

L'astronomie dans le monde



Planète X

Basé sur un communiqué CNRS

L'analyse des données de la sonde Cassini permet de contraindre la position d'une neuvième planète éventuelle telle qu'envisagée par Konstantin Batygin et Mike Brown (cf *Le Ciel*, mars 2016, p 138). Ces derniers s'étaient basés sur la répartition particulière des objets de la ceinture de Kuiper et avaient déterminé une orbite possible de demi-grand axe de 700 UA, de forte excentricité ($e=0,6$) (voir Figure 2) et de grande inclinaison (30°). Ils n'avaient cependant placé aucune contrainte sur la position actuelle de la planète sur cette orbite. Ceci ne facilite pas la tâche des observateurs qui doivent scruter toutes les directions possibles en longitude sur 360° pour tenter de l'apercevoir.

Grâce aux données de la sonde Cassini, la distance entre la Terre et Saturne est connue avec une incertitude de l'ordre de 100 mètres. En utilisant un modèle développé par les observatoires de Paris et de la Côte d'Azur, les astronomes ont pu montrer que, selon sa position par rapport au périhélie (« true anomaly » sur la figure 1), cette neuvième planète induit des perturbations de l'orbite de Saturne qui peuvent être détectées par l'analyse des données de la sonde Cassini.

Pour des directions par rapport au périhélie inférieures à 85° ou supérieures à -65° , les perturbations induites par la 9^e planète sont

incompatibles avec les distances observées par la sonde Cassini, de même que pour des directions entre -130° et -100° (Fig. 1).

Ce résultat permet d'exclure une moitié des directions en longitude dans laquelle la planète ne peut pas se trouver (Fig. 2).

D'autre part, il apparaît que pour certaines directions, l'ajout de la neuvième planète réduit les écarts entre le modèle calculé

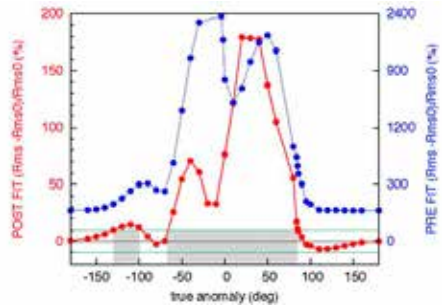


Figure 1 : Les données radio de la sonde Cassini fournissent une mesure très précise de la distance Terre-Saturne, avec un résidu de 75 m. Si on rajoute la 9^e planète dans le modèle, les écarts entre calcul et observation se dégradent considérablement (en bleu). Après réajustement de tous les paramètres du système solaire, ces différences sont fortement réduites (en rouge). Un excès de résidus de plus de 10% après ajustement est le signe de non existence de la planète (zone grise) (voir Fig. 2).

par les astronomes et les distances observées, par rapport à un modèle qui ne comprendrait pas cette neuvième planète. Ceci rend plausible la présence de celle-ci dans une zone comprise entre 108° et 129° par rapport au périhélie, avec un maximum de probabilité pour 118° (Fig. 2).

L'existence d'une neuvième planète ne pourra cependant être confirmée que par son observation directe.

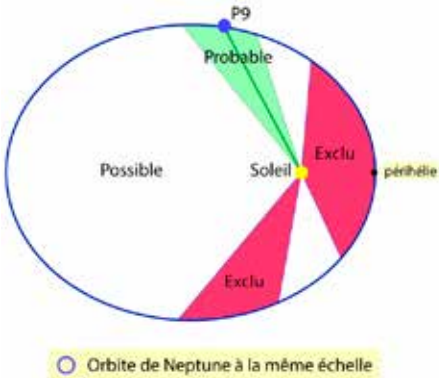
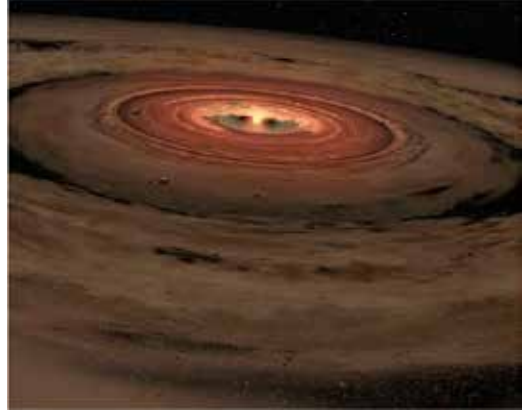


Figure 2 : *Orbite d'une possible neuvième planète. L'analyse des données de la sonde Cassini permet de définir des zones interdites (en rouge) où les perturbations sont incompatibles avec les observations, et une zone probable (en vert) où l'introduction de la planète améliore le modèle de prédiction des distances Terre-Saturne. Le minimum des résidus, et donc l'emplacement le plus probable pour une planète, est donné en P9.*

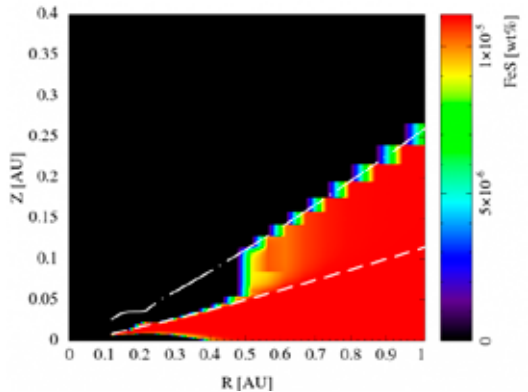
Poussières présolaires

Basé sur un communiqué CNRS

Grâce à des simulations numériques de pointe, les astronomes ont évalué la composition chimique de la poussière dans la nébuleuse solaire (voir la répartition des sulfures dans la figure ci-contre), le mince disque de gaz et de poussière qui entourait le Soleil jeune et à partir duquel les planètes se sont formées.



Représentation artistique de la nébuleuse solaire et de son disque de gaz et de poussière entourant le Soleil jeune. (© NASA)



Les scientifiques ont calculé la composition chimique de la poussière dans la nébuleuse qui entourait le Soleil jeune. Ici : la répartition des sulfures (avec à gauche le Soleil jeune). (© Francesco Pignatale)

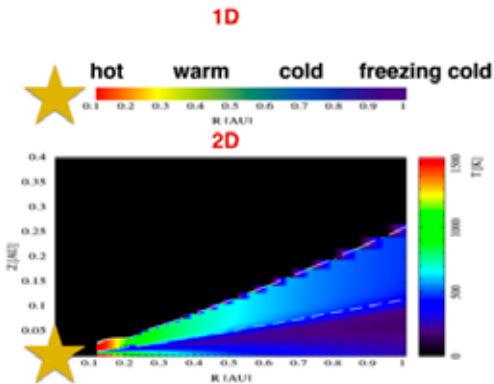
Jusqu'alors, il était supposé que les matériaux réfractaires (résistants aux hautes températures) seraient situés près du Soleil jeune, alors que les matériaux volatils (tels que les glaces et les composés soufrés) se formeraient loin du Soleil où les températures sont plus basses. Toutefois, les nouvelles cartes révèlent une distribution chimique plus complexe de la poussière, avec des matériaux réfractaires également présents à de grandes distances du Soleil à la surface du disque.

