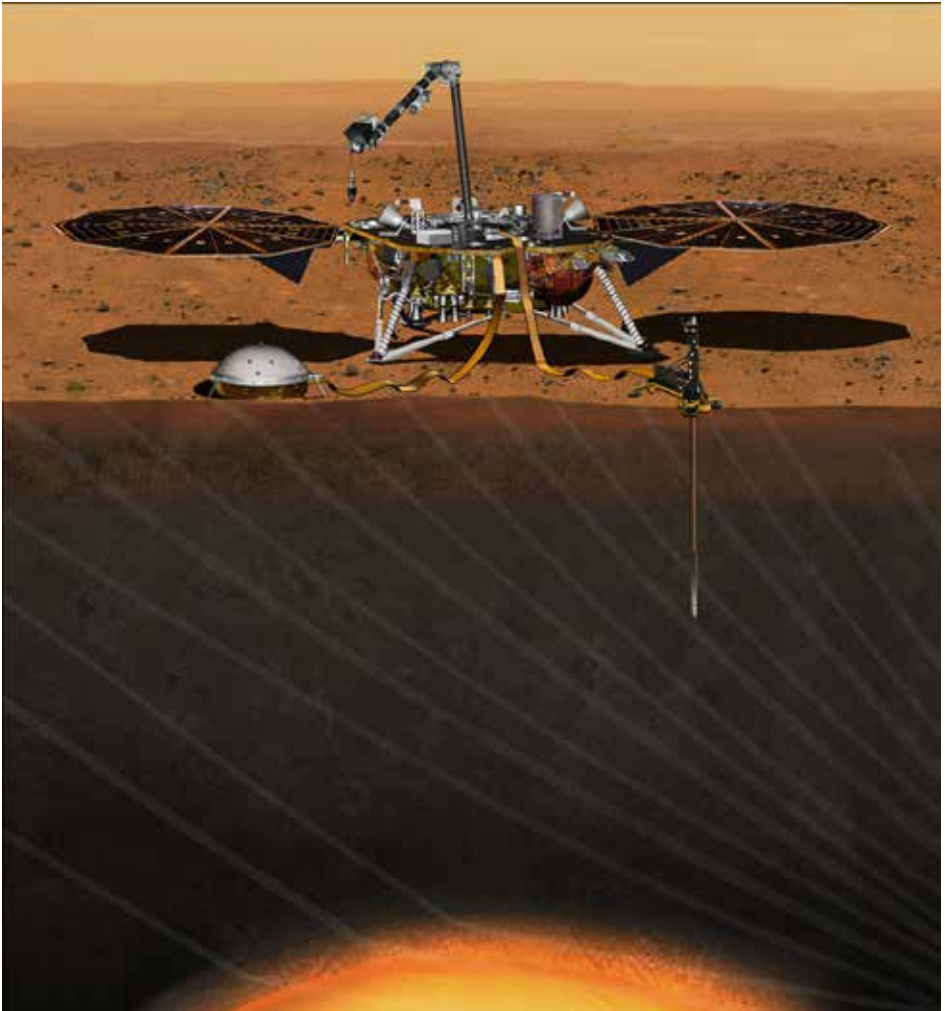
Basé sur des communiqués CNRS et NASA

Le 26 novembre, l'atterrisseur InSight (INterior exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transport) s'est posé sur Mars, dans la partie ouest de la plaine Elysium Planitia. À son bord se trouvent une sonde allemande mesurant les flux de chaleur et le sismomètre français SEIS

(Seismic Experiment for Interior Structure), instrument principal de la mission.

Lancée dans la nuit du 5 mai dernier depuis la base spatiale de Vandenberg en Californie, InSight entame ainsi une mission de deux ans pour en apprendre plus sur la structure interne de la Planète rouge et contribuer à répondre à la question que se posent

***Vue d'artiste d'InSight.
(NASA)***





Autoportrait d'InSight réalisé peu après son arrivée avec la caméra IDC (Instrument Deployment Camera) fixée sur un bras robotique. (NASA/JPL-Caltech)

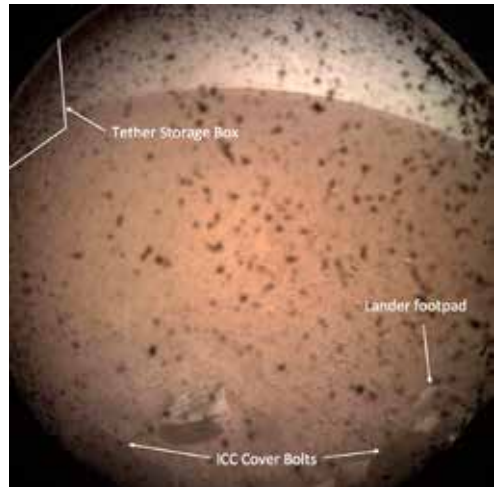
tous les planétologues : Mars a probablement été habitable mais a-t-elle été habitée ?

InSight est la 12^e mission du programme Discovery de la NASA, à laquelle participent le CNES et le DLR, l'agence spatiale allemande. Son objectif scientifique est de mieux comprendre la structure interne de Mars, comment la planète s'est formée et comment elle a évolué jusqu'à devenir un désert glacé. Grâce à des instruments sophistiqués de géophysique, encore jamais utilisés sur Mars, InSight va mesurer l'activité sismique de la Planète rouge, son flux de chaleur interne (la sonde devrait s'enfoncer de 3 à 5 mètres sous terre) et les subtiles variations de sa vitesse de rotation qui devraient permettre d'estimer la taille du noyau de la planète. De nombreux scientifiques avancent l'hypothèse qu'un environnement similaire à celui de la Terre a existé sur Mars au début de son histoire, avant qu'elle devienne la planète morte que l'on connaît.

L'alimentation électrique d'InSight est assurée par deux panneaux photovoltaïques de 2 m 20 de large qui lui fournissent au mieux de 600 à 700 watts. Les photos prises au début permettront de choisir les endroits où le bras robotique pourra déployer les instruments

scientifiques – une première. Il faudra deux à trois mois avant que leurs données commencent à être envoyées

vers la Terre. En attendant, les sondes météo et le magnétomètre surveillent les conditions du site.



La première image a été prise avec la caméra située sous la sonde. Elle était encore munie de sa coiffe qui la protégeait des poussières soulevées à l'atterrissage. (NASA/JPL-Caltech)

Lune miroir

Le réseau MWA (Murchison Widefield Array) a été utilisé pour rechercher l'émission des atomes d'hydrogène dans l'Univers primitif, avant la formation des étoiles et des galaxies, une époque que l'on appelle l'âge sombre cosmique du fait de l'absence de rayonnement dans le domaine visible.

Le signal radio est très faible comparé aux sources plus proches comme les électrons de notre galaxie, ou les trous noirs supermassifs. Il faut aussi s'affranchir de divers effets instrumentaux et interférences radio.

