

# L'astronomie dans le monde



*Simulation « Illustris » de la structure à grande échelle de l'Univers dans une région de 300 millions d'années-lumière centrée sur un amas massif de galaxies. La matière sombre est représentée en bleu et le gaz en orange.  
(@ Illustris Collaboration)*

## *Alignement de quasars*

*Basé sur un communiqué ESO*

De nouvelles observations effectuées au moyen du VLT de l'ESO au Chili ont révélé l'existence d'alignements à l'échelle des plus vastes structures connues de l'Univers. Des chercheurs liégeois ont découvert que les axes de rotation de trous noirs supermassifs situés aux centres d'un échantillon de quasars sont parallèles les uns aux autres sur des distances de milliards d'années-lumière. De plus, les axes de rotation de ces quasars ont tendance à être alignés sur les vastes structures de la toile cosmique au sein de laquelle ils résident.

Les quasars sont des galaxies dont le cœur abrite un trou noir supermassif très actif. Ces trous noirs sont entourés de disques en rotation. Le contenu des disques, porté à très haute température, est souvent expulsé sous forme de jets le long de l'axe de rotation. La brillance des quasars peut dépasser celle de l'ensemble des étoiles réunies dans leurs galaxies hôtes.

Les astronomes ont utilisé l'instrument FORS qui équipe le VLT pour étudier 93 quasars connus pour former de vastes groupements sur des milliards d'années-lumière, à l'époque à laquelle l'Univers était âgé du tiers de son âge actuel.

La première singularité constatée concerne les axes de rotation des quasars : certains étaient alignés entre eux – en dépit du fait que ces quasars sont séparés de milliards d'années lumière. Les astronomes ont alors cherché à savoir si les axes de rotation étaient liés, non seulement les uns aux autres, mais également à la structure à grande échelle de l'Univers à l'époque considérée.

Les galaxies forment en effet un réseau, une toile d'araignée cosmique constituée de filaments et de réservoirs de matière autour d'immenses espaces vides d'où elles sont quasiment absentes.

Les nouveaux résultats obtenus par le VLT indiquent que les axes de rotation des quasars tendent à être parallèles aux structures à grande échelle auxquelles ils appartiennent. Ainsi, si les quasars se distribuent le long d'un filament, les axes de rotation des trous noirs centraux s'alignent sur le filament. Les chercheurs estiment à moins d'un pour cent la probabilité que ces alignements soient fortuits.



L'existence d'une corrélation entre l'orientation des quasars et la structure à laquelle ils appartiennent est prédite par les modèles numériques d'évolution de notre Univers. Les nouvelles données apportent la toute première confirmation observationnelle de cet effet, à des échelles bien plus vastes que celle observée jusqu'à présent pour les galaxies classiques.

Les astronomes ne pouvaient observer directement les axes de rotation ni les jets des quasars. Ils ont donc mesuré la polarisation de la lumière en provenance de chaque quasar – 19 d'entre eux émettaient un signal fortement polarisé. Connaissant, entre autres choses, la direction de cette polarisation, ils ont pu déduire l'angle du disque d'accrétion puis déterminer la direction de l'axe de rotation du quasar.

L'existence de tels alignements, à des échelles aussi vastes suggère que les modèles classiques d'Univers sont incomplets.

## ***La galaxie ESO 137-001***

*Basé sur un communiqué ESO*

L'instrument MUSE qui équipe depuis peu le VLT de l'ESO a offert aux chercheurs le meilleur cliché à ce jour d'une collision cosmique spectaculaire. Ces nouvelles observations révèlent pour la première fois le mouvement du gaz s'échappant de la galaxie ESO 137-001 et se précipitant à toute vitesse dans le vaste amas de galaxies de Norma. Ces résultats offrent la clé d'une vieille énigme : pourquoi la formation des étoiles cesse-t-elle au sein des amas de galaxies ?

MUSE est le premier grand spectrographe « intégral » de champ installé sur un télescope de 8 mètres. Il fournit aux astronomes un spectre de chaque point du champ observé ou, considéré autrement, une image du champ dans toutes les longueurs d'onde. Il permet aux chercheurs de collecter, lors de chaque observation, quelque 90 000 spectres, et de dresser une carte incroyablement

détaillée des mouvements et autres propriétés des objets observés. Le nouvel instrument est d'une telle efficacité qu'une seule heure d'observation a suffi pour obtenir une image haute résolution de la galaxie ainsi que la distribution et le mouvement du gaz.

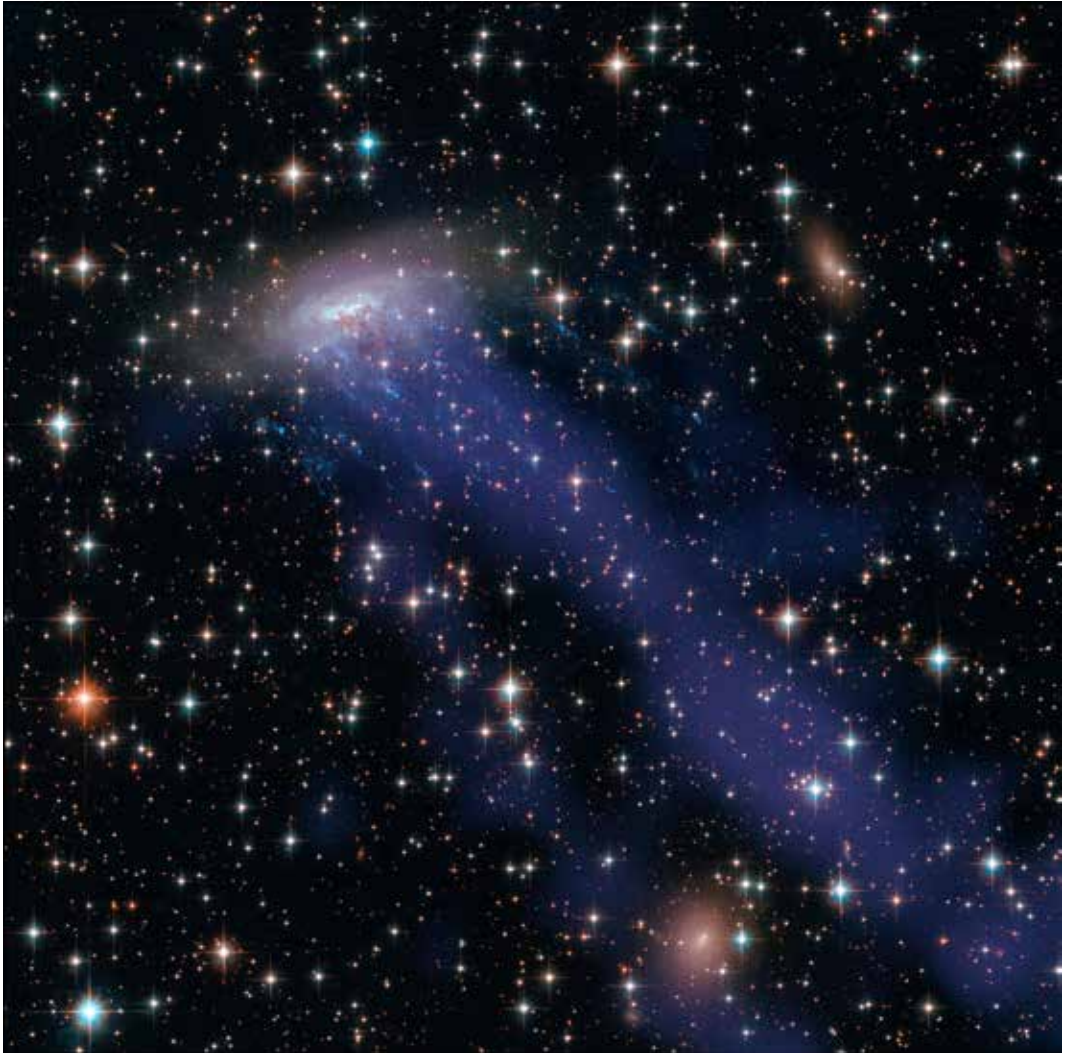
Le gaz intergalactique balayé par ESO 137-001 exerce une pression dynamique qui se traduit par l'expulsion de ses propres nuages. La galaxie se trouve progressivement dépouillée de la plus grande partie de son gaz – le carburant nécessaire à produire les futures générations de jeunes étoiles bleues. ESO 137-001 se situe à mi-chemin de cette métamorphose galactique : cette galaxie bleue riche de gaz se transforme progressivement en effet en une galaxie rouge pauvre en gaz.

Assister à ce spectacle cosmique constitue un exploit. L'amas de Norma se situe non loin du plan de notre galaxie, la Voie lactée ; il se trouve donc en partie masqué par de grandes quantités de gaz et de poussière galactiques.

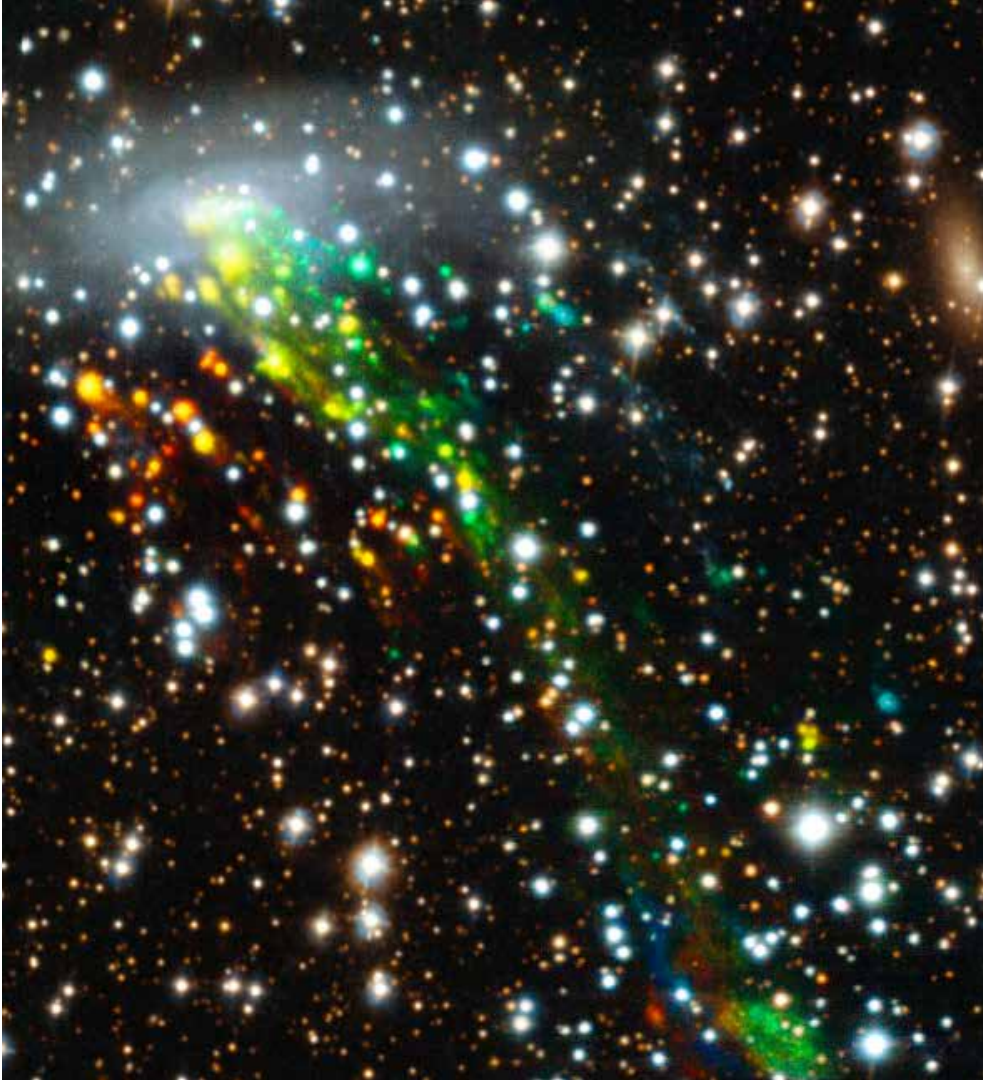
Les observations montrent que la proche périphérie d'ESO 137-001 est d'ores et déjà totalement dépourvue de gaz. Cela résulte de la poussée qu'exerce le gaz de l'amas – chauffé à plusieurs millions de degrés – sur le gaz plus froid de la galaxie. Les bras spiraux, composés d'étoiles et de matière diffuse sont les premiers touchés. L'attraction gravitationnelle s'exerçant au cœur de la galaxie est suffisamment élevée pour lui permettre de résister plus longtemps à la pression, ce qui explique qu'on y observe encore la présence de gaz.

