

L'astronomie dans le monde

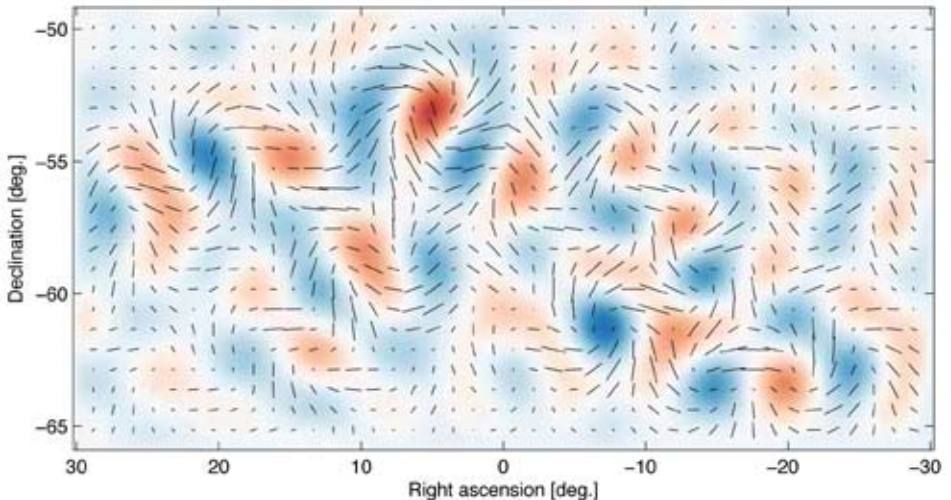
BICEP2

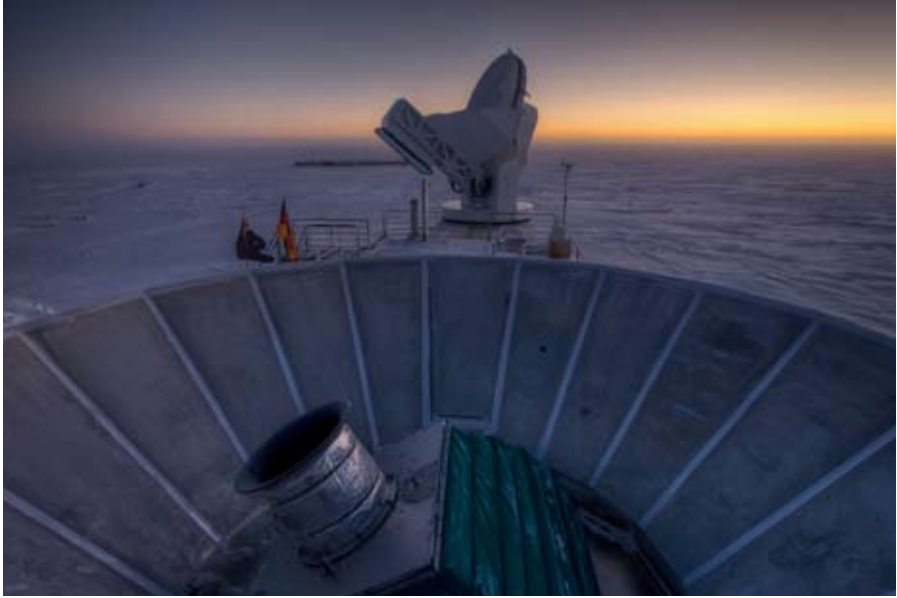
Les astronomes ont peut-être réussi d'une pierre trois coups en démontrant tout à la fois la réalité du Big Bang, de la phase d'inflation initiale de l'Univers, et des ondes gravitationnelles. Ces résultats exceptionnels proviennent d'une analyse soignée du rayonnement de fond micro-onde du cosmos (CMB), et plus particulièrement d'un type spécial de polarisation de ces ondes, le « mode B ». L'espace est déformé par le passage des ondes gravitationnelles et l'alternance de compressions et de dilatations polarise la lumière d'une manière caractéristique.