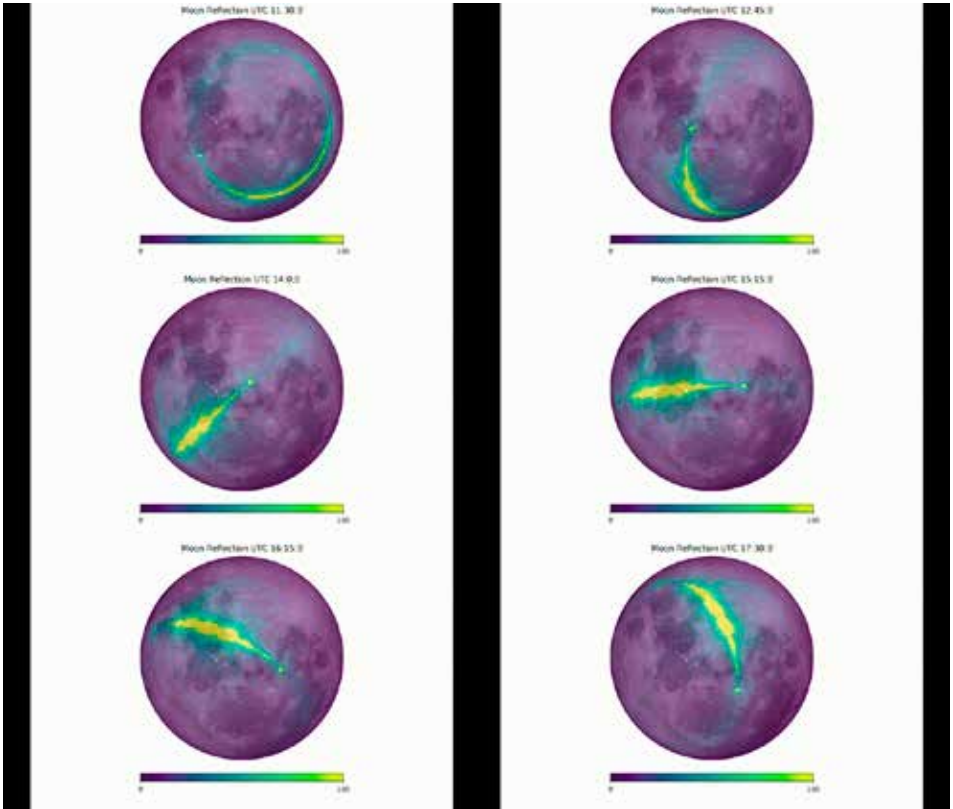
Une solution est apportée par la Lune qui fournit un point de référence de forme et

de brillance radio connue. La calibration n'est cependant pas immédiate car, en bon miroir convexe, la Lune réfléchit les ondes radio provenant de toutes les directions et, en particulier celles émises depuis notre planète, le « clair de Terre », mais aussi, comme le montre l'image de la page suivante, la Voie lactée. Une fois corrigée de ces effets, la luminosité de la Lune peut être utilisée comme point de comparaison.

Un élément du Murchison Widefield Array en Australie Occidentale. Le réseau est composé de 256 de ces groupes de 16 araignées, éparpillés sur une surface de 6 kilomètres de diamètre.

(Natasha Hurley-Walker)





*Les ondes radio de la Galaxie se réfléchissent sur la surface de notre satellite. La séquence d'images ci-dessus a été obtenue avec le réseau MWA (Murchison Widefield Array) depuis l'outback de l'Australie Occidentale. L'image de la Lune a été prise en lumière visible.
(Dr Ben McKinley, Curtin University/ICRAR/ASTRO 3D; NASA/GSFC/Arizona State University)*

(suite page 34)

Apep

Basé sur un communiqué ESO

L'instrument VISIR qui équipe le Very Large Telescope de l'ESO a capturé cette jolie image d'un système stellaire triple qui pourrait être la source de l'un des phénomènes les plus énergétiques de l'Univers – un sursaut gamma de longue durée (GRB).

Le système, composé d'un cocon d'étoiles massives entouré de poussière, apparaît dans les catalogues sous la référence 2XMM J160050.7-514245, mais les astronomes l'ont baptisé « Apep ». Apep tire son appellation de sa forme sinueuse, évoquant celle d'un serpent enroulé autour des étoiles centrales. Son homonyme était une divinité du panthéon égyptien, représentée sous l'aspect d'un serpent incarnant le chaos – figuration digne d'un système particulièrement violent. Les anciens Égyptiens pensaient que Rê, le dieu Soleil, combattait chaque nuit Apep ; la prière et le culte permettaient à Rê d'emporter la victoire, et de réapparaître chaque matin dans les lueurs de l'aube.

Les sursauts gamma figurent parmi les explosions les plus puissantes de l'Univers. D'une durée variant de quelques millièmes de seconde à plusieurs heures, ils sont susceptibles de libérer autant d'énergie que le Soleil durant l'intégralité de son cycle de vie. Les sursauts gamma de longue durée – supérieure à 2 secondes – sont générés par les explosions en supernovæ d'étoiles Wolf-Rayet en rotation rapide.

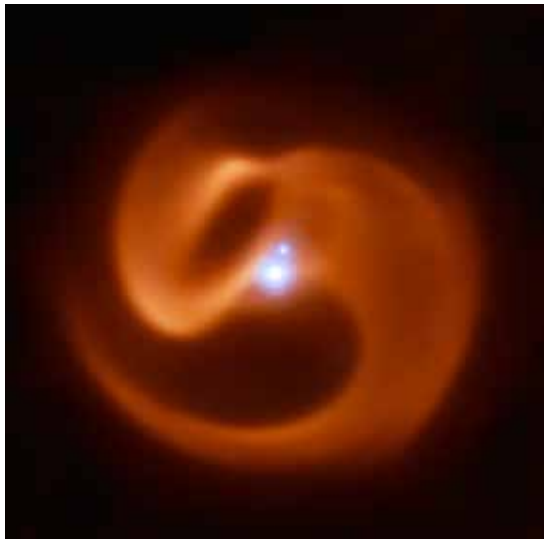
Certaines des étoiles les plus massives évoluent, vers la fin de leur vie, en étoiles de type Wolf Rayet. Cette phase est de courte durée – quelques centaines de milliers d'années seulement, soit un très court instant à l'échelle cosmologique. Au cours de cette phase, elles expulsent de grandes quantités de matière sous la forme de puissants vents stellaires, atteignant des vitesses de plusieurs millions de kilomètres par heure – 12 millions de km/h dans le cas d'Apep.

Ces vents stellaires ont généré les panaches qui entourent le système d'étoiles triple – composé d'un couple de Wolf-Rayet et d'un compagnon. Cette binaire est responsable de la sculpture tourbillonnaire qui entoure Apep par suite des collisions des vents stellaires émis par les étoiles de Wolf-Rayet.

Comparée aux vents issus d'Apep, la poussière se déplace à des vitesses peu élevées, inférieures à 2 millions de km/h. L'énorme différence de vitesses qui caractérisent les vents stellaires issus d'Apep et la poussière périphérique résulte vraisemblablement de l'échappement, dans des directions différentes, d'un vent rapide et d'un vent lent d'une même étoile du système binaire.

L'étoile subirait une rotation quasi-critique – sa rotation trop rapide l'entraînerait vers une dislocation fatale. Une étoile de type Wolf-Rayet dotée d'une rotation si rapide est susceptible de produire un sursaut gamma de longue durée lorsqu'en fin de vie son noyau s'effondre.

Le moulinet d'Apep a été observé au VLT avec VISIR. Le système stellaire situé au centre a été photographié avec NACO. L'étoile inférieure est le couple de Wolf-Rayet. (ESO/Callingham et al.)



CI Tauri

On connaissait CI Tauri comme la première étoile très jeune – deux millions d’années – accompagnée d’une jupiter chaude et d’un disque protoplanétaire massif. Il faut croire que ce disque est bien efficace car on y a découvert trois autres géantes – un nouveau record pour une étoile jeune.