Des matériaux volatils ont aussi été trouvés dans le disque interne près du Soleil jeune.

L'épaisseur de la nébuleuse, bien que réduite, permet d'avoir des régions de relativement haute température à de grandes distances du Soleil. Ces régions se situent à la surface du disque et sont chauffées par les rayons solaires.

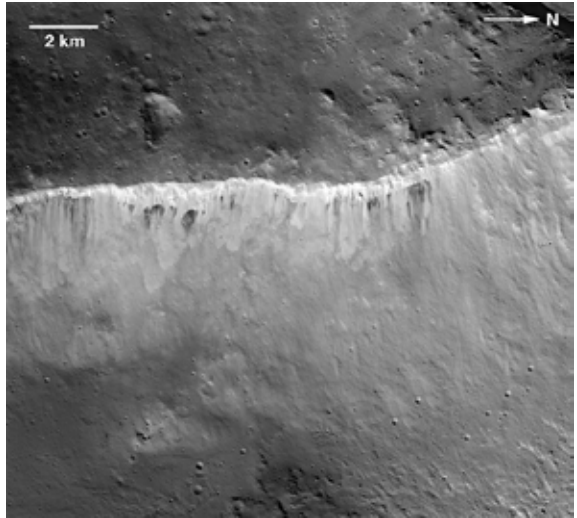
De la même manière, il existe également des régions plus froides dans le disque interne proche du Soleil. À cet endroit, de fortes concentrations de poussières empêchent le rayonnement solaire de chauffer efficacement l'environnement local (voir figure ci-dessous). Ceci peut expliquer la coexistence de matériaux réfractaires et volatils observés dans les météorites ou sur la planète Mercure.

Températures dans la nébuleuse qui entourait le Soleil jeune.
(Francesco Pignatale)



Vesta

Les traces du bombardement intensif (LHB) du début du Système solaire ont disparu de Vesta. La surface de l'astéroïde a été grenailée par les innombrables impacts ultérieurs et resurfacée par les secousses et retombées consécutives aux plus violents d'entre eux.



Vesta – ci-dessus, le cratère Marcia – montre des zones brillantes où le terrain est primitif, et des zones assombries par le dépôt de matières carbonées lors d'impacts.
(NASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA/LPI/ASU)

Chondrites

Certaines météorites, les chondrites riches en métaux, montrent une composition isotopique semblable à celle que l'on attendrait du nuage primordial. Ces chondrites proviennent probablement d'astéroïdes qui se sont formés loin du Soleil, tout comme les comètes. Ces dernières contiendraient donc elles aussi des matériaux non contaminés. Ces deux types d'objets seraient les meilleurs témoins de la formation du Système solaire externe.

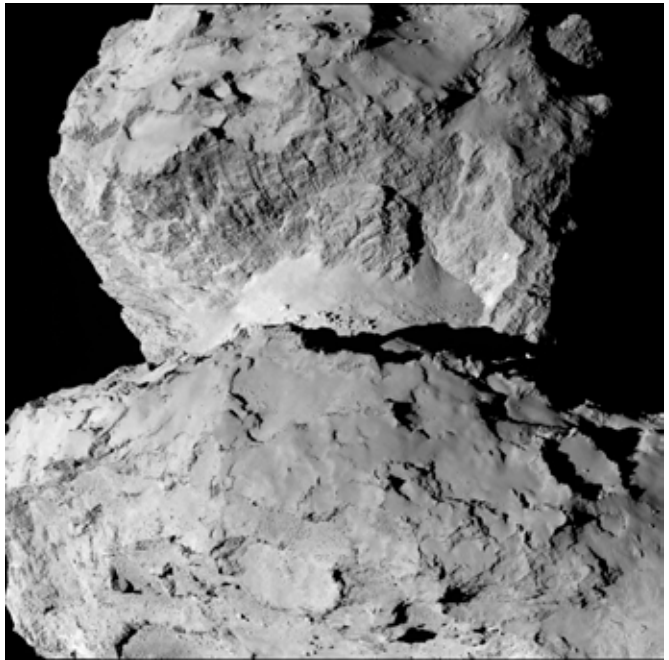
La glace des comètes

Basé sur un communiqué CNRS

La mission Rosetta nous dévoile peu à peu les secrets des comètes. Ainsi elle a permis de trancher une question vieille de plusieurs décennies : la nature de leurs glaces. Deux grandes hypothèses s'affrontaient jusqu'ici : celle d'une glace cristalline, où les molécules d'eau sont arrangées de manière périodique, et celles d'une glace amorphe, où les molécules d'eau sont désordonnées. Un problème rendu d'autant plus sensible par ses implications sur l'origine et la formation des comètes et du Système solaire.

C'est l'instrument Rosina de la sonde Rosetta qui aura permis de répondre à cette question. Ce spectromètre de masse a d'abord mesuré, en octobre 2014, les abondances du diazote (N_2), du monoxyde de carbone (CO) et de l'argon (Ar) dans la glace de la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko. Ces données ont été comparées à celles obtenues en laboratoire dans des expériences sur de la glace amorphe, ainsi qu'à des modèles décrivant la composition d'hydrates de gaz, un type de glace cristalline où les molécules d'eau peuvent emprisonner des molécules de gaz. Les proportions de diazote et d'argon retrouvées sur 67P correspondent bien à celles du modèle des hydrates de gaz alors que la quantité d'argon est cent fois inférieure à celle que la glace amorphe peut piéger. La glace de la comète possède donc bien une glace de structure cristalline.

Cette découverte est capitale car elle permet de dater la naissance des comètes. En effet, ces hydrates sont des glaces cristallines qui se sont formées dans la nébuleuse primitive du Système solaire à partir de la cristallisation de grains de glace d'eau et de l'adsorption de molécules de gaz sur leurs surfaces au cours du lent refroidissement de la nébuleuse. Si les comètes sont composées de glace cristalline, cela signifie qu'elles se sont forcément formées en même temps que le Système solaire, et non auparavant dans le milieu interstellaire. La structure cristalline des comètes prouve également que la nébuleuse primitive était suffisamment chaude et dense pour sublimer la glace amorphe qui provenait du milieu interstellaire. Les hydrates de gaz agglomérés par 67P ont dû se former entre -228 et $-223^\circ C$ pour reproduire les abondances observées. Ces travaux confortent également les scénarios de formation des planètes géantes, ainsi que de leurs lunes, qui nécessitent l'agglomération de glaces cristallines.