In fine, tout le gaz de la galaxie s'échappera et se mélangera à celui de l'amas, formant les magnifiques queues que l'on observe déjà sur des distances supérieures à 200 000 années lumière.

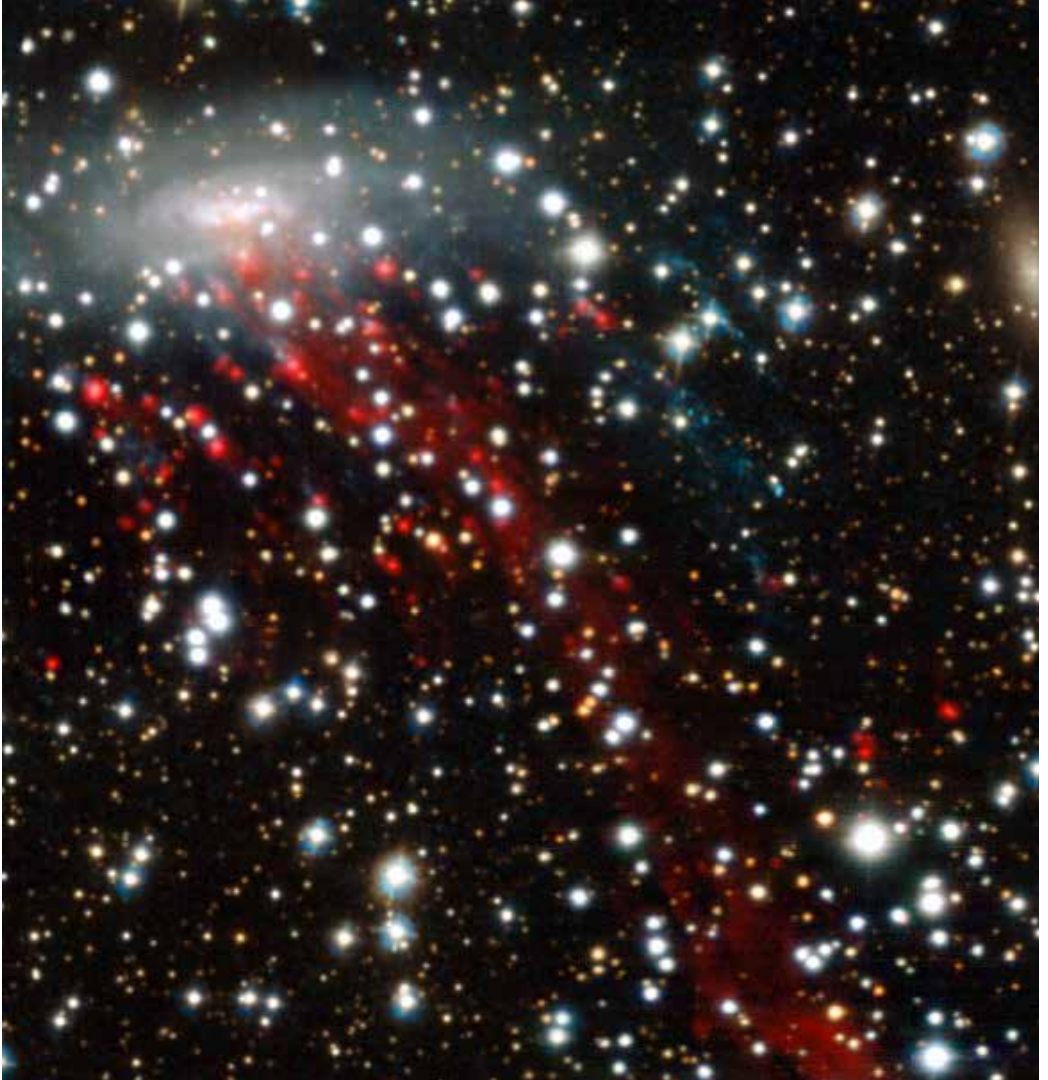
Étonnamment, les nouvelles observations par MUSE de ce panache de gaz indiquent que le gaz éjecté est toujours animé du mouvement de rotation qu'il avait dans la galaxie. Les chercheurs ont aussi pu vérifier que la rotation des étoiles composant ESO 137-001 demeurerait elle aussi inchangée.



*Cette image de la galaxie ESO 137-001 combine des observations effectuées par le télescope spatial Hubble ainsi que des données obtenues par le télescope spatial X Chandra. On y voit le gaz s'échappant de la galaxie, poussé par la pression du milieu intergalactique. Les petites taches bleues indiquent la présence d'étoiles jeunes, massives, groupées le long des immenses tentacules.  
(NASA, ESA, CXC)*



*Les observations faites au VLT de l'ESO ont pour la première fois révélé le mouvement du gaz s'échappant de la galaxie ESO 137-001. Les couleurs figurant sur cette image se rapportent aux mouvements des filaments de gaz – la couleur rouge indique que la matière s'éloigne de la Terre par rapport à la galaxie, la couleur bleue qu'elle s'en rapproche.  
(ESO/M. Fumagalli)*



*Cette autre image construite à partir des données de MUSE met en évidence les nuages d'hydrogène s'échappant de la galaxie. (ESO/M. Fumagalli)*



Suite de la page 23

## Les mers de sable de Titan

*Basé sur des communiqués du CEA, du SETI et de l'Université du Tennessee*

En combinant modélisations du climat, expériences en laboratoire et observations de la surface de Titan par la sonde Cassini, plusieurs équipes ont pu proposer un nouveau mode de formation et de croissance des dunes à la surface du satellite.

Ce mode de croissance, également observé dans certains déserts terrestres et sur la planète Mars, serait présent de manière dominante dans les déserts de Titan et permettrait d'expliquer non seulement la forme de ces dunes, leur orientation et leur direction de croissance, mais aussi leur confinement dans la ceinture tropicale du satellite.

Titan est le plus gros satellite naturel de Saturne. En 2004, la sonde Cassini est arrivée dans le système de Saturne afin d'y étudier la planète géante ainsi que ses satellites, dont Titan. Celui-ci présente de nombreuses analogies avec la Terre, notamment un cycle climatique très actif, essentiellement contrôlé par le méthane, et de nombreux paysages aux visages extrêmement familiers comme d'immenses champs de dunes linéaires présents tout autour

*Vision d'artiste des dunes de Titan composées d'espèces organiques complexes qui s'allongent sous l'action des rafales de vent lors des équinoxes.*

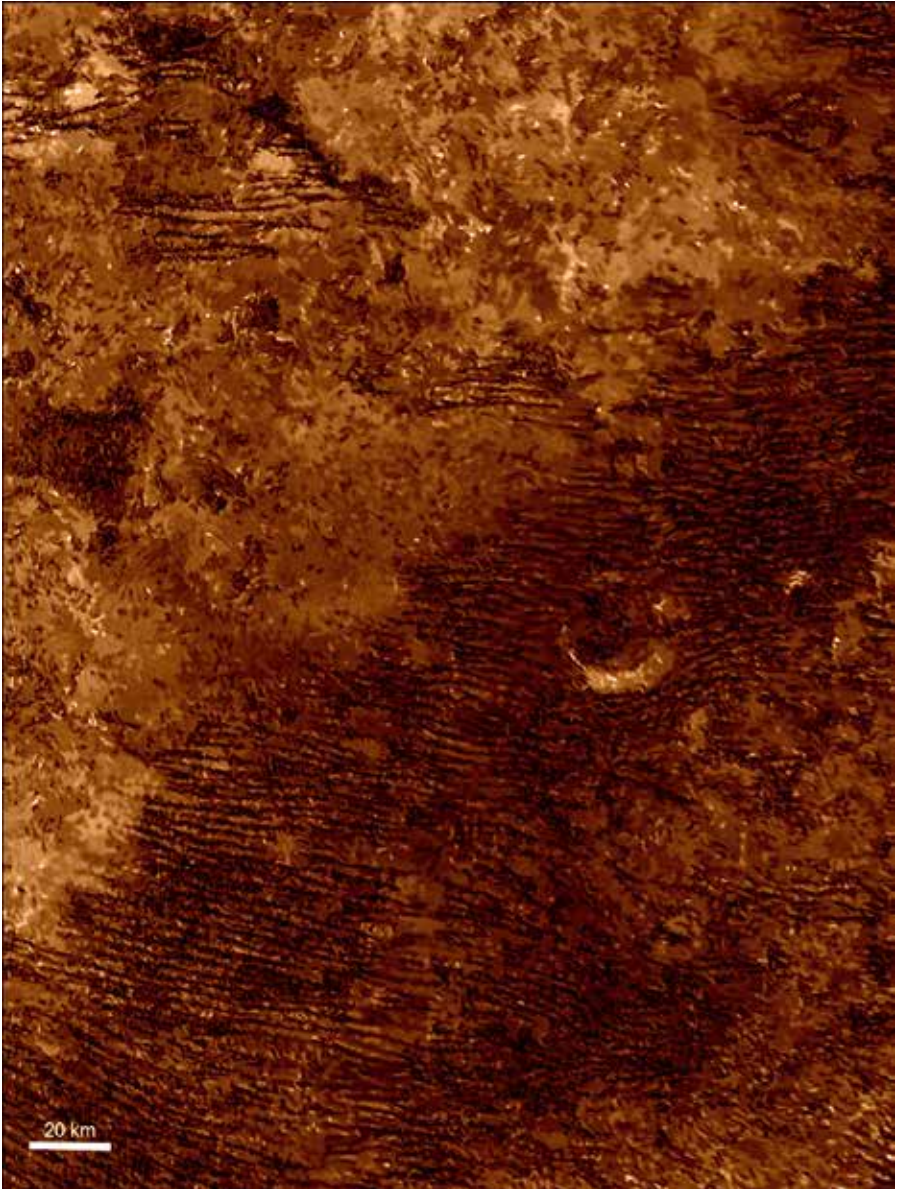
*(Crédits A. Lucas/CEA).*

de l'équateur, des lacs (d'hydrocarbures) ou encore des montagnes. Ces dunes peuvent atteindre des centaines de mètres de hauteur et s'étendre sur des centaines de kilomètres.

Les champs de dunes occupent 17% de la surface de Titan et portent en eux de précieuses informations sur le climat, la topologie et l'histoire du satellite. La formation d'une dune nécessite des vents suffisamment forts pour mettre en mouvement le sédiment qui la compose.