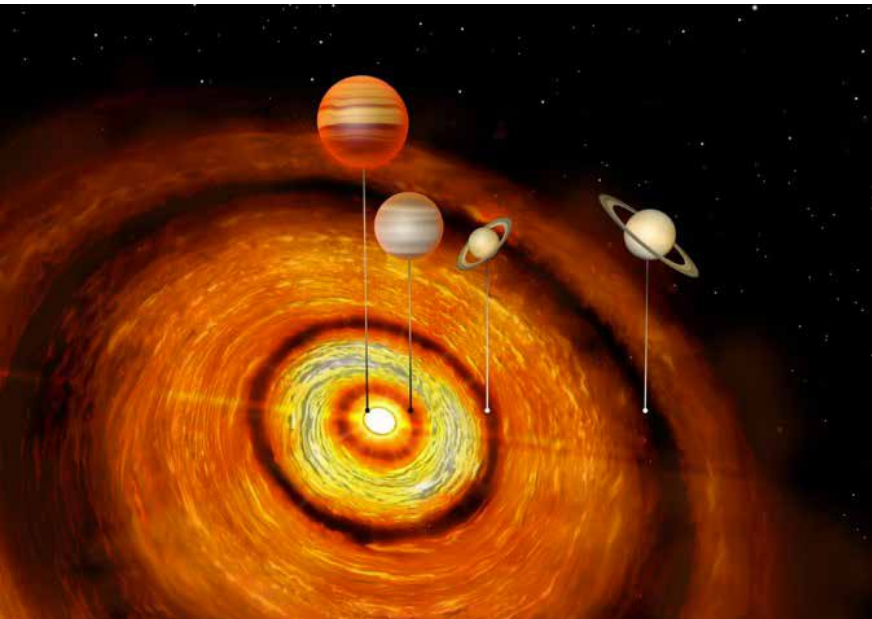
C’est aussi le système avec la palette la plus extrême d’orbites : la planète la plus lointaine de l’étoile en est mille fois plus éloignée que la plus proche, ce qui pose quelques problèmes aux théoriciens. La planète la plus interne se meut sur une orbite plus petite que celle de Mercure tandis que la plus externe est à trois fois la distance de Neptune. Les deux plus internes sont une et dix fois plus massives que Jupiter tandis que les deux autres sont comparables à Saturne.

Les planètes n’ont pas été observées directement, ni par des transits, ni par des variations de vitesse radiale. C’est la présence de trois divisions dans le disque circumstellaire révélées par le réseau ALMA qui a incité les

astronomes, munis de leurs modèles, à imaginer les trois nouvelles planètes.

Une étoile sur cent possède bien une jupiter chaude, mais la plupart de ces étoiles sont des centaines de fois plus vieilles que CI Tau. Elles ne sont plus entourées d’un disque de poussière massif de sorte qu’il est impossible d’y détecter d’éventuelles planètes lointaines par le biais d’une structure en anneaux. Peut-être de tels systèmes avec plusieurs géantes sont-ils plus courants qu’on le pense.

L’existence même des jupiters chaudes pose un problème aux théoriciens. Elle sont trop proches de l’étoile pour s’être formées à cet endroit. D’autres planètes géantes plus éloignées, comme celles de CI Tau, ont-elles joué un rôle dans la migration de l’une d’elles vers l’étoile centrale ? La formation de planètes de type Saturne très loin de CI Tau pose aussi un problème. Selon les modèles actuels, ces planètes forment d’abord un noyau solide par accumulation progressive et ensuite acquièrent une enveloppe de gaz. Ces processus sont très lents, trop lents pour CI Tau à moins d’un chamboulement des orbites.



Impression d'artiste du système de CI Tauri. (Amanda Smith, Institute of Astronomy)

Les données d'ALMA montrent des divisions dans le disque protoplanétaire entourant l'étoile jeune CI Tauri. (Clarke et al.)

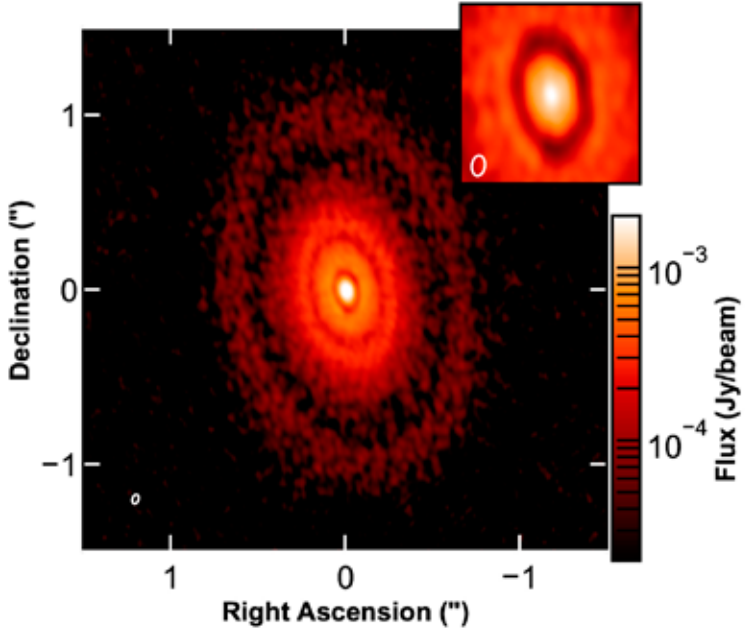
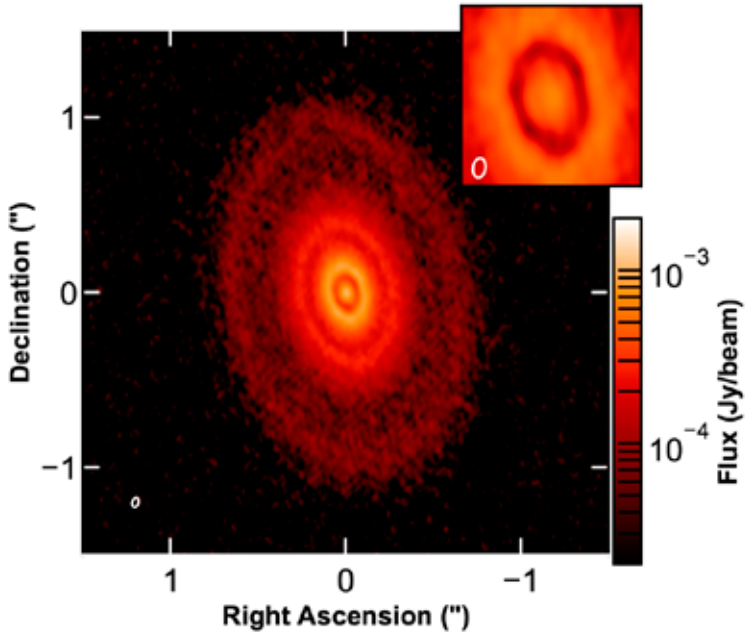


Image synthétique du disque de CI Tau basée sur un modèle hydrodynamique. (Clarke et al.)



SN 1987A

La supernova apparue dans le Grand Nuage de Magellan est certainement l'un des objets les plus étudiés par les astronomes. Elle a été suivie sans relâche par de nombreux télescopes au sol et dans l'espace, et ce, dans tous les domaines de longueurs d'onde. Les observations faites depuis 1992 par le réseau de radiotélescopes ATCA (CSIRO Australia Compact Telescope Array) à l'observatoire Paul Wild (New South Wales) ont été réunies pour créer une séquence time-lapse de l'enveloppe en expansion (cf. page suivante).