Le noyau de la comète 67P vu par la sonde Rosetta. (ESA)

Les « marais salants » de Titan

Basé sur un communiqué CNRS

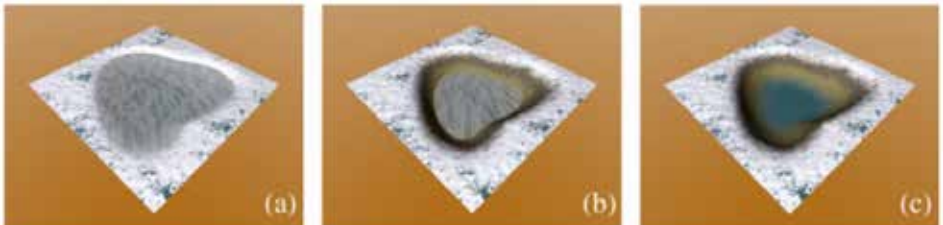
Le plus important satellite de Saturne, Titan, possède de nombreuses caractéristiques qui en font un objet unique. Parmi celles-ci, la présence de lacs qui ont été détectés dès 2007 grâce au radar de la sonde Cassini. Ces étendues liquides participent au cycle hydrologique du méthane. En effet, la température à la surface de ce satellite, voisine de -183°C , implique une hydrologie et une géologie très exotiques. Ainsi, la croûte titannienne est sans doute majoritairement composée de glace d'eau sur laquelle se trouvent des dépôts de matières organiques plus ou moins solubles dans le méthane et l'éthane liquide. En 2011, des observations infrarouges et radar ont permis de mettre en évidence des dépôts « évaporitiques ». Localisés dans le lit de lacs asséchés ou en cours d'assèchement, ces dépôts devraient avoir une composition variée. C'est ce qui vient d'être démontré : des simulations numériques indiquent que les bords de ces dépôts pourraient être formés de cyanure d'hydrogène, de dioxyde de carbone, de benzène..., tous à l'état solide et bien différents du carbonate de calcium et du chlorure de sodium, dont on est familier sur Terre.

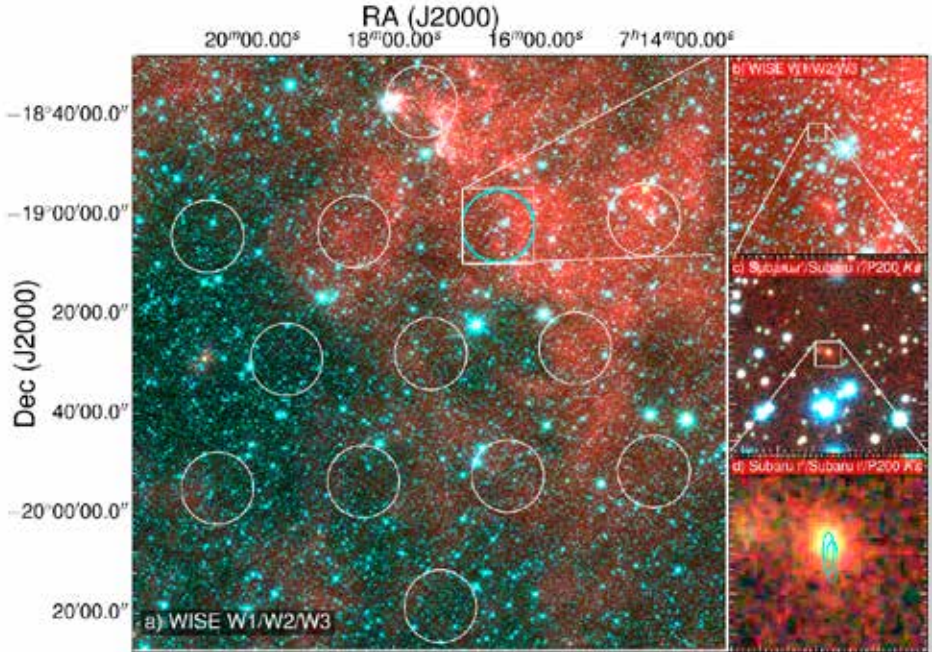
Les observations faites avec les instruments à bord de Cassini et les modèles d'atmosphère, incluant la photochimie, nous renseignent sur la nature de ces composés. Certains, rencontrant les conditions favorables à leur condensation, précipitent à la surface de Titan sous forme liquide (c'est le cas de l'éthane) ou solide (comme pour le benzène ou le butane). À ceci s'ajoute le cycle hydrologique du méthane dans la troposphère de Titan : des périodes d'averses de méthane,

conduisant au remplissage des lacs, sont suivies par des périodes plus sèches pendant lesquelles une évaporation significative peut avoir lieu. Durant celle-ci, les espèces organiques dissoutes peuvent atteindre la saturation et précipiter sur le fond du lac. C'est ce scénario qui est schématisé sur la figure ci-dessous. L'épaisseur des dépôts évaporitiques ne devrait pas excéder quelques millimètres si l'évaporation d'une colonne initiale de 100 mètres de liquide en est à l'origine. Cependant, la répétition annuelle, au cours de l'histoire de Titan, de cycles de précipitation/évaporation a pu conduire à des épaisseurs beaucoup plus importantes.

Globalement, les résultats des simulations sont en accord avec ce qui est observé avec les instruments de Cassini. En outre, le grand pouvoir solvant trouvé pour l'éthane liquide peut expliquer l'absence d'évaporites dans la région du lac Ontario situé dans la zone polaire sud de Titan. Finalement, le radar montre une surface au centre des dépôts très brillante aux longueurs d'onde centimétriques. Ce fait intrigant peut être expliqué par l'existence de deux phases cristallines, comme suggéré par les simulations montrant les présences concomitantes de butane et d'acétylène solide.

Vue d'artiste représentant la formation de dépôts évaporitiques à la surface de Titan. (a) La dépression servant de lit est remplie de méthane liquide, (b) le méthane s'est partiellement évaporé, laissant apparaître sur les bords deux types d'évaporite, (c) le liquide s'est totalement évaporé. Les trois zones de couleurs différentes correspondent à trois types d'évaporites (éventuellement composées d'un mélange de plusieurs espèces organiques). (Daniel Cordier)





FRB

On a pu identifier pour la première fois la source d'un FRB (*Fast Radio Burst*), l'un des mystérieux flashes brillants apparaissant dans le ciel radio et ne durant que quelques millisecondes. L'origine et la nature de ces phénomènes étaient inconnues et on a cru que cette première identification permettait de lever le voile sur cette énigme. La réalité est cependant plus complexe.