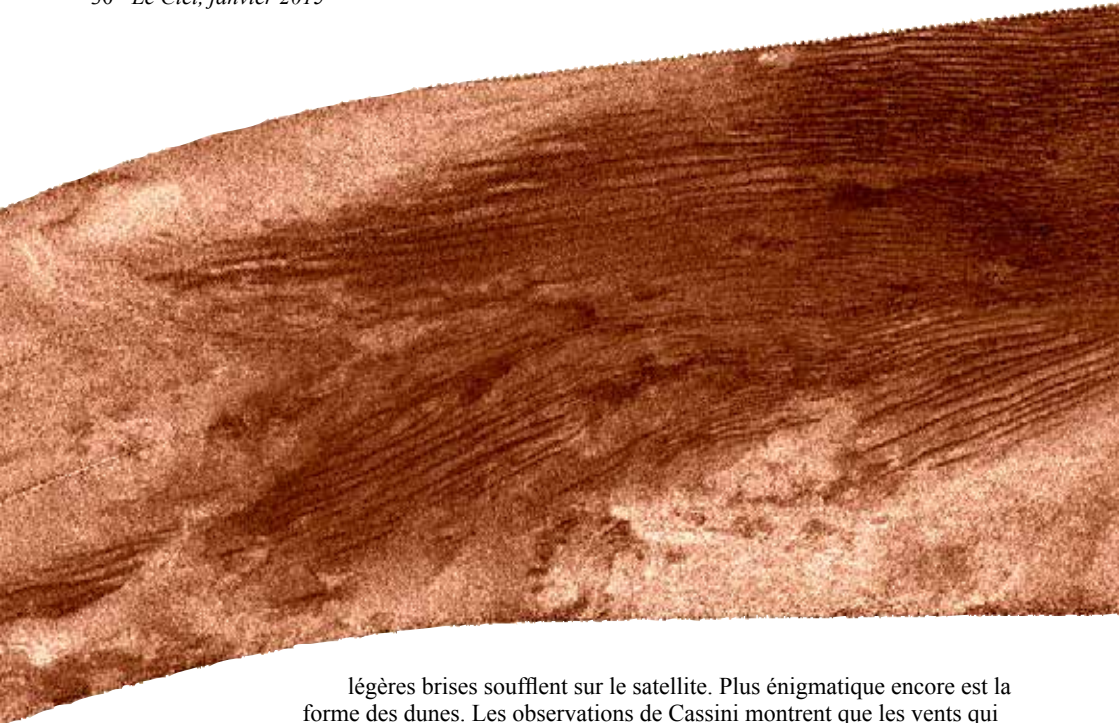
La présence sur Titan de particules de la taille de grains de sable est surprenante. On n'en comprend pas encore l'origine mais on sait que le sable de Titan est plus visqueux que celui de nos déserts. Il est probablement constitué de molécules à base d'hydrogène et de carbone, enrobant des particules de glace d'eau.

Il est aussi étonnant que des vents puissent déplacer le sable alors que les observations semblent indiquer que seules de



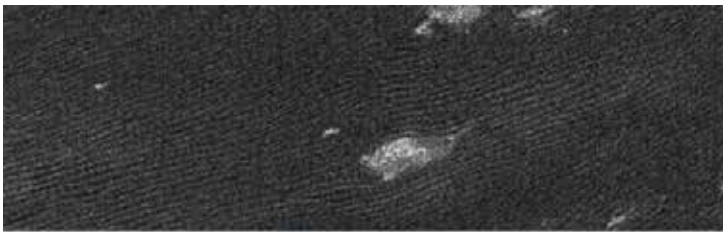
*Champ de dunes vu par Cassini. Les chercheurs ont analysé les forces responsables de ces alignements.  
(Cornell/Laboratoire AIM Paris-Diderot)*



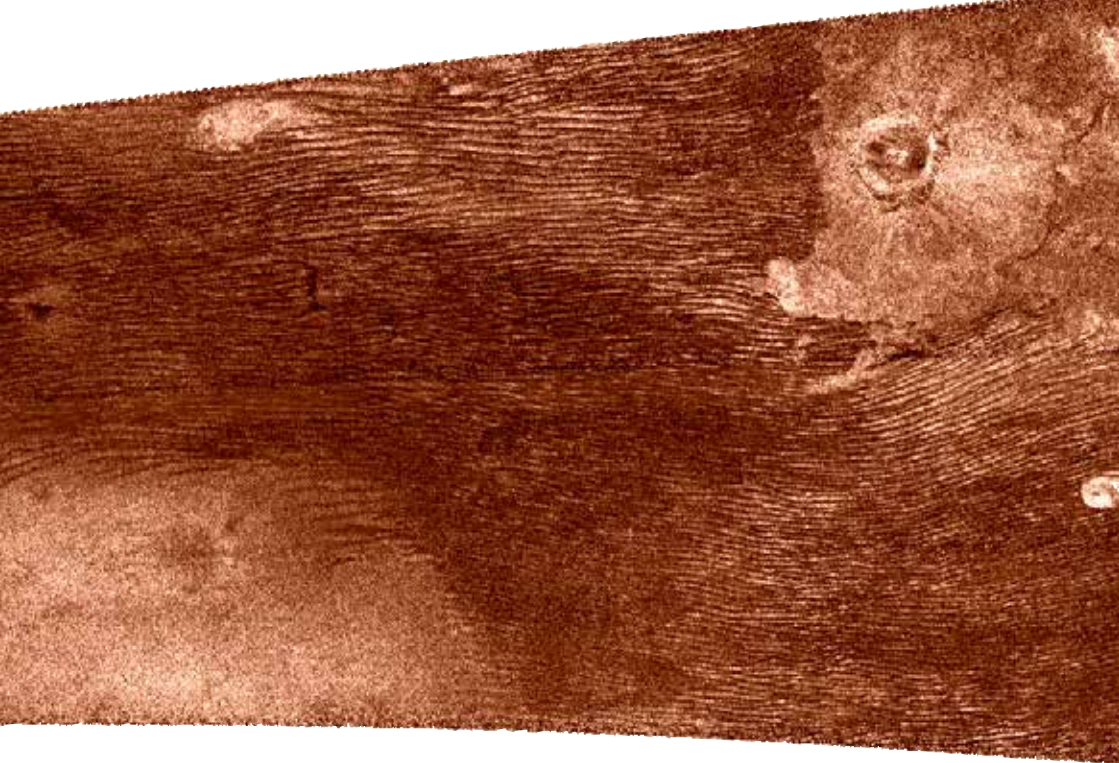


légères brises soufflent sur le satellite. Plus énigmatique encore est la forme des dunes. Les observations de Cassini montrent que les vents qui façonnent les dunes vont vers l'est et, pourtant, l'arrangement régulier des dunes en contournant les obstacles comme les cratères et les montagnes indique des vents allant dans la direction opposée.

La taille des dunes ne dépend pas de la gravité de la planète ou du satellite mais du rapport des densités entre le sédiment et l'atmosphère.



*Les dunes de Titan vues par le radar de Cassini sont sculptées comme le sable des déserts de Namibie. Les taches blanches sur l'image radar (en haut) ne sont pas des nuages mais des terrains particuliers parmi les dunes. (NASA)*



Leur mode de croissance et leur orientation dépendent de la variabilité locale des vents et de l'apport sédimentaire.

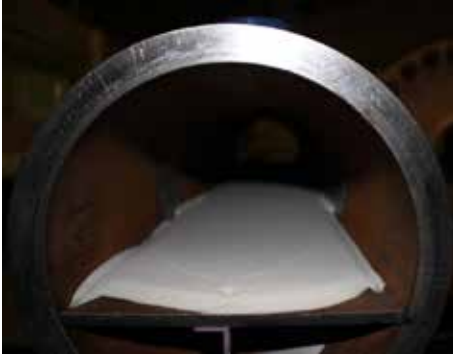
Ce problème a été abordé de deux façons par les astronomes. D'une part, des modèles mathématiques ont été élaborés afin de simuler l'atmosphère de Titan ainsi que les régimes des vents présents à sa surface. Une autre approche a été d'étudier de façon expérimentale, en soufflerie, le comportement de divers types de sables soumis à des vents d'intensités variées.

Les chercheurs ont montré que, contrairement à ce qui était communément admis, les dunes de Titan ne peuvent pas se développer à partir d'un lit de sédiment entièrement mobilisable. Au contraire, leur orientation suggère qu'elles se développent sur un sol résistant à l'érosion (soit constitué d'un socle solide, soit de sédiments trop gros pour être transportés) en s'allongeant à partir d'une source locale de sédiment. Dans ce cas, elles sont alignées avec les vents et peuvent garder une orientation et une forme constante sur des centaines de kilomètres, ce qui est effectivement observé.

Des dunes de ce type sont également observées dans de nombreux déserts terrestres

*Des champs de dunes encerclent pratiquement tout le globe de Titan, le satellite géant de Saturne. Cette image radar due à Cassini les montre en même temps que des cratères et l'énigmatique Xanadu. (Pour interpréter les reliefs, il faut considérer l'éclairage comme venant du nord).*

*La région brumeuse et brillante à gauche marque la limite nord-ouest de Xanadu, un continent équatorial d'où les dunes sont quasiment absentes. En haut, à droite, le cratère Ksa. La séparation entre les dunes s'accroît en s'approchant du continent, une caractéristique que l'on associe à la raréfaction du sable. (NASA/JPL-Caltech/ASI)*



### *Sédiments étudiés en soufflerie (université du Tennessee)*

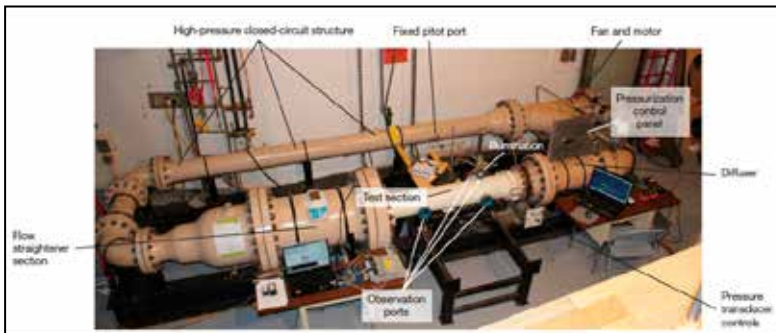
climatologie complexe du satellite et la nature encore bien énigmatique de sa surface.

Les chercheurs estiment que la formation des dunes a demandé 3 000 années de Saturne, soit 90 000 années terrestres. Le mécanisme est influencé par les modifications de l'orbite de la planète, de la même façon que ce qui se produit pour les déserts terrestres. Ainsi, dans le Sahara on peut encore voir la structure originale de certaines des plus grandes dunes formées il y a 25 000 ans. Sur cette ancienne trame se dessine le réseau de petites dunes plus récentes. Les mêmes palimpsestes se retrouvent sur Titan.

et même sur Mars, et sont témoins des régimes de vents et de l'environnement sédimentaire qui les ont façonnées.