Pour détecter ces infimes perturbations du fond micro-onde, les scientifiques ont dû observer depuis un site le plus pur et le plus sec possible, le haut plateau de l'Antarctique à des milliers de mètres d'altitude. Plusieurs équipes se sont attaquées au problème et observaient une région du ciel connue sous le nom de « trou austral » car elle permet de

sonder l'Univers très loin, à l'abri de la contamination de la Voie lactée. La timbale a été décrochée par BICEP2 et la découverte semble déjà validée par une autre expérience, le réseau Keck. Les observations consistaient à mesurer les variations du CMB sur le ciel en des points écartés d'un à cinq degrés et correspondant aux vagues subsistant 380 000 ans après le Big Bang, lorsque la matière dispersée sous la forme d'un plasma s'est découplée du rayonnement. L'Univers est devenu transparent au rayonnement électromagnétique et c'est le moment le plus reculé à partir duquel on peut tracer des photons. À leur grande surprise, les astronomes ont observé un signal nettement plus fort que ce que les théoriciens avaient prédit.

Mode B. Carte de la polarisation – en rouge ou bleu selon le sens horlogique, ou anti-horlogique. (Collaboration BICEP2)





L'an passé, un télescope voisin, le SPT (South Pole Telescope) avait décelé le mode B de polarisation sur une échelle plus fine, moins d'un degré, et résultant d'un autre effet, la courbure de l'espace par des galaxies (cf *Le Ciel*, septembre 2013, 330).

L'idée qui prévaut est que ces ondes gravitationnelles ont été créées durant la période d'inflation. Il faut un phénomène extrêmement violent pour en produire, par exemple la collision d'étoiles à neutrons. L'inflation satisfait à ce critère : c'est l'événement le plus violent qu'a connu l'Univers. Mais des théoriciens ont émis des doutes sur l'origine des ondes que l'on a détectées. Elles pourraient être dues à un « changement de phase », une espèce de remise en ordre de l'Univers ayant eu lieu après l'inflation.

En accordant du crédit à la théorie de l'inflation, ce résultat conforte l'hypothèse des « multivers ». Le taux d'expansion variait d'un endroit du Cosmos à l'autre, créant ainsi des bulles d'espace-temps, de nouveaux univers qui se développent ensuite indépendamment avec leurs propres lois.

Coucher de Soleil derrière BICEP2 et le télescope SPT (South Pole Telescope) à la station Amundsen-Scott de la National Science Foundation.
(Steffen Richter, BICEP)

Les mesures semblent prouver que la gravité est quantifiée. Elles sont compatibles avec les « grandes théories unifiées » (GUT) en plaçant l'unification des forces forte, faible et électromagnétique à une énergie de l'ordre de $2 \cdot 10^{25}$ eV. au moment de l'inflation, lorsque l'Univers n'avait que 10^{-37} seconde.

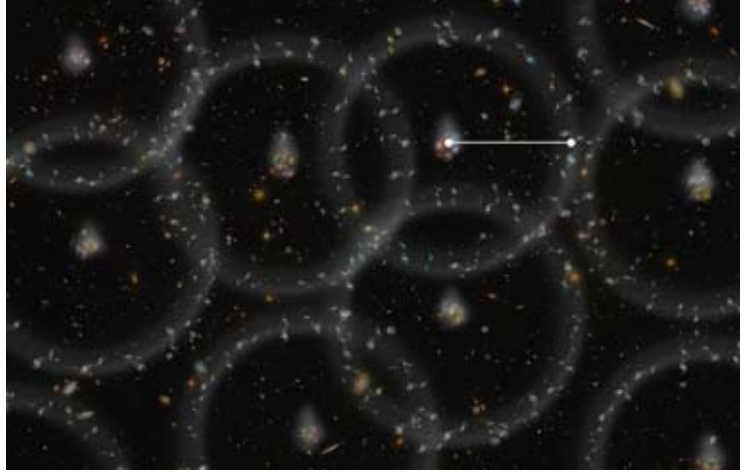
L'importance de la découverte demande encore des confirmations. L'analyse de la polarisation B du fond micro-onde pourrait avoir négligé des effets locaux. On pense par exemple à l'émission polarisée de poussières contenant du fer ou des molécules ferromagnétiques et qui seraient associées à d'anciennes enveloppes de supernovæ. On attend avec impatience les conclusions des autres équipes du pôle sud ainsi que ceux de la mission spatiale Planck qui, jusqu'à présent, n'a pas encore fourni les résultats concernant la polarisation.