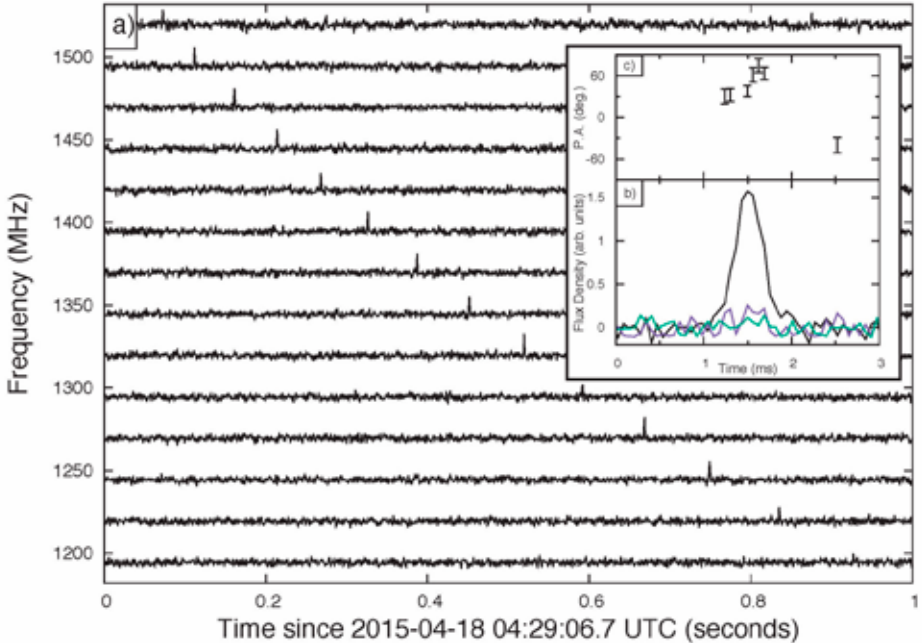
Ce FRB, le dix-septième jamais observé, avait été détecté le 18 avril 2015 avec le radiotélescope de 64 mètres de Parkes, en Australie. C'était le premier FRB observé en direct, les autres avaient été découverts en analysant des observations d'archives des mois ou des années après l'événement. Les astronomes de l'Université Technologique de Swinburne (Australie) avaient mis au point un système de veille pour prendre un FRB en flagrant délit et c'était la première occasion de le tester. Une alerte globale avait alors été déclenchée et le réseau ATCA (Australian Telescope Compact

Le FRB détecté par le radiotélescope de Parkes était situé dans le cercle cyan. À droite, des zooms successifs conduisent vers l'image prise au télescope Subaru avec la position de l'afterglow observé par ATCA représentée par des ellipses.
(D. Kaplan/UWM) E.F. Keane/SKAO).

Array) de six antennes de 22 mètres a permis de localiser la source du flash avec une assez bonne précision. Un « afterglow » a été observé qui s'est éteint après six jours.

Le lendemain, le télescope Subaru de 8 mètres de Hawaii révélait l'hôte possible du FRB, une galaxie elliptique distante de six milliards d'années-lumière, distance qui a été déterminée par le décalage Doppler du spectre (le redshift).

Jusque-là, les astronomes n'avaient que la « mesure de dispersion » une quantité mesurant le retard des ondes radio en fonction de leur fréquence. Les ondes radio ralentissent lorsqu'elles traversent des nuages



Les signaux observés à des fréquences décroissantes montrent un retard de plus en plus grand dans l'apparition du FRB. (E.F. Keane/SKAO)

interstellaires et intergalactiques et le retard qu'elles prennent dépend de leur fréquence. La mesure de dispersion permet d'estimer la quantité de matière traversée. Si l'on a connaissance de la distance, on peut estimer la densité de l'Univers et comparer cela avec les modèles de distribution de la matière dans l'Univers. En quelque sorte on pèse l'Univers.

Il s'avère que les observations du FRB sont en accord avec le modèle actuel qui voit l'Univers fait de 70% d'énergie noire, 25% de matière noire et 5% seulement de matière normale – matière normale dont on n'observe directement qu'une moitié (étoiles, gaz ...) l'autre moitié étant la matière « manquante ». C'est cette matière manquante normale

(« baryonique ») que le FRB a permis d'évaluer. Ce n'est pas la première fois que l'on dit découvrir ces baryons manquants. Il y a plus de dix ans, des observations X du spectre de blazars avaient montré qu'ils se cachaient dans le gaz intergalactique chaud, ce que confirme le FRB (voir aussi « la répartition des galaxies », p. 219).

Quant à l'origine du FRB, elle n'est pas élucidée mais s'il provient d'une galaxie elliptique, pratiquement dénuée d'étoiles jeunes, il a dû être produit par des étoiles vieilles, peut-être par la coalescence d'une binaire. Ce serait alors une source d'ondes gravitationnelles, ces vibrations de l'espace-temps que l'on vient de détecter pour la première fois avec LIGO.

Mais, sitôt cette découverte annoncée, une autre équipe communiquait un résultat en totale contradiction. Les FRB ne seraient pas révélateurs de phénomènes aussi cataclysmiques mais des hoquets d'astres lointains.

Il s'avère en effet qu'un même astre a été à l'origine d'une série de FRB observés

depuis novembre 2012, dont huit le 2 juin dernier. Un événement catastrophique, comme l'effondrement du cœur d'une supernova ou la coalescence d'étoiles à neutrons, ne peut naturellement pas se répéter. Ces FRB avaient d'autres particularités et pouvaient rappeler les pulsars très magnétisés comme celui du Crabe. Si une périodicité pouvait y être découverte, le lien serait probablement établi. La mesure de dispersion indique une origine lointaine, et donc une puissance considérable, ce qui pointe aussi vers les étoiles à neutrons comme sources probables.

Il est curieux, voire très suspect, d'obtenir coup sur coup deux explications différentes pour un mystère qui occupe les astronomes depuis une décennie. S'agit-il vraiment d'une contradiction ? L'un des résultats serait-il erroné ? Ou les FRB sont-ils constitués d'au moins deux classes d'objets distincts ? Souvenons-nous que les sursauts gamma (GRB) étaient longtemps restés mystérieux avant d'être classés en catégories d'origines différentes, la coalescence d'étoiles à neutrons et l'effondrement d'étoiles massives.

Ondes gravitationnelles

Coincidence ou pas, une fraction de seconde après la détection d'ondes gravitationnelles par LIGO (*Le Ciel*, mars 2016, p. 148) le télescope spatial Fermi observait un éclair de rayons gamma. On s'attend

pourtant à ce que la fusion de deux trous noirs ne génère pas de lumière. Les trous noirs de 29 et 36 masses solaires auraient dû coalescer sans émettre autre chose que des ondes gravitationnelles.

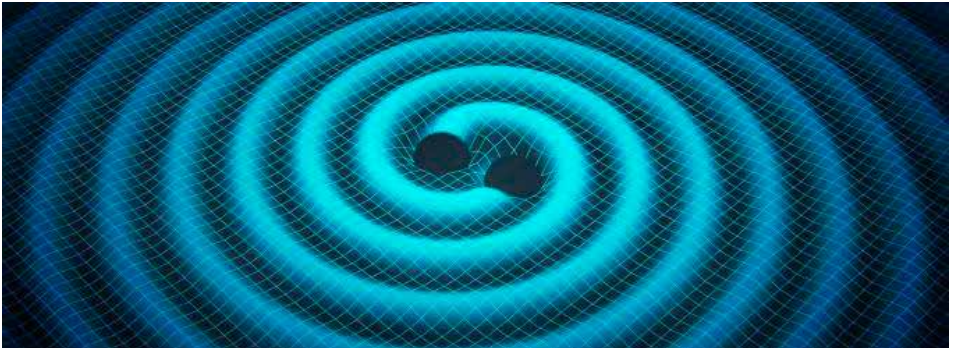
Il en irait autrement cependant si les trous noirs étaient au sein d'une même étoile. Lorsqu'une étoile massive meurt, son cœur s'effondre en un trou noir, mais si elle tourne très vite sur elle-même, le cœur peut s'étirer comme un diabolò et se scinder en deux, chacun devenant un trou noir distinct.