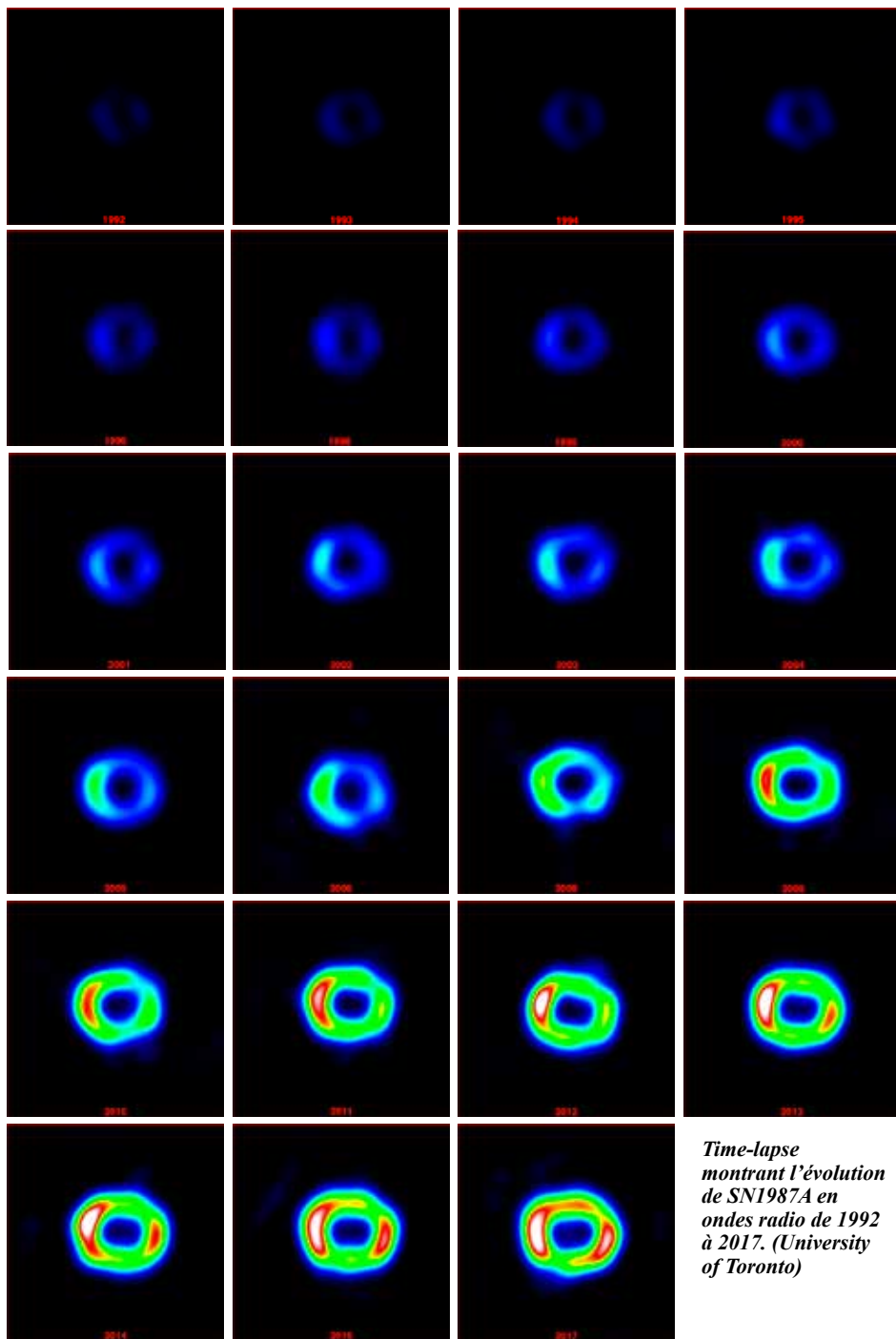
Cette supernova fut la plus brillante depuis celle de Kepler en 1604, et la seule visible à l'œil nu depuis l'invention du télescope.

Les cartes radio révèlent l'onde de choc qui s'étend et heurte un anneau de débris autour de l'étoile. Elles montrent aussi que les éjecta forment un tore et non un simple disque. Finalement, elles confirment l'accélération de la vitesse d'expansion de l'onde de choc après la collision avec les débris.

Les restes de la supernova du Grand Nuage photographiés par le télescope spatial Hubble.

(NASA, ESA, R. Kirshner/Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics/Gordon et Betty Moore Foundation; M. Mutchler et R. Avila/STScI)





Time-lapse montrant l'évolution de SN1987A en ondes radio de 1992 à 2017. (University of Toronto)

Galaxie têtard

Un petit groupe de galaxies situées à 300 millions d'années-lumière dans la constellation des Poissons est connu sous le nom de HCG98 (le 98^e item du catalogue Hickson de groupes compacts de galaxies). L'aspect étrange des galaxies principales (aussi connues comme NGC 7783) leur a valu d'être incluses dans l'atlas de galaxies particulières d'Alton Arp (Arp 323).

Des images profondes ont révélé des détails sur leurs interactions mutuelles et ont permis d'identifier les restes d'une galaxie s'étendant sur un million d'années-lumière et prenant l'apparence d'un gigantesque têtard, dix fois plus grand que la Voie lactée.

La queue fait à elle seule un demi-million d'années-lumière.

Ce têtard est probablement le résultat de la destruction d'une galaxie naine par ses deux grandes voisines.

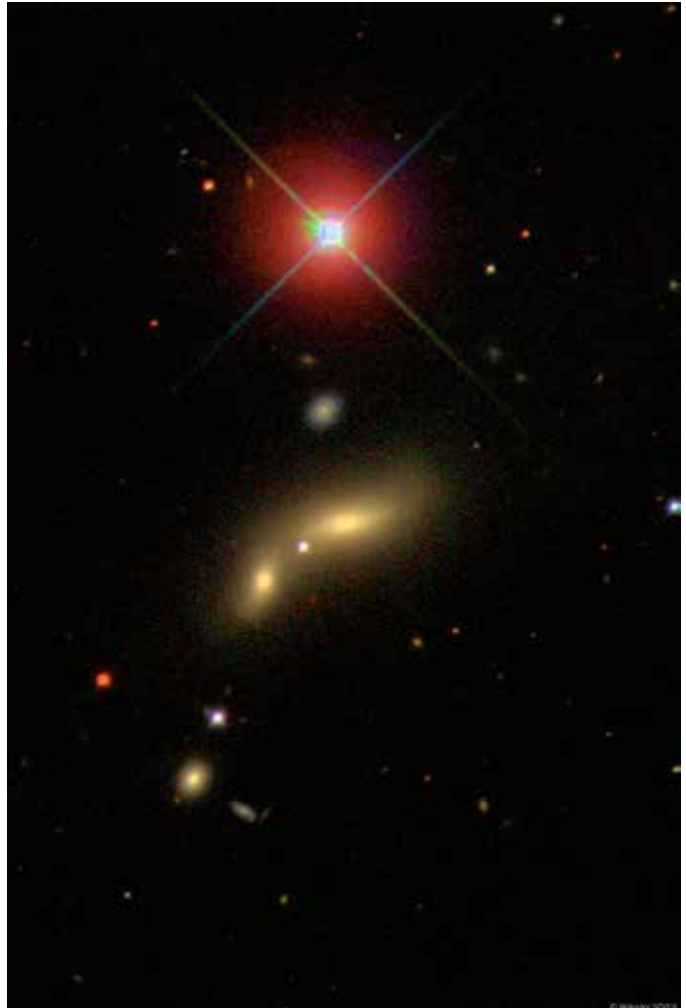
Les observations ont été réalisées en lumière rouge avec deux télescopes de 70 cm dans le cadre du projet HERON (Halos and Environments of Nearby Galaxie Survey).