BOSS

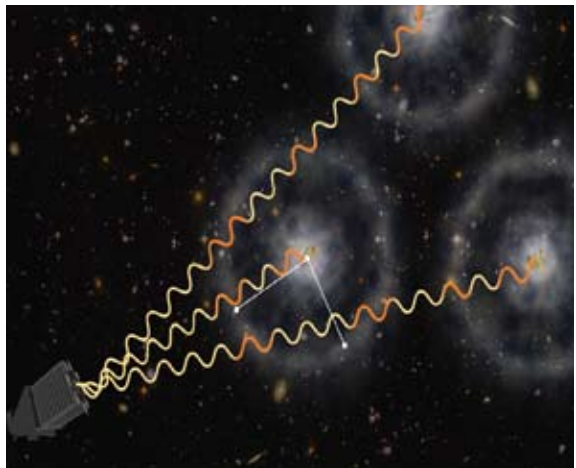
La mesure des BAO (oscillations acoustiques des baryons) dans le cadre du projet BOSS du SDSS-III a permis de déterminer les distances intergalactiques jusqu'à six milliards d'années-lumière avec une précision d'un pour cent. Cette mesure suggère que l'énergie noire n'a pas varié au cours de l'histoire de l'Univers. Les observations ont également mesuré la vitesse d'expansion de l'Univers avec une précision inégalée, 2,2%.

Ces résultats ont demandé l'observation de plus d'un million de galaxies. Ils sont basés sur la détection des oscillations acoustiques des baryons, des ondes qui traversaient le plasma primordial, très chaud et très dense, avant l'époque de la recombinaison. Les protons et les neutrons (les baryons) étaient alors couplés avec la lumière (les photons). Les oscillations ont ensuite évolué sous la seule influence de la gravitation et de l'expansion de l'Univers et ont laissé une empreinte qui se marque dans la distribution actuelle de la matière à grande échelle, et donc des galaxies.

BOSS peut se servir des quasars pour déterminer la répartition du gaz sur la ligne de visée grâce au spectre d'absorption et mesurer les échelles caractéristiques. Cela a permis d'évaluer la vitesse d'expansion de l'Univers lorsque celui-ci n'avait que trois milliards d'années. (Zosia Rostomian, Lawrence Berkeley National Laboratory, Andreu Font-Ribera, BOSS Lyman-alpha team, Berkeley Lab.)



Vue d'artiste des ondes produites par les oscillations de baryons. Les galaxies actuelles tendent à se concentrer sur les maximums des ondes. En mesurant les dimensions caractéristiques et en les comparant aux prévisions théoriques, les astronomes parviennent à estimer très précisément la distance des galaxies. (Zosia Rostomian, Lawrence Berkeley National Laboratory)



Graines de trous noirs

Les galaxies naines n'ont guère subi de collisions et ressemblent aux galaxies primordiales qui abondaient dans l'Univers jeune. Elles offrent ainsi aux astronomes l'occasion d'étudier ce qui se passait dans les galaxies à cette époque et, en particulier, comment les trous noirs se développaient. Le rayonnement infrarouge est idéal pour cette exploration puisqu'il peut traverser les brumes de poussières interstellaires obscurcissant les noyaux galactiques.