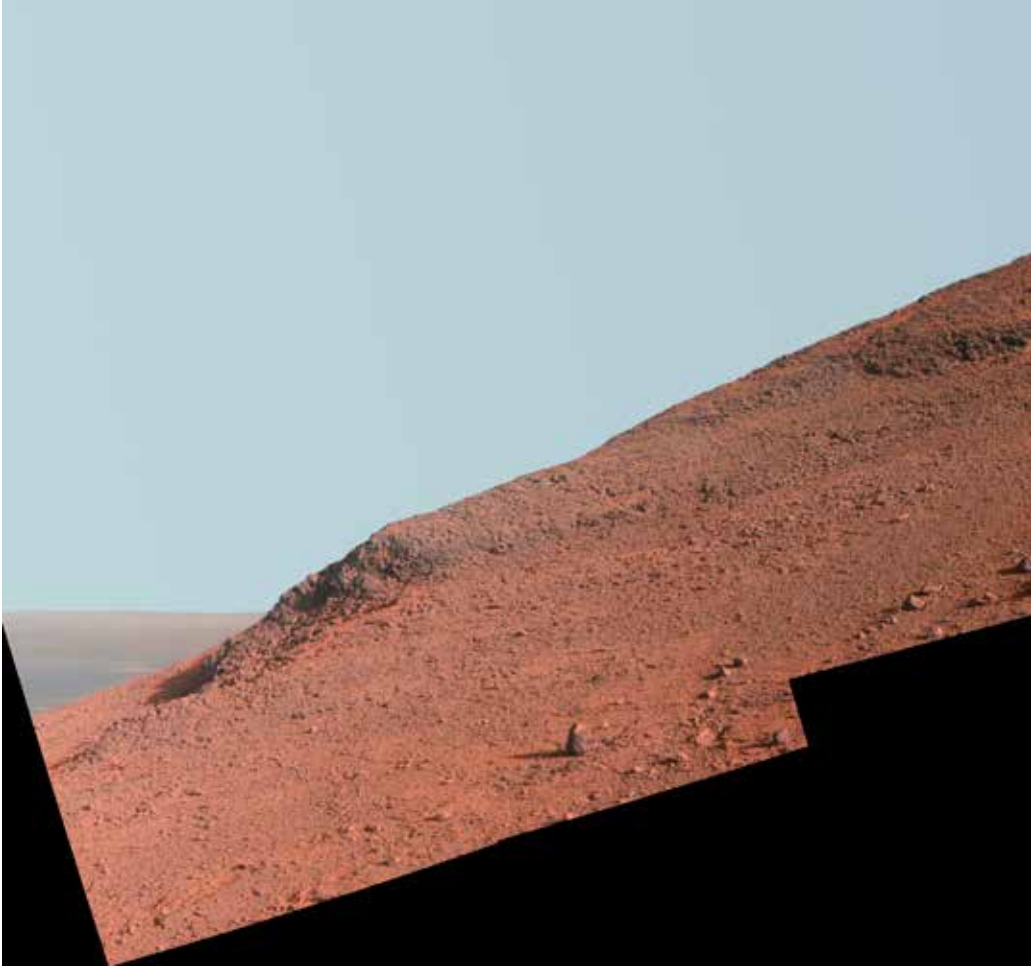
Ce scénario n'est pas improbable. En effet, une étoile très massive résulte très souvent de la coalescence de deux étoiles, et il est donc normal qu'elle tourne très rapidement sur elle-même.

Dès l'apparition de la paire de trous noirs, l'enveloppe s'effondre sur eux. Ils se rejoignent, fusionnent et une bonne partie de l'étoile est avalée. Les jets puissants émis sont à l'origine d'un éclair gamma. Est-ce cela que Fermi a observé ? Ce n'est pas sûr, d'autant que le satellite gamma INTEGRAL n'a pas confirmé cette détection.

L'observation simultanée de sursauts gamma et d'ondes gravitationnelles offrirait de nouvelles possibilités pour les astronomes, en particulier en cosmologie. La simplicité des trous noirs, définis simplement par leur masse et leur spin, en ferait des indicateurs de distance idéaux.

© NASA





Rovers martiens

Le vétéran Opportunity s'attaque à l'une des tâches les plus difficiles en ses douze années de trekking sur Mars. Il a abordé une pente de 30° connue sous le nom de Knudsen Ridge dans l'espoir d'étudier des roches qui ont pu être exposées à l'eau il y a des milliards d'années. Ces roches rougeâtres se détachent du fond uniforme. Opportunity a déjà pu en examiner dans la vallée de Marathon¹, mais

celles du Knudsen Ridge promettent d'être plus « pures ».

Depuis leur arrivée sur Mars en 2004, Opportunity et son jumeau Spirit ont trouvé de multiples traces de la présence d'eau dans des temps reculés, mais c'était chaque fois de l'eau acide. Le satellite martien MRO (Mars Reconnaissance Orbiter) a détecté des traces d'argile dans la région de Marathon, et plus spécifiquement à l'endroit des roches rouges, ce qui laisse penser qu'il y a eu de l'eau plus neutre, plus favorable à la vie.