Les études théoriques et expérimentales concourent à montrer que seules de puissantes rafales de vent provenant d'événements climatiques extrêmes peuvent être à l'origine de ces flux de sédiments. Ces conditions apparaissent lors des équinoxes saturniens, lorsque le Soleil traverse l'équateur. Enfin, les chercheurs montrent que les écoulements atmosphériques à la surface du satellite convergent vers l'équateur, région aux conditions climatiques les plus arides, expliquant ainsi le dépôt de sédiments et la concentration des champs de dunes dans la zone intertropicale. Ce nouveau modèle de formation et de croissance des dunes de Titan est le premier permettant d'expliquer toutes les caractéristiques observées des déserts de Titan et apporte ainsi un nouvel éclairage sur la

Ces travaux mettent en évidence le fait que durant 95 % du temps les vents n'ont pas d'influence, de la même manière que sur notre planète ce sont de rares tempêtes océaniques qui façonnent principalement les côtes. Les résultats peuvent s'appliquer à d'autres astres munis d'atmosphères épaisses (comme des exo-Terres) ou ténues (Mars, Pluton, comètes), mais aussi à la Terre. Les matériaux transportés par le vent depuis le Sahara sont pour beaucoup dans la fertilité du bassin de l'Amazone. En comprendre le mécanisme est essentiel. Ces travaux peuvent aussi aider à comprendre les changements climatiques du passé, les âges glaciaires ainsi que l'épisode de la Terre « boule de neige », lorsqu'elle était entièrement engoncée dans les glaces.



***La « soufflerie Titan » est un ancien appareil construit dans les années 1980 pour étudier l'effet du vent sur le sable de Vénus et reconverti pour Titan. (SETI Institute)***

## **Planck : matière noire et neutrinos fossiles**

*Basé sur un communiqué CNRS*

De 2009 à 2013, le satellite Planck a observé le rayonnement fossile de l'Univers, encore appelé fonds diffus cosmologique. Les scientifiques dévoilent maintenant les résultats de ces quatre années d'observation de la plus vieille lumière de l'Univers, cette lumière primordiale qui nous permet de « voir » les particules les plus insaisissables : la matière noire et les neutrinos fossiles.

Aujourd'hui, avec l'analyse complète des données, la qualité de la carte obtenue est telle que les empreintes laissées par la matière noire et les neutrinos primordiaux, entre autres, sont clairement visibles.

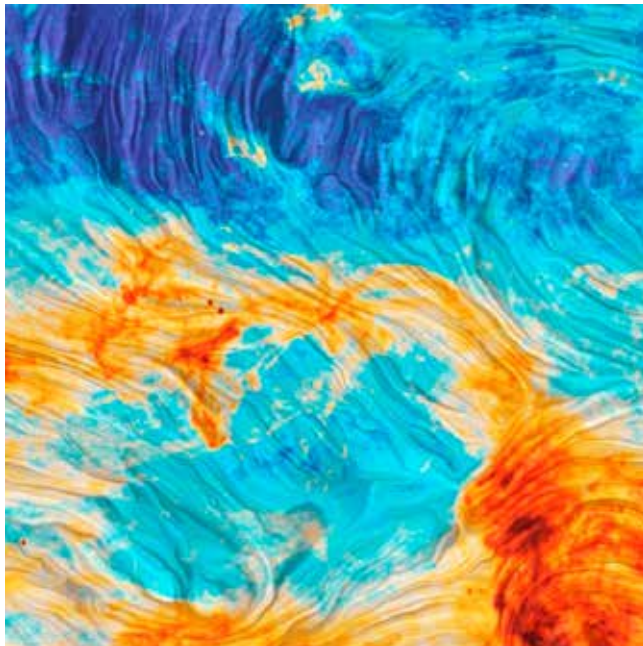
Déjà, en 2013 la carte des variations d'intensité lumineuse avait été dévoilée, nous renseignant sur les lieux où se trouvait la matière 380 000 ans après le Big-Bang. Grâce à la mesure de la polarisation de cette lumière, Planck est capable de voir comment cette

matière bougeait. Notre vision de l'Univers primordial devient alors dynamique. Cette nouvelle dimension et la qualité des données permettent de tester de nombreux paramètres du modèle standard de la cosmologie. En particulier, elles éclairent aujourd'hui ce qu'il y a de plus insaisissable dans l'Univers : la matière noire et les neutrinos.

Les résultats permettent dès à présent d'écarter toute une classe de modèles de matière noire, dans lesquels l'annihilation matière noire - antimatière noire serait importante. L'annihilation entre une particule et son anti-particule désigne la disparition conjointe de l'une et de l'autre, un phénomène qui s'accompagne d'une libération d'énergie.

L'idée de matière noire commence à être largement admise mais la nature des particules qui la composent reste inconnue. Les modèles sont nombreux en physique des particules et l'un des buts aujourd'hui est de réduire le champ des possibilités en multipliant les voies d'exploration, par exemple en recherchant des effets de cette matière mystérieuse sur la matière ordinaire et la lumière.

Les observations de Planck montrent qu'il n'est pas nécessaire de faire appel à l'existence d'une forte annihilation matière noire - antimatière noire pour expliquer la dynamique des débuts de l'Univers. En effet, un tel mécanisme produirait une quantité d'énergie qui influencerait sur



***Cartes de 30 par 30 degrés du signal polarisé à 353 GHz. Les couleurs tracent l'émission thermique de la poussière alors que les reliefs dessinent le champ magnétique galactique. (© ESA- collaboration Planck, Marc-Antoine Miville-Deschenes)***

l'évolution du fluide lumière-matière, en particulier vers l'époque de l'émission du rayonnement fossile. Or, les observations les plus récentes n'en portent pas la trace.

Ces nouveaux résultats sont encore plus intéressants lorsqu'ils sont confrontés aux mesures réalisées par d'autres instruments. Les satellites Fermi et Pamela, tout comme l'expérience AMS-02 à bord de la station spatiale internationale, ont observé un excès de rayonnement cosmique, pouvant être interprété comme une conséquence de l'annihilation de matière noire. Compte tenu des résultats de Planck, il va falloir préférer une explication alternative à ces mesures d'AMS-02 ou de Fermi (par exemple l'émission de pulsars non détectés) si l'on fait l'hypothèse – raisonnable – que les propriétés de la particule de matière noire sont stables au cours du temps.

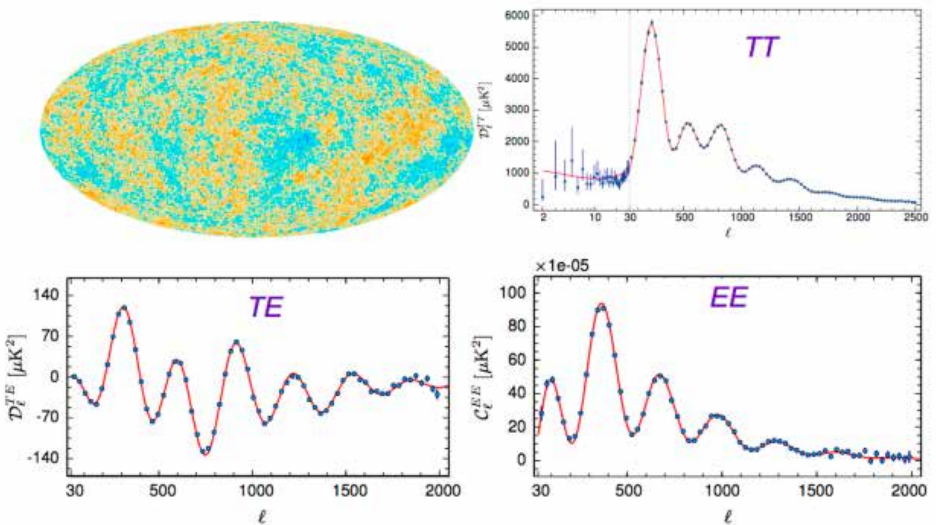
Par ailleurs, la collaboration Planck confirme que la matière noire occupe un peu plus de 26 % de l'Univers actuel (valeur issue de son analyse en 2013), et précise la carte de la densité de matière quelques milliards d'années après le Big-Bang grâce aux mesures de température et de polarisation.

Les nouveaux résultats de la collaboration Planck portent aussi sur un autre type de particules très discrètes : les neutrinos. Ces

particules élémentaires « fantômes », produites en abondance dans le Soleil par exemple, traversent notre planète pratiquement sans interaction, ce qui rend leur détection extrêmement difficile. Il n'est pas envisageable de détecter directement les premiers neutrinos, produits moins d'une seconde après le Big-Bang, qui sont extrêmement peu énergétiques. Pourtant, pour la première fois, Planck a détecté sans ambiguïté l'effet de ces neutrinos primordiaux sur la carte du rayonnement fossile.

Les neutrinos primordiaux décelés par Planck ont été libérés une seconde environ après le Big-Bang, lorsque l'Univers était encore opaque à la lumière mais déjà transpa-

*Répartition angulaire du rayonnement fossile mesuré par Planck en température (TT), en polarisation (EE) et en température et polarisation (TE). L'abscisse correspond à l'inverse d'une échelle angulaire (200 correspond à 1 degré environ, 30 à 6 degrés, 1500 à 0,13 degrés soit 8 minutes d'arc). Le modèle est représenté par les lignes rouges alors que les mesures correspondent aux point bleus. (© ESA - collaboration Planck)*



rent à ces particules qui peuvent s'échapper librement d'un milieu opaque aux photons, tel que le cœur du Soleil. 380 000 ans plus tard, lorsque la lumière du rayonnement fossile a été libérée, elle portait l'empreinte des neutrinos car les photons ont interagi gravitationnellement avec ces particules. Ainsi, observer les plus anciens photons a permis de vérifier les propriétés des neutrinos.

Les observations de Planck sont conformes au modèle standard de la physique des particules. Elles excluent quasiment l'existence d'une quatrième famille de neutrinos auparavant envisagée d'après les données finales du satellite WMAP, le prédécesseur américain de Planck. Enfin, Planck permet de fixer une limite supérieure à la somme des masses des neutrinos, qui est à présent établie à 0,23 eV (électronvolt).

J1149.6+2223 prises le 10 novembre par le télescope spatial Hubble.

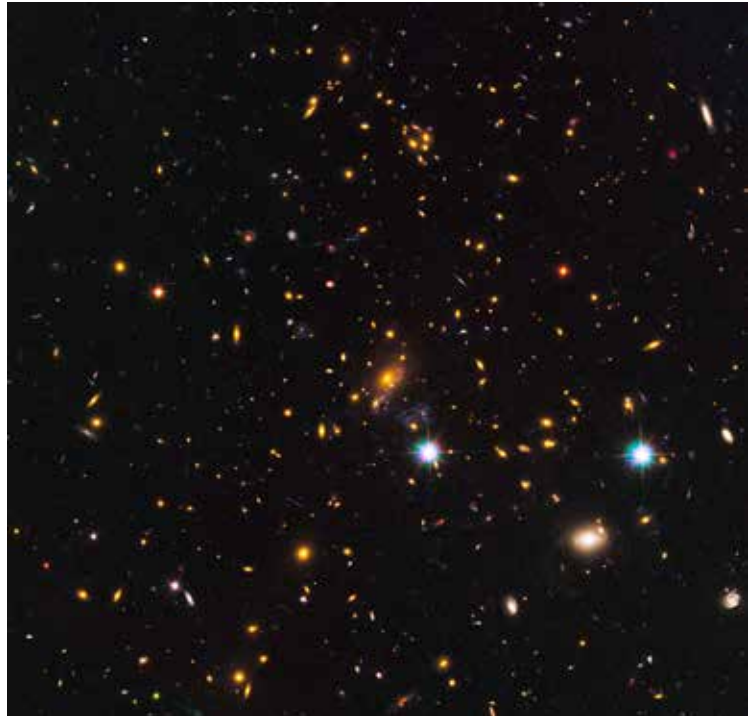
L'amas massif était déjà connu pour son important effet de lentille gravitationnelle. C'est grâce à lui que l'on a découvert récemment une galaxie située à une distance correspondant à un âge de l'Univers de 500 millions d'années seulement, soit 3,6 % de son âge actuel. L'intérêt de cet amas lui a valu d'être inclus dans les champs « Frontier fields » dédiés à l'exploration de l'Univers lointain en profitant du phénomène de lentille.