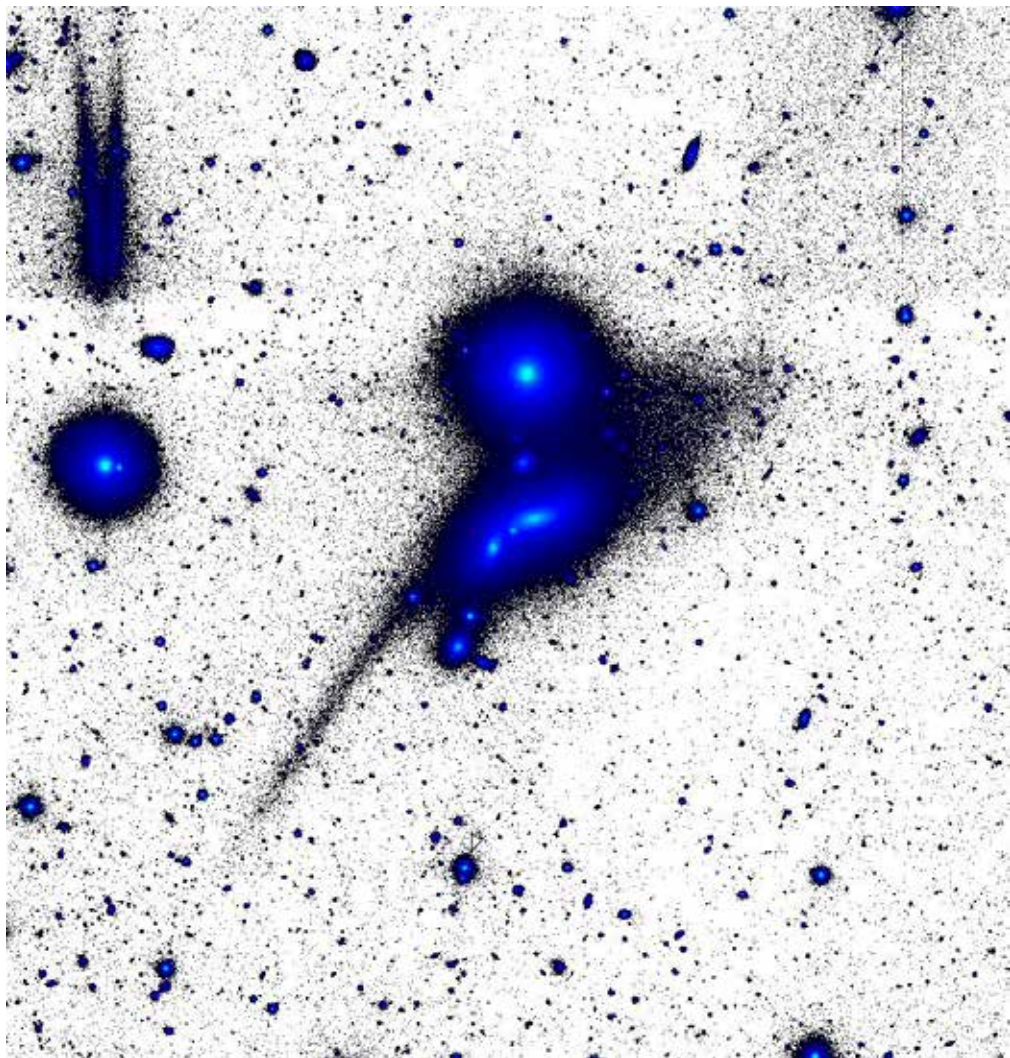
Image du groupe 98 d'Hickson tirée du survey SDSS.

L'étoile rouge du haut est HD223975, beaucoup plus proche.

Les deux galaxies principales sont, en haut à droite HCG98a = NGC7783 = PGC72810 et, en bas à gauche, HCG98b = NGC7783b = PGC72808, qui encadrent SDSS J235411.11 + 002249.6, d'aspect stellaire.

Entre HD223975 et le têtard, on trouve la galaxie UGC12837C, et tout en bas, HCG98c = NGC7783c. (SDSS)





*Le corps du « tard » contient les deux galaxies qui en ont détruit une troisième, beaucoup plus petite, pour former cette structure spectaculaire.
(N. Brosch / Tel Aviv University)*

Antlia 2

Les astronomes ont découvert une nouvelle galaxie satellite de la Voie lactée, cachée derrière celle-ci. Ce sont les données du satellite astrométrique Gaia qui ont permis de l'identifier.

Antlia 2 est techniquement une galaxie naine, même si sa taille est imposante, autant que le Grand Nuage de Magellan, ou le tiers de notre Galaxie. Sa luminosité est par contre très faible, dix mille fois moindre que celle du Grand Nuage. Ce contraste entre taille et éclat en fait un objet unique, très intrigant, un fantôme de galaxie.

Les astronomes ont recherché parmi les données de Gaia des étoiles pulsantes de type RR Lyrae. Ce sont des étoiles vieilles et les galaxies naines sont en principe très vieilles et contiennent ce genre d'étoiles. Un groupement de ces étoiles a particulièrement attiré l'attention. Des mesures de vitesses radiales faites au télescope Anglo-Australien AAT confirment qu'elles sont animées d'un mouvement commun et font partie d'une galaxie distante d'au moins 130 000 années-lumière de la Voie lactée.

La masse d'Antlia 2 est très faible pour sa taille. On peut supposer que les forces de marée de la Voie lactée lui ont arraché de la matière, mais alors la galaxie n'aurait pu que rapetisser et non grandir. On doit donc imagi-

ner qu'à l'origine Antlia 2 était vraiment très grande. Certains astronomes postulent cependant que la formation vigoureuse d'étoiles peut enfler une galaxie naine grâce aux vents stellaires d'étoiles massives et aux supernovæ. Le gaz non utilisé pour créer des étoiles est expulsé, la densité de la galaxie et sa gravité diminuent de sorte que la matière noire s'échappe elle aussi.

Pour qu'un tel scénario fonctionne il faut un épisode de formation stellaire réellement violent. Une autre hypothèse est que les propriétés de la matière sombre ne sont pas telles qu'on les imagine généralement. Ses particules ont peut-être moins tendance à s'attirer qu'on le pense.

Des galaxies quasiment invisibles comme Antlia 2 sont peut-être très nombreuses. Les observateurs s'activent à en découvrir d'autres parmi les données de Gaia. Les propriétés particulières d'Antlia 2, très différentes de celles des galaxies naines habituelles, montrent en tout cas une faiblesse des modèles actuels.