L'observatoire spatial infrarouge WISE a découvert des centaines de galaxies naines montrant un trou noir central. Des milliers de fois plus massifs que le Soleil, ces trous noirs sont plus lourds que ce que l'on attendait.

Les graines à partir desquelles se développent les trous noirs supermassifs des grosses galaxies sont donc plus grosses que prévu. Les collisions et fusions entre galaxies ne semblent pas nécessaires pour la croissance des trous noirs puisque les galaxies naines n'en ont pas connues dans leur existence. Partant de trous noirs déjà importants, on peut imaginer que les trous supermassifs des grosses galaxies se forment plus rapidement qu'on ne le croyait jusqu'ici.



La galaxie NGC 4395 vue en infrarouge par le télescope spatial Spitzer. Cette galaxie naine, mille fois moins massive que la Voie lactée, ne présente pas de bulbe central. Un autre observatoire spatial infrarouge de la NASA, WISE, a montré que les galaxies de ce type, contrairement aux théories en vigueur, possèdent un trou noir central supermassif. Le trou noir central est la source brillante dans le noyau. (NASA/JPL-Caltech)

El Gordo

L'amas de galaxies le plus massif connu - « El Gordo » ou ACT-CL J0102-4915 - est encore plus lourd qu'on ne le croyait, 3 000 fois plus que la Voie lactée. La majorité de cette masse est de la matière noire.

*El Gordo, par le HST.
(NASA, ESA, J. Jee /
University of
California, Davis)*



La nouvelle détermination de la masse a été obtenue grâce au télescope spatial Hubble en tirant profit du phénomène de lentille gravitationnelle provoqué par l'amas sur les objets en arrière plan.

Astéroïdes

La diversité des astéroïdes n'est plus à démontrer, mais les dernières observations ont révélé qu'ils pouvaient encore nous surprendre. Soyons en sûrs, ils ont encore plus d'un tour dans leur sac, à commencer par des anneaux avec Chariklo, le premier spécimen connu d'astéroïde annelé que nous décrivons dans l'article p. 262. On pensait que ces ornements étaient l'apanage des planètes géantes. Qu'un petit caillou en soit affublé est des plus étonnant. Combien de petits mondes tournent ainsi aux confins du Système solaire munis de ce genre d'affûtiaux ?

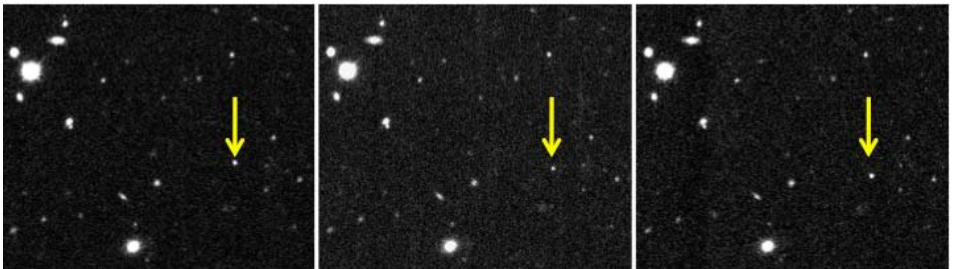
Au-delà de Neptune, la ceinture de Kuiper groupait les astéroïdes les plus lointains connus jusqu'à la découverte de (90377)

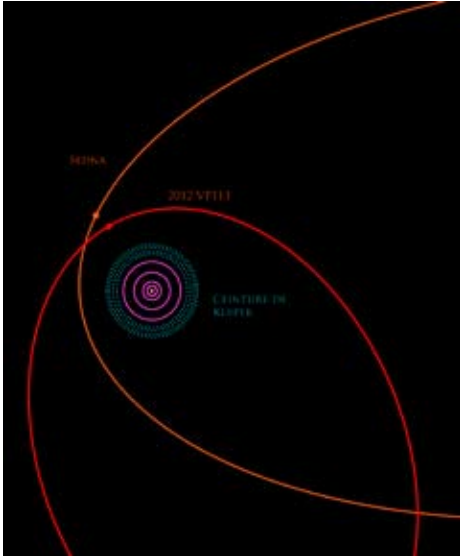
Images de découverte de 2012 VP113, le premier objet de la ceinture interne de Oort. Les poses séparées de deux heures datent du 5 novembre 2012 et ont été prises avec la caméra DECam au télescope de 4 mètres de Cerro Tolol (CTIO, Chili). (Scott S. Sheppard/ Carnegie Institution for Science)