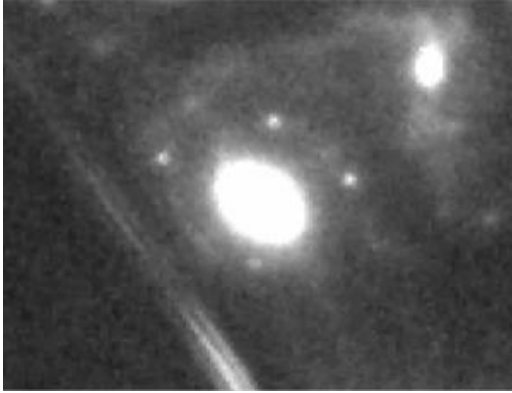
La découverte de la supernova est un beau succès de ce programme. L'étude de cette explosion lointaine, en particulier la comparaison des délais temporels entre les quatre images, contribuera peut-être à améliorer la calibration des distances dans l'Univers et à estimer l'accélération de son expansion.

## ***Quatre images d'une supernova***

Un phénomène fortuit de lentille gravitationnelle a permis de voir quatre images d'une supernova. C'est le premier exemple d'image quadruple d'une étoile, un peu particulière il est vrai puisqu'il s'agit d'une supernova, infiniment plus brillante qu'une étoile classique. La supernova est apparue dans des images de l'amas de galaxies MACS

***Image prise par le télescope spatial Hubble de l'amas de galaxies MACS J1149. (NASA, ESA, M. Postman/STScI, The CLASH team)***





***Quatre images d'une même supernova encadrent celle d'une galaxie. (Patrick L. Kelly et al)***

## ***Les étoiles manquantes***

*Basé sur un communiqué de ESA*

L'observation des amas globulaires satellites d'une petite galaxie proche (la galaxie sphéroïdale naine de Fornax) vient épaissir un mystère déjà bien opaque. Les observations, réalisées au moyen de la caméra Wide Field 3 du télescope spatial Hubble, montrent que ces amas sont très semblables à ceux de notre galaxie et que, par conséquent, ils ont dû se former d'une manière analogue.

Les amas globulaires sont des objets étranges, de grosses boules d'étoiles évoluant parfois loin du centre de leur galaxie, isolées, compactes et que l'on a longtemps cru consis-

tant en une seule population d'astres formés ensemble, simultanément.

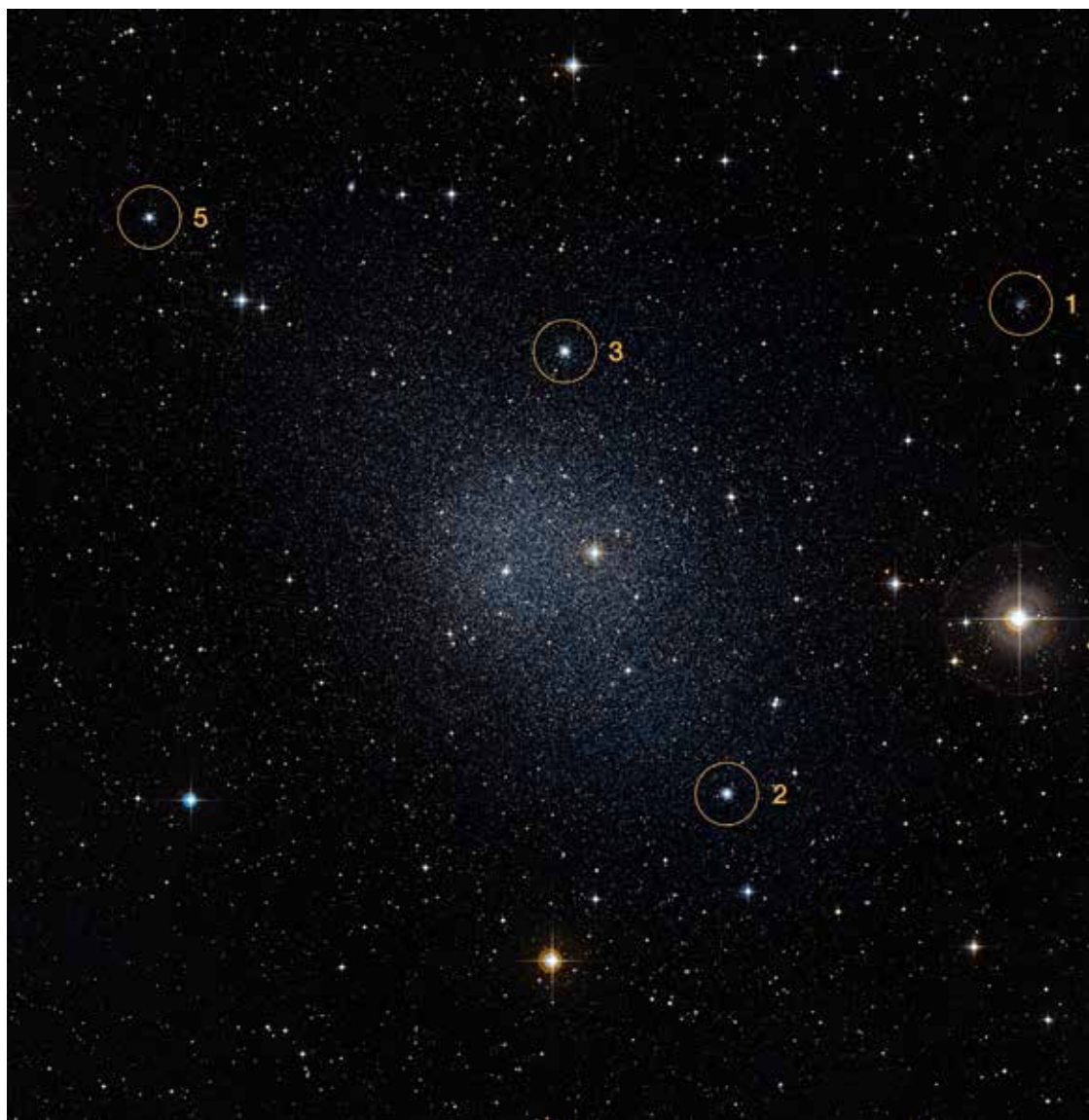
Les recherches récentes ont montré que les amas globulaires de notre galaxie avaient une histoire plus complexe et contenaient au moins deux populations distinctes d'étoiles présentes en parts à peu près égales : une première génération d'étoiles normales et une seconde d'étoiles polluées par des éléments lourds et montrant en particulier un fort excès d'azote par rapport à la première génération.

La proportion d'étoiles polluées dans les amas globulaires de la Voie lactée est beaucoup plus grande que ce que prévoient les modèles. Les astronomes y voient plutôt un manque d'étoiles de première génération. Elles auraient été éjectées des amas par quelque processus et on doit les retrouver mêlées aux étoiles du halo de la Galaxie, ce qui est tout à fait plausible.

Les observations de la galaxie de Fornax indiquent que les amas contiennent aussi deux populations d'étoiles, 40 % de la première génération et 60 %, polluées, de seconde génération. On imagine donc que le même phénomène affecte les amas des deux galaxies. Mais la galaxie de Fornax ne montre pas trace des étoiles vieilles qui auraient dû être éjectées. La théorie de la formation des amas ne tient donc pas la route et doit être revue.

***Images prises par le télescope spatial Hubble de quatre des amas globulaires de la galaxie naine de Fornax. De gauche à droite, Fornax 1, 2, 3 et 5. (NASA, ESA, S. Larsen/Radboud University)***





*La galaxie naine de Fornax. Image créée à partir du Digitized Sky Survey 2. On a ajouté l'identification des quatre amas globulaires. (ESO/Digitized Sky Survey 2)*



## **NGC3226**

La fusion de galaxies n'entraîne pas toujours des épisodes de formation stellaire. La collision des nuages de gaz et de poussières peut s'accompagner d'un échauffement qui entrave leur contraction gravitationnelle et empêche la naissance de nouvelles étoiles. C'est ainsi que l'on explique la faible activité de la galaxie NGC3226. Pour engendrer de nouvelles étoiles, il faut un environnement froid.

NGC3226 est une galaxie elliptique relativement proche, 50 millions d'années-lumière. Des extensions lumineuses semblent être les restes d'une galaxie qui a été cannibalisée et qui se trouvait entre NGC3226 et sa voisine NGC3227 située juste au-dessus dans l'image ci-contre. L'un de ces lambeaux s'étend sur 100 000 années-lumière et plonge dans le cœur de NGC3226. Tout ce gaz tombe effectivement dans la galaxie, inexorablement attiré par son champ de gravitation. Un tel apport de gaz et de poussière signifie généralement la compression de nuages et la production de nouvelles générations d'étoiles mais, dans ce cas, les observations des télescopes spatiaux Hubble, Spitzer et Herschel montrent un très faible taux de formation stellaire.

La galaxie possède un trou noir supermassif en son centre. Le gaz provenant de collisions aurait pu alimenter directement ce trou noir et provoquer une forte activité de celui-ci mais, au lieu de cela, il reste à distance respectable et se contente de former un disque chaud dans les régions centrales de la galaxie. La chaleur, et donc la pression du gaz, ne permettent pas l'effondrement et la fragmentation des nuages pour former des étoiles.

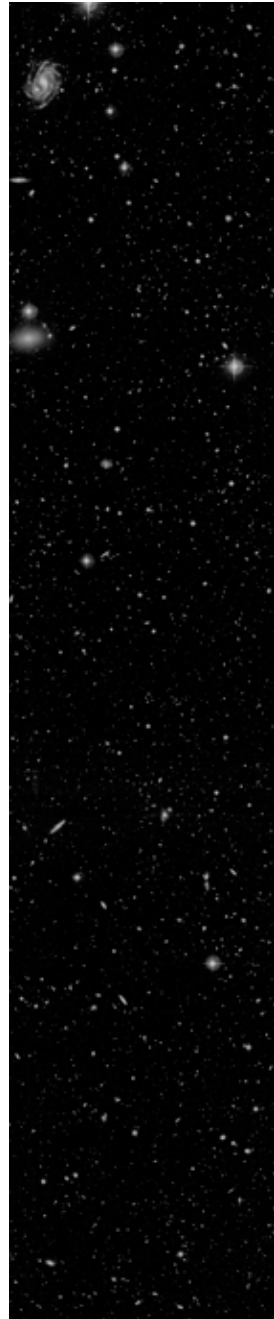
La galaxie NGC 3226, bien qu'étant une elliptique, montre une certaine population d'étoiles bleues, jeunes. Elle est d'un type intermédiaire entre les spirales comme la Voie lactée qui engendrent force nouvelles étoiles, et les elliptiques sagement rassises qui n'ont que des étoiles vieilles et rouges. Elle a donc formé récemment des étoiles et pourrait en former d'autres à nouveau, le repos actuel n'étant que provisoire.