Vue d'artiste de la Voie lactée encadrée par le Grand Nuage de Magellan et Antlia 2. (V. Belokurov ; images par Marcus et Gail Davies et Robert Gendler)



Poussières d'étoiles

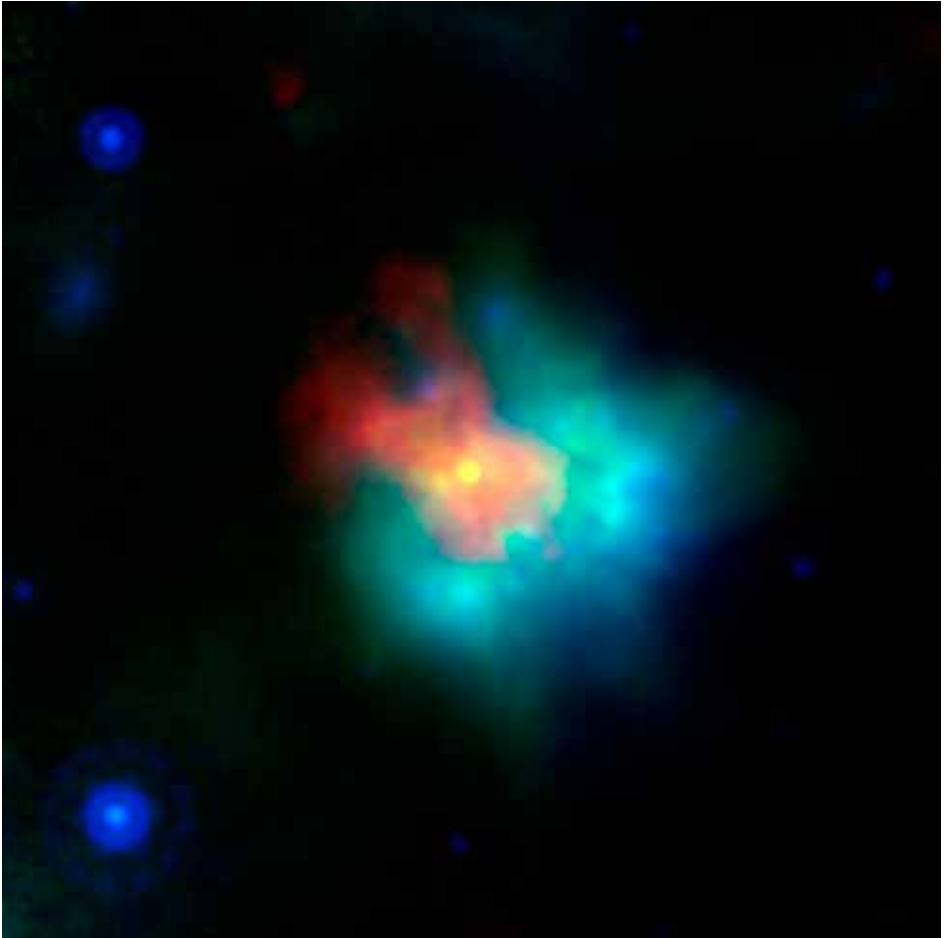
La célèbre expression de Carl Sagan « Nous sommes faits de poussières d'étoiles » se trouve une nouvelle fois validée, et ce par des observations du télescope spatial Spitzer. Celles-ci indiquent que la silice est formée lors de l'explosion des étoiles massives.

La silice (du dioxyde de silicium, SiO_2) compose 60 pour cent de la croûte terrestre. On la rencontre partout autour de nous, dans de nombreuses roches, dans le sable des plages, dans des organismes simples comme les radiolaires, les éponges, mais aussi dans

Vue composite en radio, infrarouge et X des restes de supernova G54.1+0.3. Le point jaune saturé au centre de l'image est le pulsar créé par la supernova et émettant abondamment en rayons X.

Le rouge correspond aux observations radio du Karl G. Jansky Very Large Array. Le vert correspond à la longueur d'onde 70 microns observée avec le télescope spatial Herschel, le bleu aux 24 microns du télescope spatial Spitzer. Le jaune est dû au télescope spatial X Chandra.

(NASA/JPL-Caltech/CXC/ESA/NRAO, J. Rho/SETI Institute)



l'espace, dans les météorites, les poussières interstellaires. On l'utilise beaucoup dans l'industrie, le béton, le verre et elle est essentielle dans les composants électroniques.

On sait que de la silice est produite par les étoiles AGB, c'est-à-dire se trouvant sur la « branche asymptotique des géantes ». Il s'agit d'une région du diagramme de Hertzsprung-Russell traversée par les étoiles de masse à peu près solaire lorsqu'elles ont épuisé leur combustible. La silice n'est cependant qu'une composante mineure des poussières provenant de ces étoiles et leur rôle dans la production de cette molécule dans l'Univers n'est pas clair.

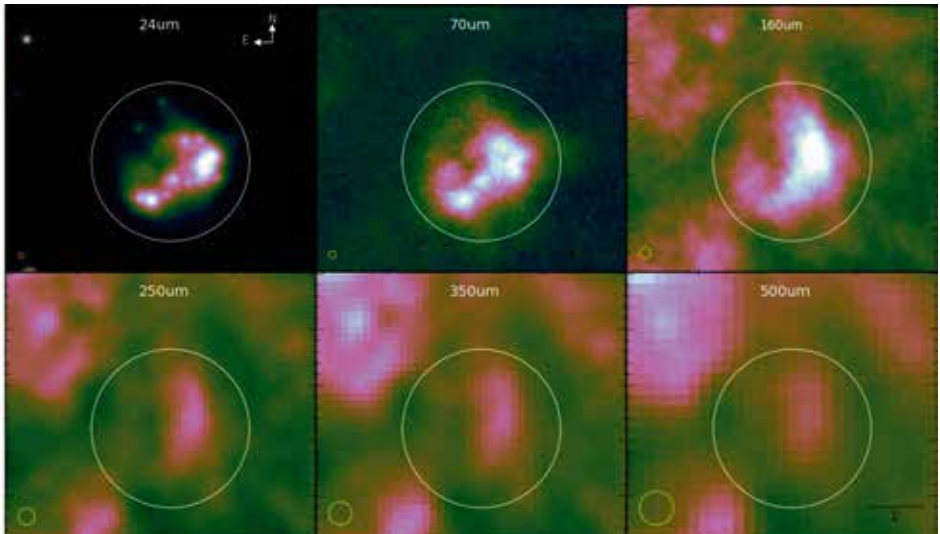
La nouvelle étude concerne la découverte de silice dans les restes de deux supernovæ, Cassiopeia A et G54.1+0.3. Ces restes proviennent de l'explosion d'étoiles beaucoup plus massives que le Soleil. L'explosion s'accompagne d'un effondrement du cœur et de la formation de toute une séquence d'éléments lourds : soufre, calcium, silicium...

La silice a été identifiée dans les spectres infrarouges des grains obtenus par Spitzer, une identification qui a demandé la modélisation des grains de poussière. Les longueurs d'ondes des émissions est effectivement influencée par la forme de ceux-ci. Les modèles habituels

supposaient des grains sphériques, mais les longueurs d'onde observées, quoique proches, ne correspondaient pas exactement. En modélisant des grains de forme ellipsoïdale, les chercheurs sont parvenus à reproduire exactement le spectre observé dans les deux restes de supernovæ. On a ainsi non seulement l'identification de la molécule mais des indications précieuses sur les grains eux-mêmes.

Munis de ces connaissances, les chercheurs ont regardé beaucoup plus loin dans l'infrarouge avec le télescope spatial Herschel. Plutôt que le spectre discret de raies, c'était l'émission thermique, continue, qui les intéressait. En déterminant la longueur d'onde du maximum d'intensité, ils ont pu déterminer la température des grains, et avec l'intensité globale, ils ont pu estimer la masse de silice dans les supernovæ. Celle-ci est telle qu'elle permet de conclure que ces supernovæ contribuent de manière significative à la formation des grains de silice dans l'Univers, y compris ceux qui se sont incorporés dans notre planète – et les lentilles et miroirs de nos télescopes.