*Vue d'artiste de Chariklo.
(ESO/L. Calçada/M. Kornmesser/
Nick Risinger)*

Sedna (= 2003 VB12). Sa distance périhélique est de 76 unités astronomiques (et son aphélie de 937 au !), alors que la ceinture de Kuiper s'arrête à 50 au. Tous les astéroïdes connus avaient des distances périhéliques moindres et seuls quelques-uns s'aventuraient au-delà pendant une partie de leur orbite. Expliquer la présence de Sedna dans ce no man's land du Système solaire n'était pas facile. Il est trop éloigné pour avoir pu être éjecté par Neptune. Est-il le premier représentant du nuage d'Oort, ou son orbite reflète-t-elle l'influence gravitationnelle d'une étoile passant près du Soleil ? Ou encore, serait-il arrivé là à la suite de perturbations provoquées par une autre

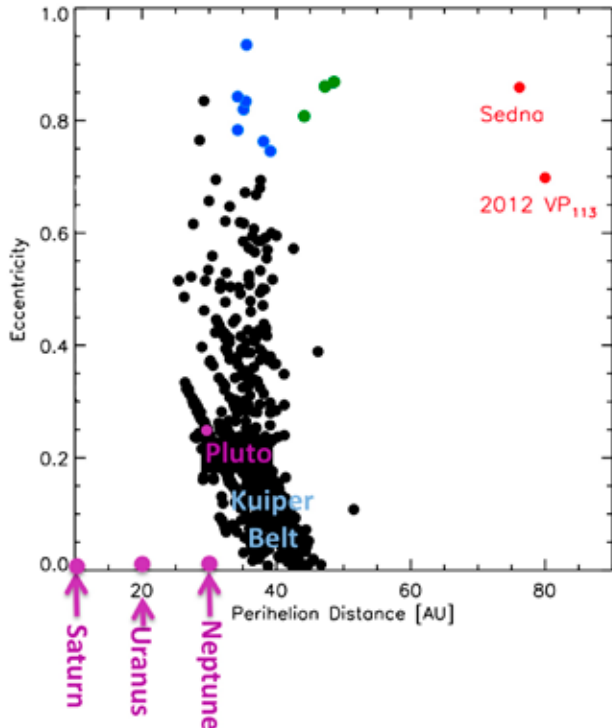




Orbites de Sedna, Biden et Neptune. Les périhélies des deux astéroïdes sont étonnamment proches. (S. Sheppard / Carnegie Inst. of Science)

Astéroïdes lointains représentés selon leur distance au Soleil et l'excentricité de leur orbite. En noir les objets de la ceinture de Kuiper. Les objets exceptionnels ont des orbites avec un demi-grand axe de plus de 150 au et se répartissent :

- en bleu dans le disque « éparpillé » avec des distances périhéliques de moins de 44 au;*
- en vert dans le disque « détaché » avec des distances périhéliques entre 44 et 50 au;*
- en rouge dans le nuage d'Oort intérieur, avec des distances périhéliques de plus de 50 au. (S.S. Sheppard, C. Trujillo)*



planète, beaucoup plus grosse, trop lointaine pour être connue, une mystérieuse planète X ?

Le problème est éclairé d'un jour nouveau par la découverte d'un clone de Sedna, 2012 VP113, surnommée (provisoirement) Biden en allusion au VP, le Vice-Président des USA. Ses distances péri- et aphéliques sont respectivement de 80 au et 472 au.