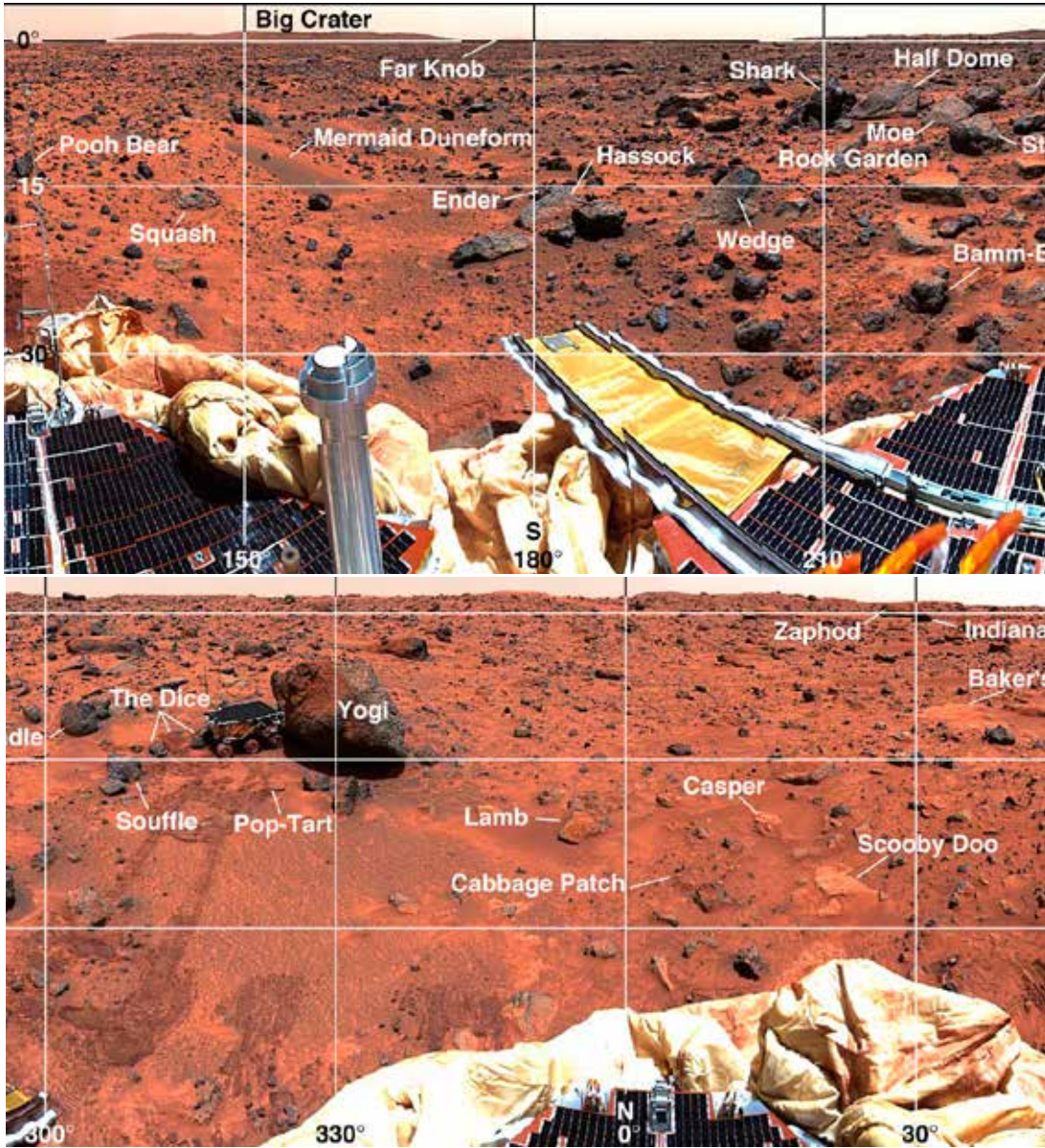
¹ Vallée ainsi nommée car le rover y est arrivé après 42,2 kilomètres, la longueur d'un marathon



Spirit et Opportunity ont tout deux largement excédé leur mission initiale de trois mois. Spirit s'est éteint en mars 2010 tandis qu'Opportunity continue son exploration. Il caracole sur les bords du cratère Endeavour de 22 kilomètres de diamètre depuis août 2011.

Le Knudsen Ridge est au bord ouest du cratère. Il doit son nom au planétologue et astrophysicien danois Jens Martin Knudsen (1930-2005).

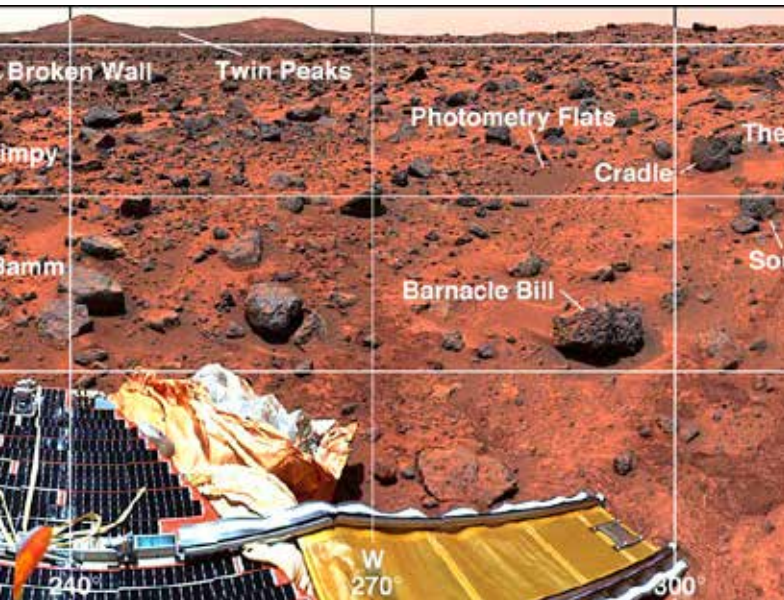
Panorama du Knudsen Ridge pris par le rover martien Opportunity. Images prises les 29 et 30 octobre 2015. (NASA/JPL-Caltech/Cornell University/Arizona State University)



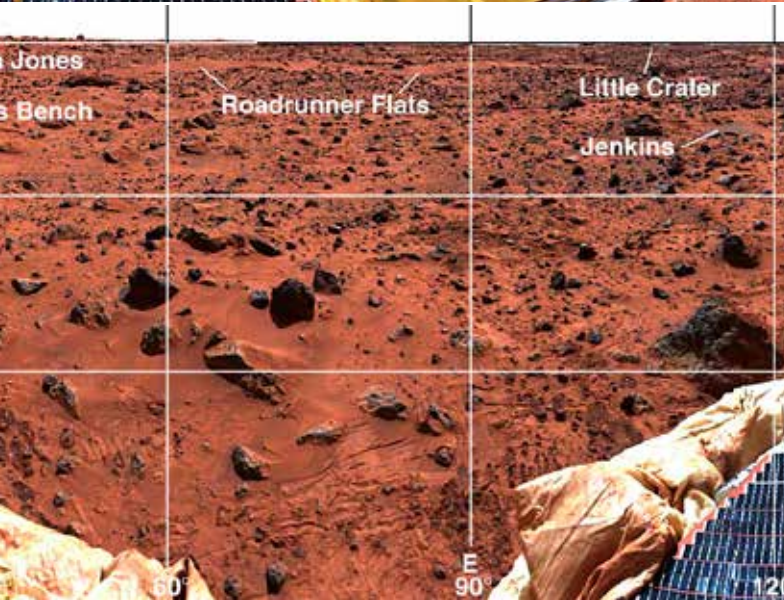
Bien avant les rovers jumeaux, la NASA en avait envoyé un autre, plus petit en éclaireur, Sojourner, abrité dans la sonde Pathfinder qui a atterri sur Mars le 4 juillet 1997. Tout comme pour Opportunity et Spirit on avait

utilisé une technique d'airbags, ceux-ci amortissant les chocs à chaque rebond.