Images de G54.1+03 par Spitzer (en haut) et Herschel. (Rho et al., 2018)



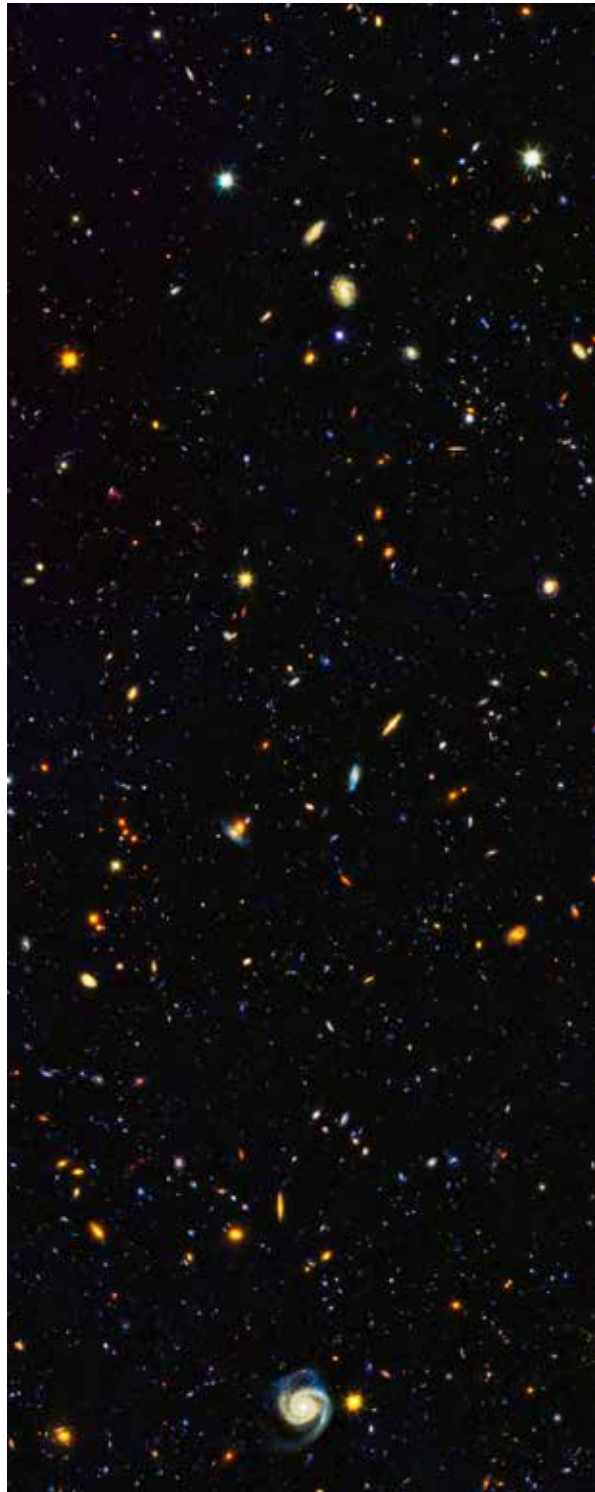
L'Univers en évolution

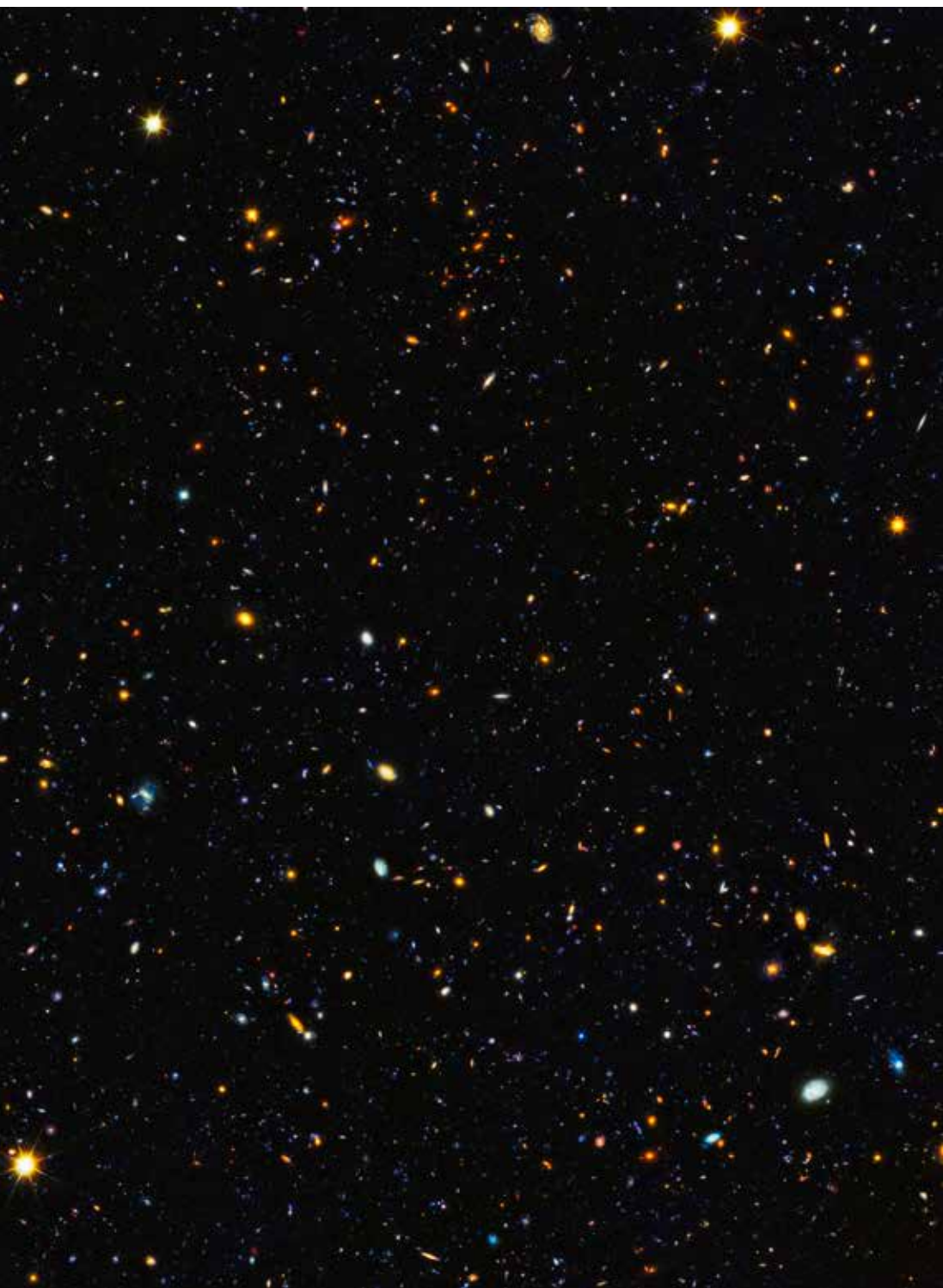
En rassemblant des observations allant de l'infrarouge à l'ultraviolet obtenues par Hubble et d'autres télescopes spatiaux et terrestres, les astronomes ont composé le portrait le plus élaboré de l'évolution de l'Univers. L'image ci-contre comble la lacune qui existait entre les galaxies très lointaines, visibles seulement en infrarouge, et les galaxies proches que l'on peut observer dans toute une gamme de longueurs d'onde. La lumière ultraviolette des régions de formation stellaire des galaxies distantes subit un tel décalage Doppler par suite de l'expansion de l'Univers qu'elle se retrouve pour nous dans l'infrarouge. Avec des images couvrant tous ces domaines, les astronomes peuvent comparer la formation des étoiles dans les galaxies de tous âges et comprendre comment les galaxies actuelles ont évolué à partir de petits groupes d'étoiles à l'aube de l'Univers.