La découverte de Biden a été faite grâce à la rare et efficace combinaison d'une caméra à très grand champ (Dark Energy Camera, DECam, de 570 mégapixels) et d'un grand télescope, le télescope de 4 mètres Victor M. Blanco de Cerro Tololo, au Chili. Le télescope Magellan a servi à préciser l'orbite et les principales caractéristiques physiques. En extrapolant à tout le ciel les résultats des recherches effectuées dans une région relativement petite, les inventeurs estiment que 900 objets de plus de mille kilomètres doivent avoir des orbites du même genre. Ajoutons que les deux astres

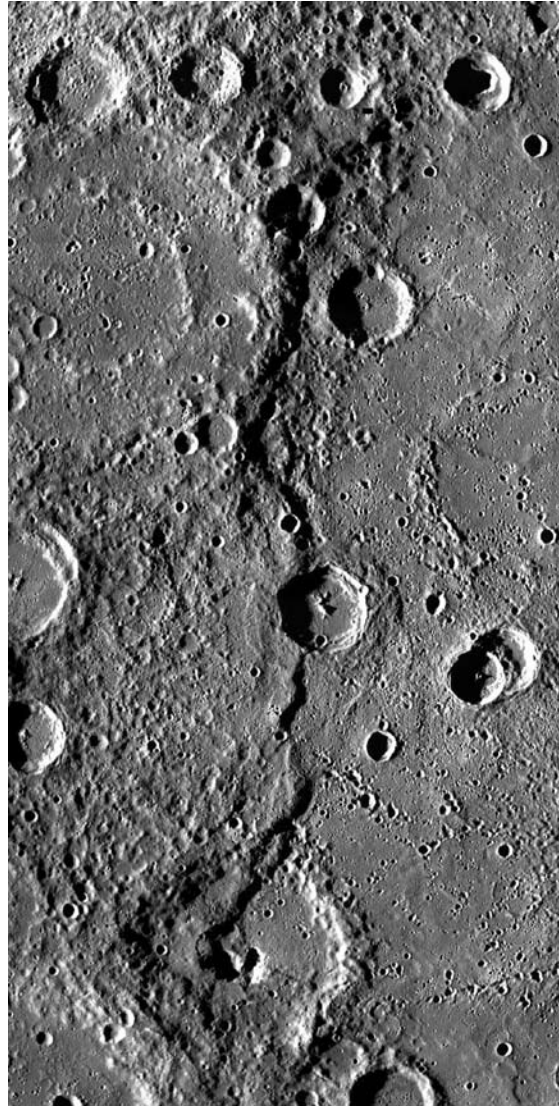
ont été découverts, très logiquement, près de leur périhélie, là où ils passent le moins de temps, et que la plupart des objets similaires sont actuellement beaucoup plus lointains et invisibles.

Les astronomes suggèrent qu'une hypothèse plausible pour expliquer cette famille d'objets est l'existence d'une planète X, de type super-Terre à environ 250 au. Trop éloignée pour être visible avec les télescopes actuels, elle échappe encore aux surveys. Elle est aussi trop froide pour être décelable en infrarouge par un télescope spatial comme WISE. Rappelons que les observations de ce dernier conduisent à exclure l'existence de planètes X très lointaines, plus grosses que Saturne ou Jupiter (cf *Le Ciel*, avril 2014, 215). Cela n'interdit pas la présence de planètes plus petites, du type de Neptune ou Uranus.

En attendant de découvrir cette éventuelle planète X, les astronomes, utilisant la même caméra DECam, ont glané deux naines potentielles dans la ceinture de Kuiper, 2013 FY27 et 2013 FZ27. Avec des diamètres évalués à 1 000 et 600 kilomètres respectivement, ces objets devraient être en équilibre hydrostatique, c'est-à-dire arrondis et lissés sous leur propre poids. Ils viendraient s'ajouter à Cérés, Pluton, Hauméa, Makémaké et Éris, des naines reconnues, et aux naines candidates 2007 OR10, Charon, Quaoar, Sedna, Orcus, 2002 MS4 et Salacie. La liste risque fort de s'allonger assez rapidement et l'on comprend pourquoi les astronomes ont voulu modifier la taxonomie du Système solaire en limitant la définition des planètes « tout court » aux huit premières.