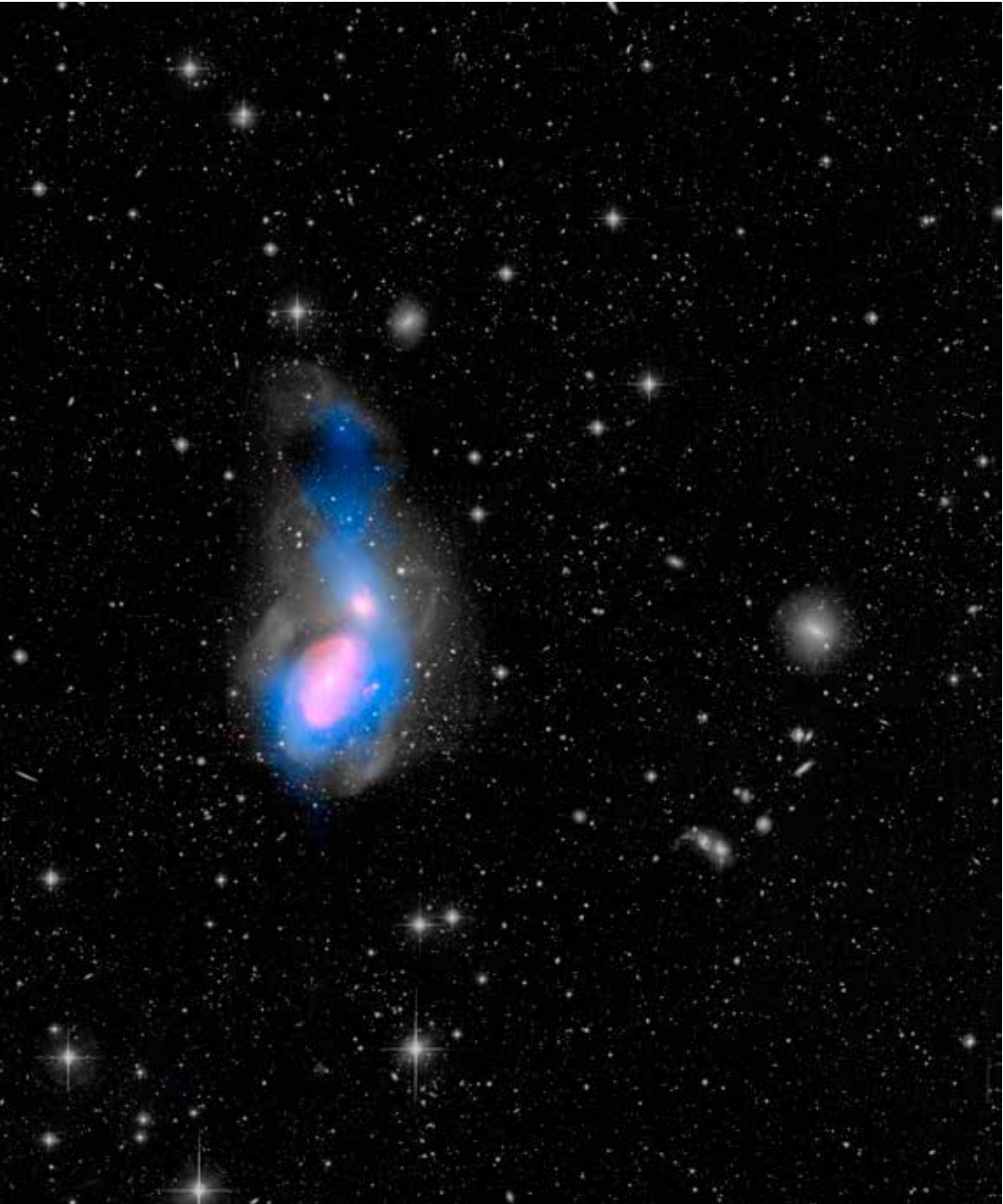
Le cas de NGC3226 illustre la complexité de la transition entre les phases jeune et vieille d'une galaxie.

*La galaxie NGC3226. L'image noir et blanc provient de la caméra MegaCam du télescope CFHT (Canada-France-Hawaii-Telescope, Mauna Kea, Hawaii) et montre des boucles de gaz projetées lors de la cannibalisation d'une autre galaxie. Le bleu montre l'hydrogène observé en ondes radio par le VLA (Very Large Array, Socorro, New Mexico). Le panache de gaz au-dessus de NGC 3226 tombe vers la galaxie. La couleur rouge montre l'émission infrarouge observée par le télescope spatial Spitzer, et due aux poussières et au gaz.*

*D'autres observations par Spitzer révèlent un disque de gaz moléculaire chaud au centre de NGC3226, alimenté par le panache de gaz.*

*(NASA/CFHT/NRAO/JPL-Caltech/Duc/Cuillandre)*





## Vesta

Les astronomes ont réalisé la première carte géologique et tectonique globale de Vesta en utilisant les données recueillies par la sonde Dawn qui a tourné autour de l'astéroïde de juin 2011 à septembre 2012. L'instrument utilisé était une caméra construite par le Max Planck Institute for Solar System Research et le German Aerospace Center. Cette caméra a pris des images panchromatiques et dans sept filtres différents. Les chevauchements permettent d'obtenir des vues stéréographiques donnant accès aux reliefs et facilitant l'interprétation géologique. Grâce à ces résultats, on peut mettre en contexte les observations de la composition effectuées avec le spectromètre VIR (Visible and Infrared spectrometer) et le GRaND (Gamma Ray and Neutron Detector).

Cette nouvelle carte révèle que l'histoire de la petite planète a été dominée par des im-

pacts majeurs. Les plus gros, très anciens, ont créé les cratères Vénéneia et Rhéasilvia.

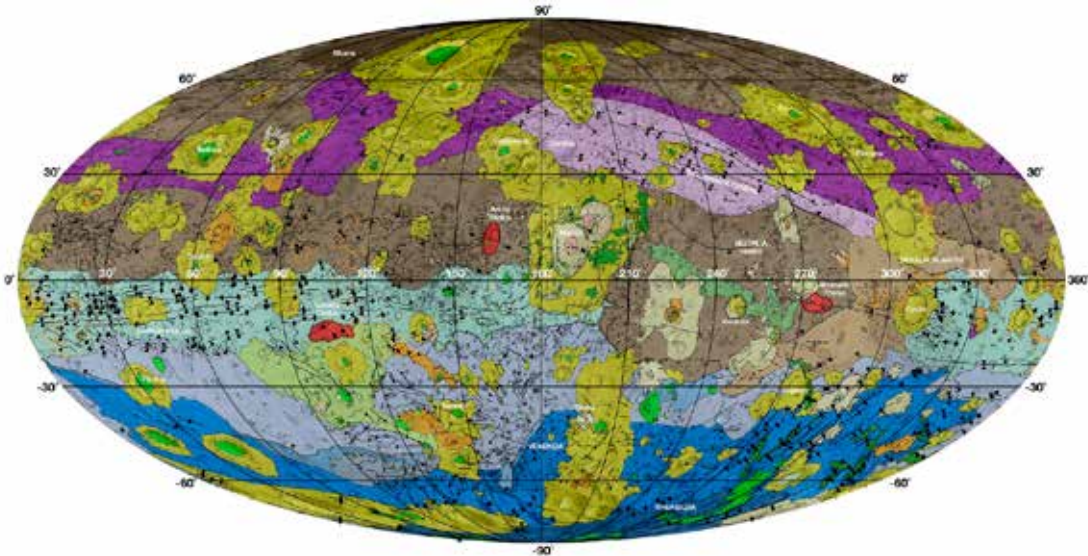
Plus récemment, un autre choc violent a été à l'origine du cratère Marcia<sup>1</sup>.

Établir la chronologie des événements ayant façonné la surface de Vesta n'est pas chose facile. Des séquences peuvent être reconstituées à partir des interactions, des chevauchements entre cratères et fractures. Toutefois, donner des dates précises n'est pas possible. Les astronomes ont établi des modèles à partir de ce que l'on connaît des impacts lunaires ou à partir des fréquences estimées des impacts d'astéroïdes. Le problème est que ces deux types de modèles fournissent des datations très différentes, par exemple 2,1 ou 3,7 milliards d'années pour l'impact de

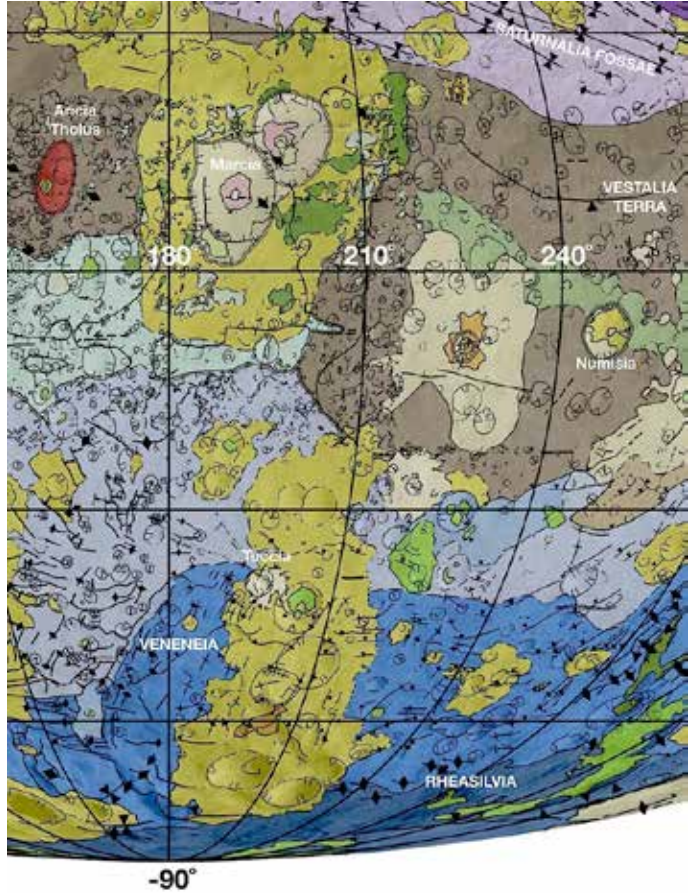
---

1 Ces cratères, comme beaucoup de sites de la petite planète Vesta, ont été nommés (sans grande originalité) en l'honneur de vestales romaines. Parmi celles-ci, rappelons que Rhéa Silvia était la mère de Romulus et Rémus. D'autres personnages, lieux et fêtes de l'antiquité romaine complètent la géographie vestalienne.

**Carte géologique à haute résolution de Vesta obtenue à partir des données de la sonde Dawn.**  
(NASA/JPL-Caltech/ASU)



*Extrait de la carte géologique de Vesta. On y voit les plus vieux terrains, très cratérisés, en brun. Les régions affectées par les impacts Vénééïa et Rhéasilvia sont colorées en violet et bleu clair. L'intérieur des bassins Vénééïa et Rhéasilvia, sous l'équateur, est colorié respectivement en violet clair et bleu sombre. Le vert et le jaune représentent des écoulements relativement récents ou des retombées d'impacts. Les failles tectoniques sont marquées par des lignes noires. (NASA/JPL-Caltech/ Arizona State University)*

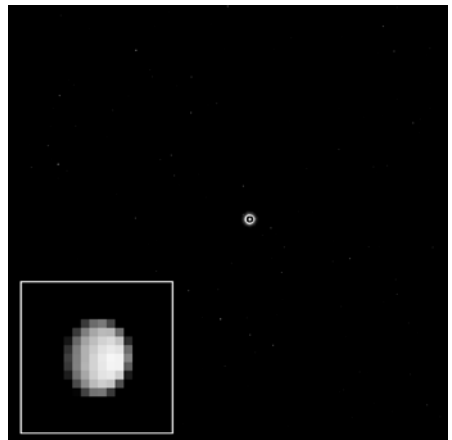


Vénééïa, 1 ou 3,5 milliards d'années pour Rhéa Silvia, 120 ou 390 millions d'années pour Marcia.