Au cours de sa mission qui s'est interrompue le 27 septembre 1997, Pathfinder a envoyé plus de 16 500 images. Le rover



La NASA nous donne une vue reprocessée avec les techniques actuelles d'un panorama pris par l'ancêtre Sojourner en 1997 et montrant entre autre le rover Pathfinder près du rocher Yogi. (NASA/JPL)



Sojourner en a envoyé 550 le long de son parcours d'une centaine de mètres à la surface de la Planète rouge. Pathfinder et Sojourner ont ouvert la voie non seulement à Spirit et Opportunity, mais aussi à Curiosity, descendu en douceur en août 2012 grâce à une « grue volante ».

Mars

Basé sur un communiqué CNRS

Mars n'a pas toujours eu le visage que nous lui connaissons. Il y a 3 à 3,5 milliards d'années, la planète a subi un grand basculement. Ce n'est pas l'axe de rotation de Mars qui a bougé (phénomène que l'on appelle variation de l'obliquité) mais les parties externes (manteau, croûte) qui ont tourné par rapport au noyau interne – un peu comme si l'on faisait tourner la chair d'un abricot autour de son noyau ! Ce phénomène avait été prédit théoriquement, mais jamais encore démontré. Un tel processus a d'ailleurs pu se dérouler sur d'autres planètes, dont la Terre, mais sur Terre, la tectonique des plaques en a effacé les traces éventuelles.

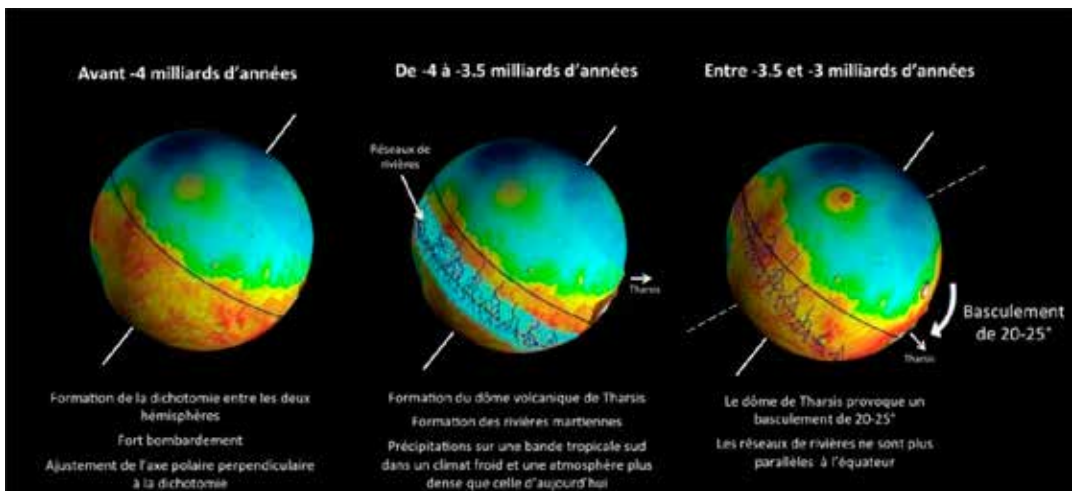
L'origine de ce basculement ? Le gigantesque dôme volcanique de Tharsis, siège du géant Olympus Mons. Sa formation a débuté il y a plus de 3,7 milliards d'années, vers 20° de latitude nord et l'activité volcanique s'est poursuivie pendant plusieurs centaines de millions d'années jusqu'à former un plateau de plus de 5 000 km de diamètre, d'environ 12 km d'épaisseur en moyenne et d'une masse d'un milliard de milliards de tonnes (1/70 de la Lune). Une masse telle qu'elle a fait pivoter

la croûte et le manteau de Mars. Le dôme de Tharsis s'est alors retrouvé sur l'équateur, ce qui correspond à sa nouvelle position d'équilibre.

Avant ce basculement, les pôles de Mars étaient donc différents. En 2010, on avait pu démontrer grâce à un modèle géophysique que, si on retire le dôme de Tharsis de la planète, celle-ci s'oriente différemment par rapport à son axe. Une nouvelle étude montre pour la première fois que les rivières étaient à l'origine réparties sur une bande tropicale sud d'une planète Mars tournant autour de pôles décalés d'une vingtaine de degrés par rapport aux pôles actuels. Ces pôles sont cohérents avec ceux calculés précédemment de façon indépendante. Cette corrélation remarquable est confortée par des observations de la région de ces anciens pôles montrant des traces de fonte et de retrait de glaciers, et des preuves de glace souterraine.

Un tel basculement n'est pas anodin sur la physiologie de la planète. La forme de la planète dans cette configuration primitive a été recalculée, afin d'en examiner les conséquences sur le visage de la planète Mars

*Une nouvelle chronologie pour Mars.
(Sylvain Bouley)*



Le nouveau visage de la planète Mars primitive. Voici à quoi devait ressembler la planète Mars il y a 4 milliards d'années avec une position différente des pôles, des précipitations sur une bande tropicale sud à l'origine des réseaux de rivières et des volcans actifs permettant au dôme de Tharsis de se développer et de faire basculer la surface de Mars après la fin de l'activité fluviale (survenue il y a 3,5 milliards d'années). (Didier Florentz)



primitive. Cette étude modifie profondément le scénario généralement accepté, selon lequel le dôme de Tharsis se serait majoritairement formé avant 3,7 milliards d'années et pré-existerait aux rivières puisque c'est lui qui leur imprimerait leur sens d'écoulement. La topographie calculée démontre que malgré un relief différent avec ou sans Tharsis, la plupart des rivières coulent dans les deux cas des hauts terrains cratérisés de l'hémisphère sud vers les plaines basses de l'hémisphère nord. Cette observation suggère que les rivières peuvent tout à fait être contemporaines de la formation du dôme de Tharsis.

La topographie de Mars avant le basculement permet également d'étudier le climat primitif de la planète. Les modèles climatiques mettent en évidence, en présence d'un climat froid et d'une atmosphère plus dense que celle d'aujourd'hui, une accumulation de glaces

autour de 25° sud, dans les régions qui correspondent aux sources des rivières aujourd'hui asséchées.

Cette étude bouleverse notre représentation de la surface de Mars telle qu'elle a dû être il y a 4 milliards d'années, et modifie aussi profondément la chronologie des événements. Selon ce nouveau scénario, la période de stabilité de l'eau liquide permettant la formation de vallées fluviales est contemporaine, et sans doute une conséquence, de l'activité volcanique du dôme de Tharsis. Le grand basculement déclenché par Tharsis a eu lieu après la fin de l'activité fluviale (-3,5 milliards d'années) et a ainsi donné à Mars le visage qu'on lui connaît aujourd'hui. Désormais, quand on s'intéressera à l'époque primitive de Mars – pour chercher des traces de vie ou d'un océan, par exemple – il faudra apprendre à penser avec cette nouvelle géographie.