Mercur

Comme un fruit qui s'est ratatiné en séchant, Mercure a bien rapetissé depuis l'époque de sa formation il y a quelque quatre milliards et demi d'années. Après une phase de fusion, la surface de la planète s'est solidifiée avant le reste et a formé une croûte rigide, d'un seul tenant. Contrairement à la Terre, où la croûte est morcelée en de nombreuses plaques tectoniques indépendantes glissant les



Victoria Rupes qui s'étend sur la hauteur de cette image est l'une des marques remarquables du rétrécissement de Mercure. (NASA / JHU-APL / Carnegie Inst. of Washington)

unes sur les autres, on peut dire que Mercure n'a qu'une seule plaque et celle-ci ne dispose d'autres moyens pour rétrécir que de se plisser, se crevasser.

Les astronomes ont étudié théoriquement le phénomène en tenant compte de la structure interne spécifique de la planète, en particulier de la présence d'un gros noyau métallique, et ils étaient arrivés à une diminution de 5 à 10 kilomètres du rayon de Mercure (actuellement de 2 440 kilomètres). Les estimations basées sur les images prises par la sonde Mariner 10 en 1974 et 1975 ne donnaient qu'un rétrécissement de 0,7 à 3 kilomètres. Mais en raison de la rotation lente de la planète, la sonde n'avait pu photographier qu'une partie de la surface. La mission Messenger, actuellement en orbite autour de Mercure, a complété et précisé la cartographie. Les astronomes ont ainsi réalisé que la surface de Mercure n'était pas homogène et que le rétrécissement n'a pas été subi de la même façon partout – par exemple les grands bassins d'impact de Caloris et Rembrandt sont postérieurs à l'époque de refroidissement le plus rapide et ne peuvent être inclus dans les estimations. Les valeurs trouvées à partir de l'analyse de deux séries distinctes d'accidents géologiques donnent des fourchettes de 3,7 à 5,5 kilomètres et de 4,7 à 7,1 kilomètres, en bien meilleur accord avec la théorie.

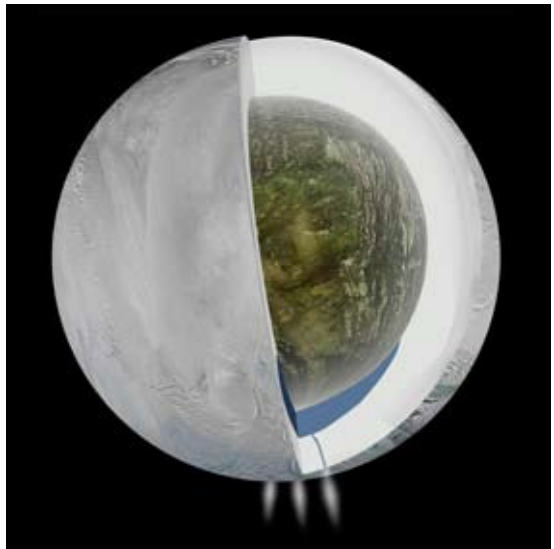
Encelade

La lune de Saturne, Encelade, est connue pour les geysers jaillissant de crevasses en son pôle sud. Lors de plusieurs passages rapprochés, et même lors de traversées, la sonde Cassini a pu étudier les jets de vapeur d'eau et de cristaux de glace mêlés d'autres volatils, méthane, éthane, propane, acétylène, azote, dioxyde de carbone... mais aussi des sels de sodium, le tout contribuant à alimenter l'anneau E de Saturne.