On connaît sur terre des météorites basaltiques provenant de Vesta, les HED (howardite-eucrite-diogénite) mais, malheureusement, elles ne permettent pas non plus la datation de terrains spécifiques de Vesta d'où elles pourraient provenir.

Après avoir étudié Vesta, Dawn a repris sa route vers le plus gros astéroïde de la ceinture principale, la planète dite « naine » Cérés, qu'elle atteindra en mars 2015.

*La planète naine Cérés apparaît comme une tache de quelques pixels dans cette image prise par Dawn le 1 décembre d'une distance de 1,2 million de kilomètres. La composition d'une pose longue et d'une courte permet de voir à la fois Cérés et les étoiles du champ. (NASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA)*



## Où est Philae ?

*Basé sur des communiqués du CNRS et de l'université J. Fourier, Grenoble*

La sonde Philae qui s'est posée sur la comète 67P comprend un instrument (CASSE, Cometary Acoustic Surface Sounding Experiment) qui a enregistré le son produit par le premier impact de Philae. Ou plus précisément le son qu'aurait produit l'impact si le son pouvait se propager dans le vide ([www.insu.cnrs.fr/node/5097](http://www.insu.cnrs.fr/node/5097)). Les senseurs de CASSE sont situés sur chacun des trois pieds de l'atterrisseur et étaient actifs le 12 novembre 2014 lors de la descente et au moment du contact avec le sol de la comète. De ce bref signal il est possible de tirer des données scientifiques.

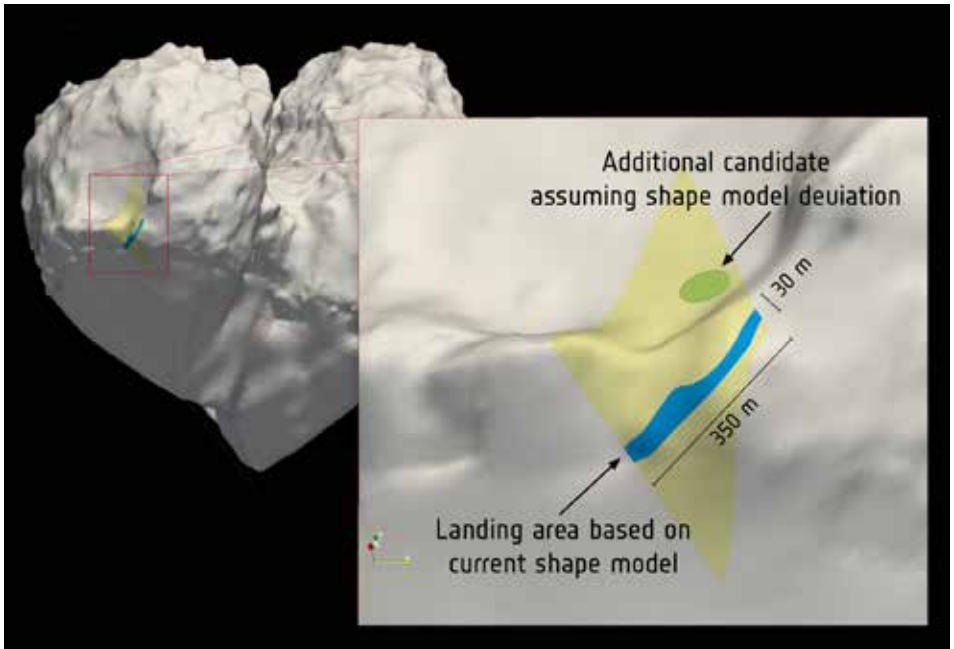
Les signaux acquis par les trois pieds sont en effet plus riches d'information qu'on ne pourrait le croire. Ils révèlent que Philae est entré en contact d'abord avec une surface molle de quelques centimètres d'épaisseur avant de toucher, quelques millisecondes plus tard, une couche sous-jacente plus dure, peut-

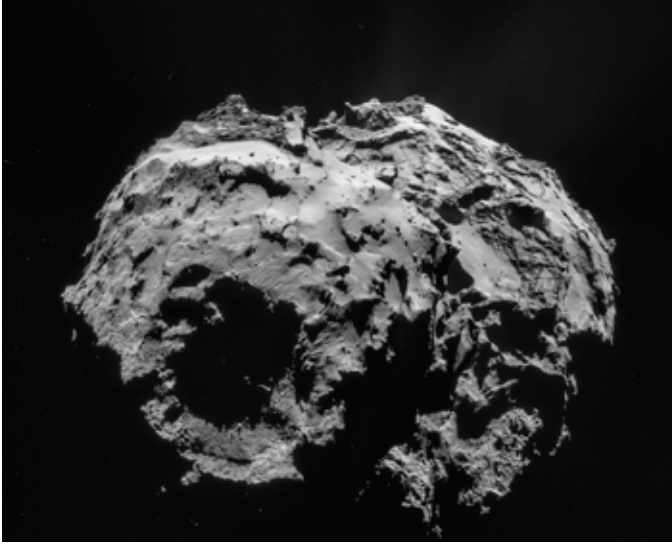
être de la glace. Pendant la phase de descente, CASSE a d'abord détecté des vibrations produites par la roue à inertie qui permet de stabiliser l'engin. Lors du premier impact, CASSE a reçu et enregistré les vibrations des pieds de l'atterrisseur afin d'en déduire les propriétés mécaniques de la surface cométaire. CASSE a également détecté des vibrations lors des opérations de l'instrument MUPUS2.

Des mesures effectuées par d'autres instruments au cours des 60 heures d'opérations de Philae suggèrent que le site sur lequel se trouve la sonde n'est pas actif pour le moment. Une expérience qui consistait à envoyer un courant alternatif entre des électrodes situées dans les pieds de Philae a permis de déterminer que le milieu environnant est sans doute composé d'une importante quantité d'eau.

**Zone de l'atterrissage de Philae estimée grâce à l'instrument CONSERT.**

**(©ESA/Rosetta/Consert/Philae/IPAG, LATMOS, MPS, CNES, DLR)**





*Mosaïque d'images prises par Rosetta le 2 décembre d'une distance de 30 kilomètres du noyau de la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko. (ESA/Rosetta/NAVCAM – CC BY-SA IGO 3.0)*

L'instrument CONSERT (Comet nucleus sounding experiment by radiowave) de la mission Rosetta a réalisé avec succès une série de mesures permettant d'estimer la zone d'atterrissage du module Philae sur la comète 67P.

Grâce aux mesures de la distance entre Rosetta et Philae pendant les périodes de visibilité, et en utilisant d'autres mesures faites à travers le noyau, l'équipe a pu produire une carte donnant la bande de localisation de Philae sur la surface correspondant à ces mesures.

Par ailleurs, la séquence de mesures CONSERT en tomographie en transmission à travers le noyau, qui permettra de réaliser les objectifs scientifiques de l'expérience (détermination de la structure interne, des hétérogénéités, ...), a parfaitement fonctionné. Le signal reçu montre une propagation à l'intérieur de la comète, et l'équipe travaille maintenant sur l'analyse scientifique des données.

L'expérience consiste à faire propager un signal radio (90 MHz) depuis l'atterrisseur posé sur la comète, à travers le noyau cométaire et à le réceptionner sur la sonde en orbite.

À la manière d'une radiographie, le signal ainsi propagé contient des informations sur le milieu qu'il a traversé et permettra d'obtenir des connaissances sur les propriétés physiques et électriques du noyau de la comète, une première et une expérience unique sur Rosetta. Avec plusieurs orbites d'observation, il sera possible d'imager la structure interne dans sa globalité.

L'analyse détaillée du signal radio qui a traversé le noyau de la comète donnera des contraintes fortes sur les matériaux, les inhomogénéités et permettra d'identifier des blocs, des lacunes ou des vides. Les réponses à ces questions devraient permettre de mieux cerner le problème essentiel de la formation des comètes. Se sont-elles formées à partir de grains interstellaires non transformés ou à partir de grains condensés dans la nébuleuse pré-solaire? Comment a opéré l'accrétion? En formant d'abord les cométésimaux et puis par collisions formant des corps kilométriques?

### *Poésie cosmique*

*L'homme rêvait la lune, il l'a prise,  
L'homme n'osait rêver la comète, il l'a  
conquise,  
Philae l'a chevauchée et s'est endormie...  
Rosetta l'accompagne comme une amie  
Près du soleil, Philae se réveillera  
Et comme Icare, s'y brûlera.*

*Paulette Baron*

## L'eau de 67P

Basé sur des communiqués ESA et CNRS

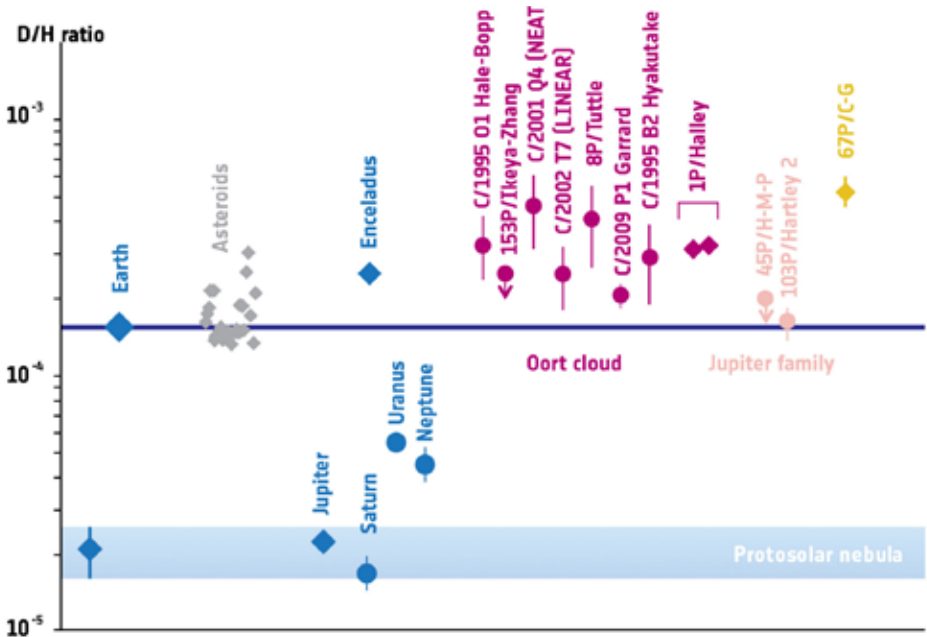
Les premières mesures de l'instrument ROSINA de la mission Rosetta révèlent que le rapport des abondances du deutérium et de l'hydrogène (ou rapport D/H) de la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko est anormalement élevé. Ces résultats infirment l'hypothèse qui attribue une origine cométaire à l'eau présente dans l'atmosphère et les océans terrestres. Ils indiquent également que les comètes de la famille de 67P ne sont pas originaires d'une unique région, la ceinture de Kuiper : certaines pourraient provenir du nuage de Oort.

Nés il y a 4,55 milliards d'années, les différents corps qui composent le Système solaire – Terre, planètes, astéroïdes et comètes – ont été formés à partir du même nuage de gaz et de poussière : la nébuleuse protosolaire. À partir de cette origine commune, ils ont évolué différemment en fonction de leur orbite, et donc

de leur exposition au rayonnement solaire. Très éloignées du Soleil pendant l'essentiel de leur vie, les comètes n'ont pratiquement pas évolué et constituent les témoins privilégiés des conditions qui prédominaient lors de la naissance du Système solaire. La composition isotopique de leurs principaux constituants est donc susceptible de fournir des informations uniques pour décrire les conditions et les processus de la formation du Système solaire, et notamment l'origine de l'eau sur Terre.