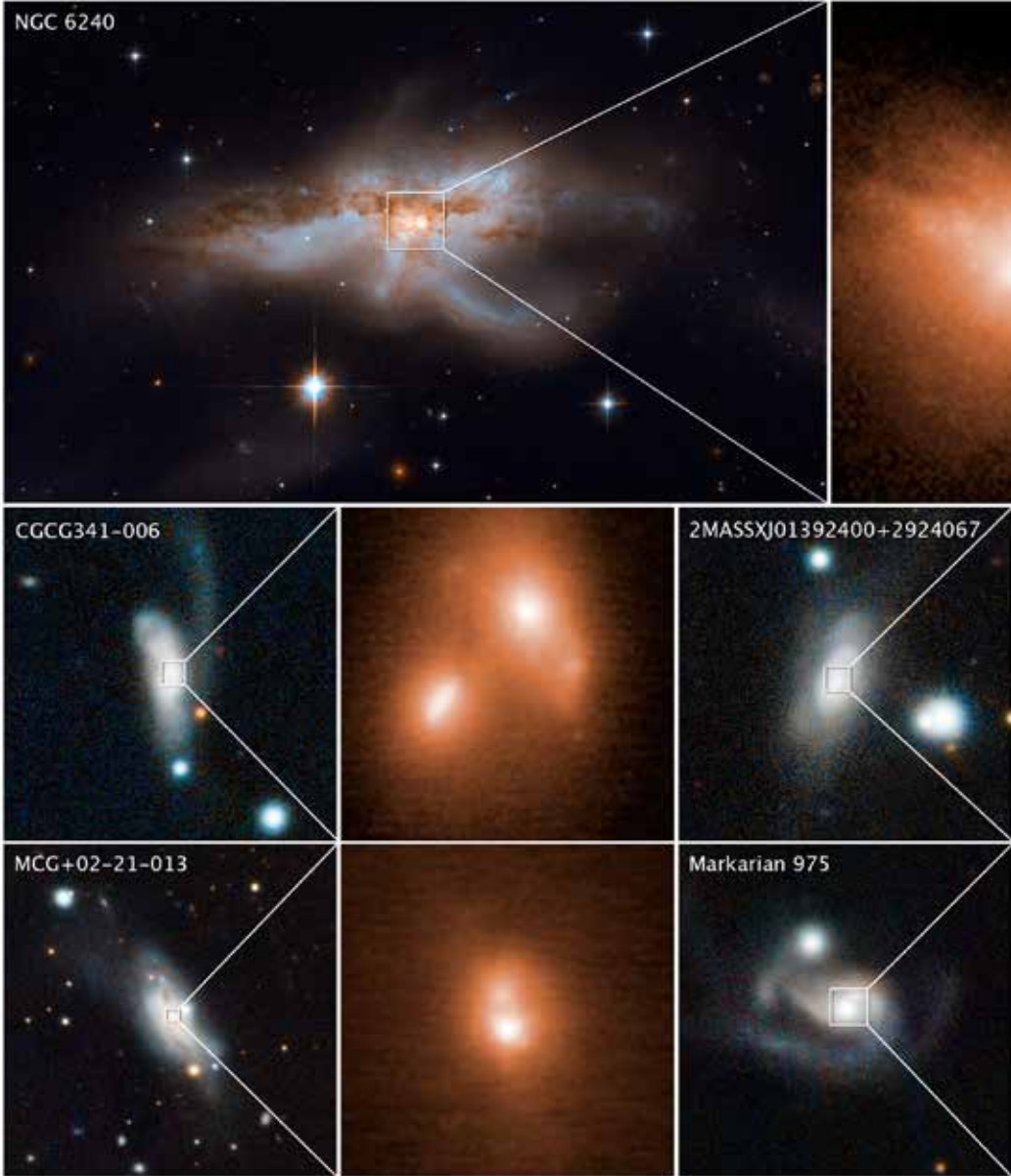
En se libérant de l'absorption atmosphérique, seul le télescope Hubble pouvait obtenir les clichés ultraviolets requis pour compléter ce panorama créé dans le cadre des surveys HDUV (Hubble Deep UV Legacy Survey), CANDELS-Deep (Cosmic Assembly Near-infrared Deep Extragalactic Legacy Survey) et GOODS (Great Observatories Origins Deep Survey).

Cette mosaïque 14 fois plus étendue que le champ HUDF (Hubble Ultra Violet Ultra Deep Field) permet de tracer l'évolution de l'Univers depuis 11 milliards d'années. On y voit 15 000 galaxies, dont 12 000 qui forment des étoiles.

*L'image est une partie du champ GOODS-North field, situé dans la Grande Ourse.
(NASA, ESA, P. Oesch/University of Geneva, M. Montes/University of New South Wales)*







Phases finales de la collision de galaxies. En haut à gauche la galaxie en collision NGC6240 vue par la caméra Wide Field 3 de Hubble. Un close-up des deux noyaux se trouve en haut à droite. En dessous, des vues similaires

de quatre autres galaxies, prises par Pan-STARRS (vues générales) et Keck (zooms). (NASA, ESA, M. Koss/Eureka Scientific, Inc. ; W. M. Keck Observatory ; Pan-STARRS)

Galaxies en collisions

Les astronomes ont utilisé 20 années d'images d'archive du télescope spatial Hubble ainsi que des images du télescope Keck d'Hawaii pour étudier le cœur des galaxies proches en infrarouge. Ces images montrent directement deux noyaux lorsqu'il s'agit de galaxies ayant fusionné, un phénomène qui a dû être plus fréquent dans l'Univers jeune et que connaîtront notre galaxie et celle d'Andromède dans quelques milliards d'années.

Les simulations montrent que les trous noirs grossissent plus vite durant les phases finales des fusions, au moment où les trous noirs commencent à interagir. C'est effectivement ce qui est observé et cela peut expliquer comment des trous noirs deviennent extrêmement massifs. La coalescence de deux galaxies est un phénomène lent qui peut durer plus d'un milliard d'années. Les simulations montrent que beaucoup de poussière et de gaz sont produits par les galaxies. Il se forme un rideau opaque autour de leur cœur et en même temps une partie de cette matière tombe sur les trous noirs centraux qui enflent, un processus qui intervient essentiellement durant les dix ou vingt derniers millions d'années avant leur fusion. Les images de Hubble et du Keck montrent cette étape finale, lorsque les trous noirs ne sont qu'à environ trois mille années-lumière l'un de l'autre, dix fois moins que ce que révélaient la plupart des observations antérieures. Une aussi petite séparation et la présence d'un voile de poussières demandaient des observations de haute résolution en infrarouge.

Les galaxies candidates ont été sélectionnées sur base de leur émission X mesurée par le télescope spatial Swift. Les archives du télescope Keck permirent d'en étudier 96, celles du télescope spatial Hubble, 385. Ce sont des galaxies de taille comparable à la nôtre ou à celle d'Andromède. En moyenne, elles sont distantes de 330 millions d'années-lumière.

Un échantillon de comparaison a été constitué avec 176 galaxies de Hubble qui ne contiennent pas de trou noir actif. On a ainsi pu confirmer que la luminosité du cœur des galaxies en interaction est le signe de trous noirs doubles en pleine croissance et en voie de coalescer.

La collision de trous noirs supermassifs produit de fortes ondes gravitationnelles, du même genre, mais de plus basses fréquences, que celles des trous noirs stellaires observées par LIGO et VIRGO. Des observatoires spatiaux tels que LISA (Laser Interferometer Space Antenna) devraient être en mesure de les détecter. Les futurs télescopes spatiaux ou terrestres devraient préciser les caractéristiques des trous noirs doubles. En travaillant dans l'infrarouge lointain, le télescope spatial Webb pourrait pénétrer les nuages de poussière les plus opaques et révéler des interactions plus profondes.