L'origine de ces émanations, le cryovolcanisme, s'explique par un échauffement dû en partie aux effets de marées provoqués par

les interactions dans le système de Saturne. Le bilan énergétique demande cependant d'autres sources, et l'on ne comprend pas non plus pourquoi la région polaire australe est privilégiée.

L'analyse de la trajectoire de Cassini lors de ses rencontres avec Encelade a permis d'en préciser le champ gravifique et, de là, la structure interne de la lune. Il s'avère qu'il doit exister un énorme lac sous le pôle sud, si grand qu'il pourrait même s'étendre sous la surface d'Encelade jusqu'à l'équateur, voire sous l'hémisphère nord. L'épaisseur de cet océan souterrain est de l'ordre d'une dizaine de kilomètres et il se trouve à une profondeur de 30 à 40 kilomètres. On ne sait pas si ce réservoir est directement connecté à la source des geysers, mais la présence d'eau, de sel et de molécules organiques sous le pôle sud d'Encelade fait de cette lune un des sites les plus plausibles pour abriter la vie dans le Système solaire.

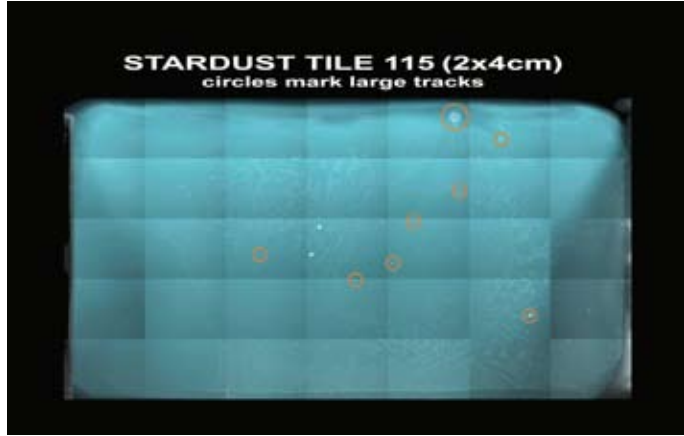


Structure possible de la lune de Saturne Encelade avec un noyau rocheux peu dense et une enveloppe glacée. Pris entre les deux, au sud, un immense lac d'eau est peut-être connecté à la source des geysers. (NASA/JPL-Caltech)

Stardust

Lancée en 1999 la sonde Stardust de la NASA est passée près de la comète Wild 2 en janvier 2004. Sa mission était de récolter des particules cométaires, et donc des témoins de l'origine du Système solaire, à l'aide d'une époussette en aérogel dans laquelle les grains arrivant à grande vitesse (environ 26 km/s) s'emprisonnent sans se volatiliser. En plus de capturer des poussières de comète, la sonde Stardust a dragué l'espace interplanétaire pendant plusieurs mois pour capturer des particules étrangères provenant, espérait-on de l'espace interstellaire. La comparaison des deux types d'échantillon devait donner des indications sur la formation des comètes et du Système solaire.

Les poussières cométaires ont surpris les astronomes. Loin d'être relativement primordiales, elles montraient des signes d'échauffement, de fusion. Il est clair qu'elles



Un petit élément du capteur en aérogel montrant des traces d'impact. (NASA/JPL)

avaient dû passer un certain temps au centre de la nébuleuse circum solaire, près du Soleil, avant d'en être transportées à la périphérie et de s'agglomérer en comètes. Les particules interstellaires, primitives, beaucoup plus fines,

ont brillé par leur rareté. La recherche de leurs traces dans le capteur en aérogel s'apparentait à celle de la proverbiale aiguille dans la botte de foin et les scientifiques ont fini par la confier au projet internet stardustathome. Grâce à l'aide de plus de 30 000 bénévoles, sept traces de poussières interstellaires ont été identifiées qui feront le bonheur des cosmogonistes une fois les études chimiques et isotopiques réalisées.

Le collecteur de Stardust. (NASA/JPL)