Le rapport D/H, constitue un marqueur clé pour déterminer l'origine de l'eau sur Terre et comprendre le rôle qu'ont pu jouer les

*Valeurs des rapports D/H dans différents objets du Système solaire, regroupés par couleur avec les planètes et satellites (bleu), les chondrites de la ceinture d'astéroïdes (gris), les comètes originaires du nuage de Oort (violet) et les comètes joviennes (rose). La comète 67P/Churyumov-Gerasimenko (jaune) possède un rapport D/H différent des comètes de sa famille. © B. Marty/ESA/Altwegg et al.*



comètes et/ou les astéroïdes. L'étude détaillée des premiers spectres obtenus par l'instrument ROSINA, depuis son arrivée au voisinage de la comète, a conduit à une valeur du rapport D/H de  $5,3 \pm 0,7 \cdot 10^{-4}$  alors que sa valeur pour la Terre est  $1,55 \cdot 10^{-4}$ . Ce rapport, fortement enrichi en deutérium par rapport à la Terre, ne concorde donc pas avec les hypothèses qui attribuent une origine cométaire à l'eau présente dans l'atmosphère et les océans terrestres, à l'inverse de ce que laissaient penser d'autres résultats sur les comètes de la famille de Jupiter. La valeur du rapport D/H terrestre étant comprise dans la gamme des rapports D/H des astéroïdes situés entre Mars et Jupiter, l'eau des océans sur Terre pourrait ainsi provenir préférentiellement des astéroïdes et/ou de certaines comètes.

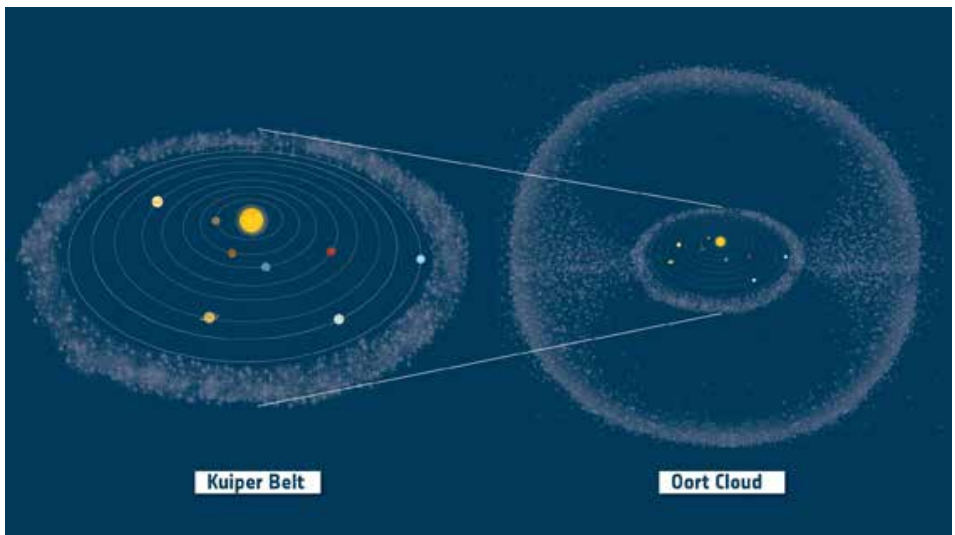
Par ailleurs, les « réservoirs » cométaires sont situés à des distances considérables du Soleil : le nuage de Oort, par exemple s'étend jusqu'à plus de  $10^5$  ua et est la source des comètes de longue période telles Halley. La ceinture de Kuiper, située à plus de 50 ua, est quant à elle connue pour être à l'origine des comètes comme 67P/Churyumov-Gerasimenko dites « comètes joviennes » car les parties loin-

taines de leur orbite sont voisines de l'orbite de Jupiter. Selon les nouveaux résultats de ROSINA, les comètes de cette famille ne proviendraient pas toutes d'une région source unique, la ceinture de Kuiper : certaines pourraient provenir du nuage de Oort.

Les chercheurs souhaitent désormais continuer à décrypter la composition chimique et isotopique de l'atmosphère de 67P/Churyumov-Gerasimenko, notamment pour d'autres espèces gazeuses que l'hydrogène, comme les gaz rares ou l'azote. Ces mesures devraient permettre d'explorer en détail l'origine des éléments volatils sur Terre permettant l'apparition de la vie.

*Les deux principaux réservoirs de comètes du Système solaire sont la ceinture de Kuiper à une distance de 30–50 unités astronomiques (ua) du Soleil et le nuage de Oort qui s'étend peut-être jusqu'à 50 000 ou 100 000 ua.*

*On pense que la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko provient de la ceinture de Kuiper, alors que la célèbre comète de Halley viendrait du nuage de Oort. (ESA)*





## ***Une spirale particulière***

La galaxie J1649+2635 pose un gros problème aux astronomes. C'est une spirale de taille respectable entourée d'un grand halo, et qui émet des jets de particules subatomiques – une caractéristique normalement associée aux elliptiques.

J1649+2635 est la quatrième spirale connue pour émettre des jets. La première a été découverte en 2003 en combinant des observations du VLA (Karl G. Jansky Very Large Array) et du télescope spatial Hubble. La seconde a été trouvée en 2011 grâce à nouveau aux données du VLA et à celles du SDSS (Sloan Digital Sky Survey). La troisième a été découverte cette année, également par la combinaison de données radio et optiques.

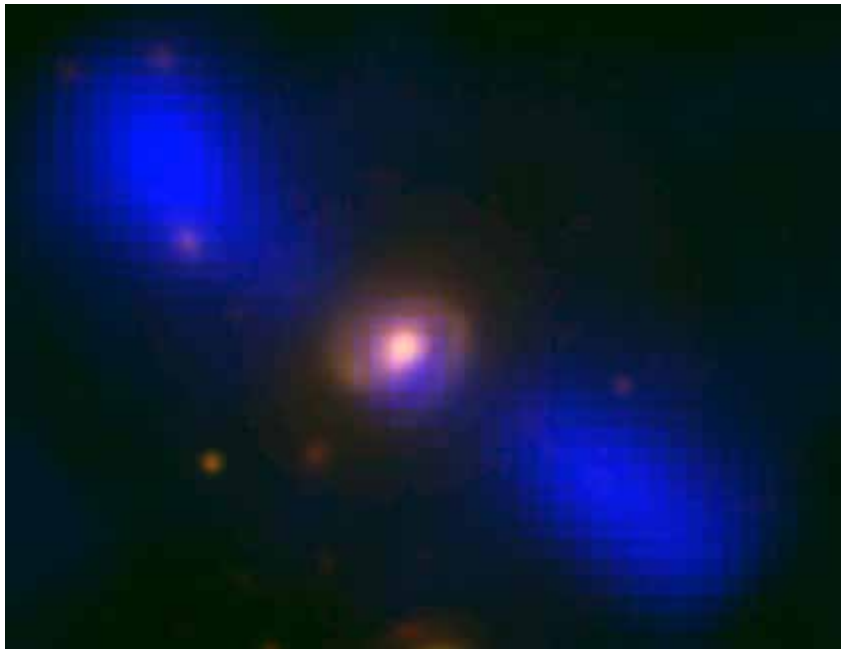
Afin de dénicher d'autres objets de ce type les astronomes ont décidé de faire une recherche systématique. Ils ont tiré parti du projet « citoyen » du Galactic Zoo qui a classé des centaines de milliers de galaxies dans les données du SDSS.

Le catalogue des spirales les plus indiscutables a été croisé avec des catalogues radio de galaxies obtenus grâce au VLA et c'est ce qui a permis de révéler la particularité de J1649+2635.

Des jets comme ceux de J1649+2635 sont propulsés par l'énergie gravifique du trou noir supermassif de la galaxie. La matière qui est attirée vers le trou noir forme un disque en rotation rapide et des particules sont accélérées vers les pôles. Les collisions entre galaxies perturbent les nuages de gaz, apportent ainsi du carburant au trou noir et favorisent le mécanisme d'accélération des jets. Mais on pense que ces collisions détruisent les structures spirales et sont à l'origine des galaxies elliptiques. Comment la galaxie a-t-elle pu préserver sa structure spirale dans une collision ? Est-il possible qu'une autre collision ait pu réamorcer la formation de la structure spirale ?

J1649+2635 ne se singularise pas uniquement par ses jets mais aussi parce qu'elle est le premier exemple d'une grande spirale entourée d'un vaste halo lumineux.

***Composite  
d'images radio  
(en bleu) et  
optique (jaune)  
de la galaxie  
J1649+2635.  
(Mao et al.,  
NRAO/AUI/  
NSF, Sloan  
Digital Sky  
Survey)***



## **Météorite martienne**

*Basé sur un communiqué EPFL-*

La planète rouge héberge-t-elle ou a-t-elle hébergé des formes de vie? Les entrailles d'une météorite martienne relancent le débat.

Éjectée de Mars par l'impact d'un astéroïde, la roche martienne a fini sa course sur la Terre. Tombée dans le désert du Maroc le 18 juillet 2011, sous les yeux de plusieurs témoins, la météorite Tissint présente des cavités remplies de matière carbonée. Plusieurs équipes de recherche ont d'ores et déjà pu démontrer que la météorite venait de Mars et que ce composant était de nature organique. Le débat fait rage, toutefois, sur l'origine de ce carbone.

Des analyses chimiques, microscopiques et isotopiques de cette matière carbonée ont conduit les chercheurs à plusieurs conclusions. Ils ont pu clairement exclure une éventuelle origine terrestre pour la matière organique, en montrant notamment que ces inclusions avaient été piégées dans la météorite avant qu'elle ne soit éjectée de Mars en direction de la Terre.

Mais surtout, les chercheurs ont remis en cause des conclusions antérieures, qui expliquaient que le composé organique pouvait provenir de la cristallisation à très haute

température d'un magma. Or, selon ce travail, il est plus probable que cette matière, de type kérogène, ait été déposée à basse température dans ces fissures près de la surface de Mars, par infiltration d'un liquide riche en composés organiques. Un phénomène qui s'est produit dans les couches superficielles de la planète rouge.

Ces conclusions sont étayées par plusieurs propriétés de la matière carbonée présente dans la météorite. Par exemple, le taux particulièrement bas d'un isotope de carbone ( $^{13}\text{C}$ ). Cette dernière valeur est nettement inférieure au taux de  $^{13}\text{C}$  rencontré dans le  $\text{CO}_2$  de l'atmosphère martienne, mesuré par les sondes Phoenix et Curiosity. Or cette différence correspond très exactement à celle que l'on peut observer sur Terre entre un morceau de charbon, d'origine biologique, et le carbone de l'atmosphère. Cette matière organique aurait pu être apportée sur Mars par la chute de météorites très primitives, les chondrites carbonées. Mais ce scénario est peu plausible à cause des faibles concentrations de matière organique dans ces dernières.

Ces conclusions ne sont pas définitives. Elles sont toutefois de nature à relancer activement le débat consacré à l'existence possible d'une activité biologique sur Mars, du moins dans le passé.

*L'analyse minutieuse des traces de carbone trouvées à l'intérieur de la météorite martienne Tissint plaide en faveur d'une origine biologique de ces inclusions. Celles-ci seraient dues à l'infiltration d'un liquide riche en matière organique dans les fissures de la roche lorsque celle-ci était encore sur la Mars.*  
© Alain Herzog / EPFL