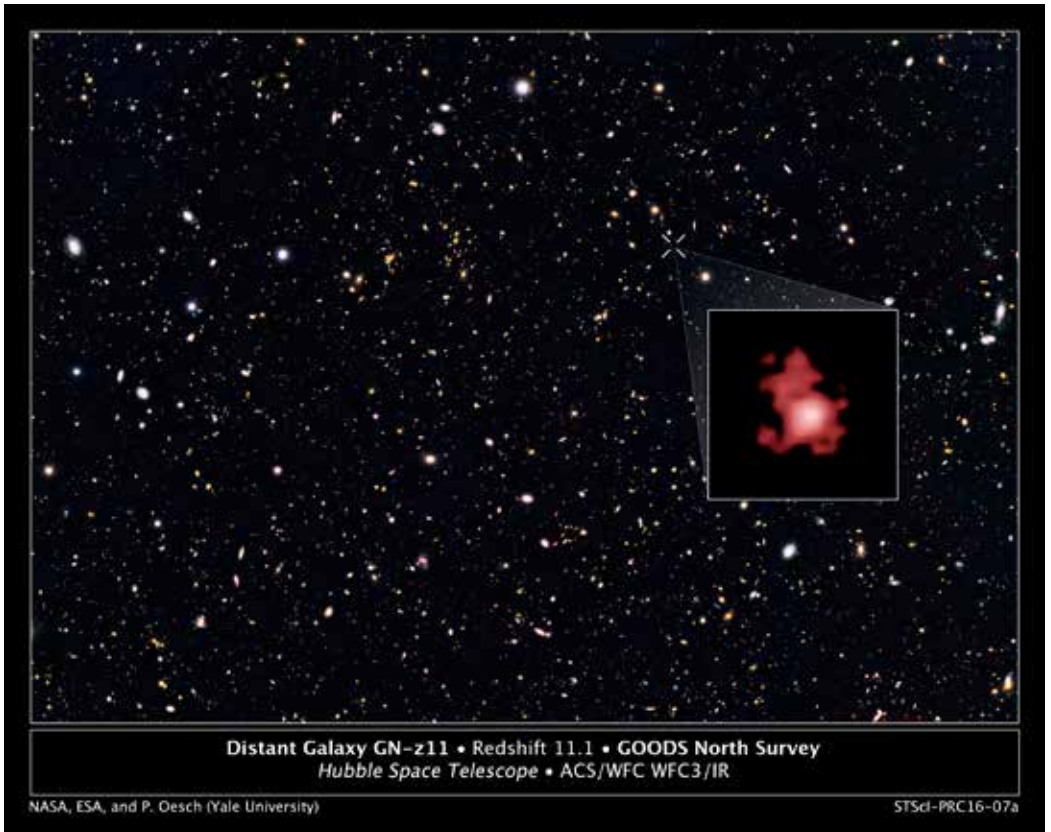
Record de distance

Poussé aux limites de ses possibilités, le télescope spatial Hubble a permis de pulvériser le record de distance des galaxies. La nouvelle championne, GN-z11 dans la Grande Ourse, est vue telle qu'elle était il y a 13,4 milliards d'années, soit seulement 400 millions d'années après le Big Bang. Sa luminosité est étonnamment intense pour une galaxie aussi jeune.

Les astronomes s'approchent ainsi des toutes premières galaxies formées dans l'Univers, un but qui ne semblait accessible qu'au successeur de Hubble, le futur télescope spatial James Webb. Cette découverte suggère que certaines galaxies particulières, brillantes, trouvées précédemment par Hubble, sont en fait extrêmement lointaines.

Initialement la distance de GN-z11 avait été estimée grossièrement à partir des couleurs relevées par les télescopes Hubble et Spitzer. Ici, pour la première fois, c'est grâce à un véritable spectre pris avec la caméra Wide Field 3 de Hubble que le redshift a pu être mesuré (11,1) et la distance déterminée avec précision.

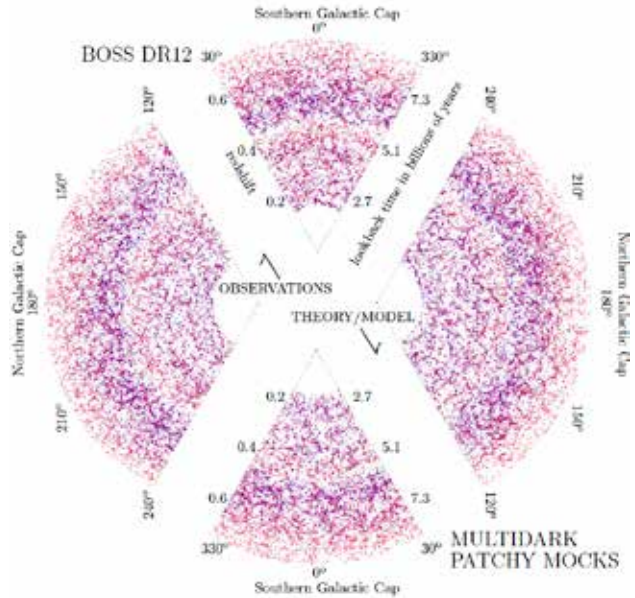
*L'étude des champs du survey
GOODS (Great Observatories Origins
Deep Survey) pris par le télescope
spatial Hubble a donné un nouveau
record de distance. La galaxie GN-z11
est vue telle qu'elle était il y a 13,4
milliards d'années.
(NASA, ESA, Yale University, STScI),
University of California, Santa Cruz)*



La précédente détentrice du record de distance n'avait qu'un redshift de 8,68 qui la place à 13,2 milliards d'années dans le passé, soit 200 millions d'années plus près de nous que GN-z11.

Les images Hubble et Spitzer montrent que GN-z11 est 25 fois plus petite que la Voie lactée et que sa masse n'en est que le centième. Malgré cela, la galaxie forme des étoiles à un rythme 20 fois plus grand que la nôtre, ce qui a permis aux télescopes spatiaux de l'étudier.

Qu'une galaxie aussi vigoureuse existe déjà à une époque aussi reculée, 200 à 300 millions d'années après l'apparition des premières étoiles, étonne les astronomes qui attendent beaucoup du télescope James Webb pour mieux comprendre l'évolution de l'Univers.



Comparaison des distributions observées (BOSS) et simulées des galaxies.

Répartition des galaxies

La distribution à grande échelle des galaxies renferme quantité d'informations sur l'origine et l'évolution de l'Univers. Pour accéder à cette information, le projet BOSS (Baryon Oscillation Spectroscopic Survey) a balayé le ciel et mesuré le redshift de plus d'un million de galaxies, fournissant ainsi une image tridimensionnelle des sources lumineuses jusqu'à 4,5 milliards d'années-lumière. Les astronomes ont ensuite réussi à reproduire les observations par des simulations numériques qui contraignent les séparations entre paires et triplets de galaxies. La structure de la « toile cosmique » est bien retrouvée, en particulier les régions vides entre galaxies.

La comparaison des propriétés statistiques observées et des modèles permet de mieux comprendre la relation entre la répartition des galaxies et la distribution à grande échelle de la matière noire.

D'autres chercheurs s'intéressent à comprendre l'évolution de l'Univers et la simulent

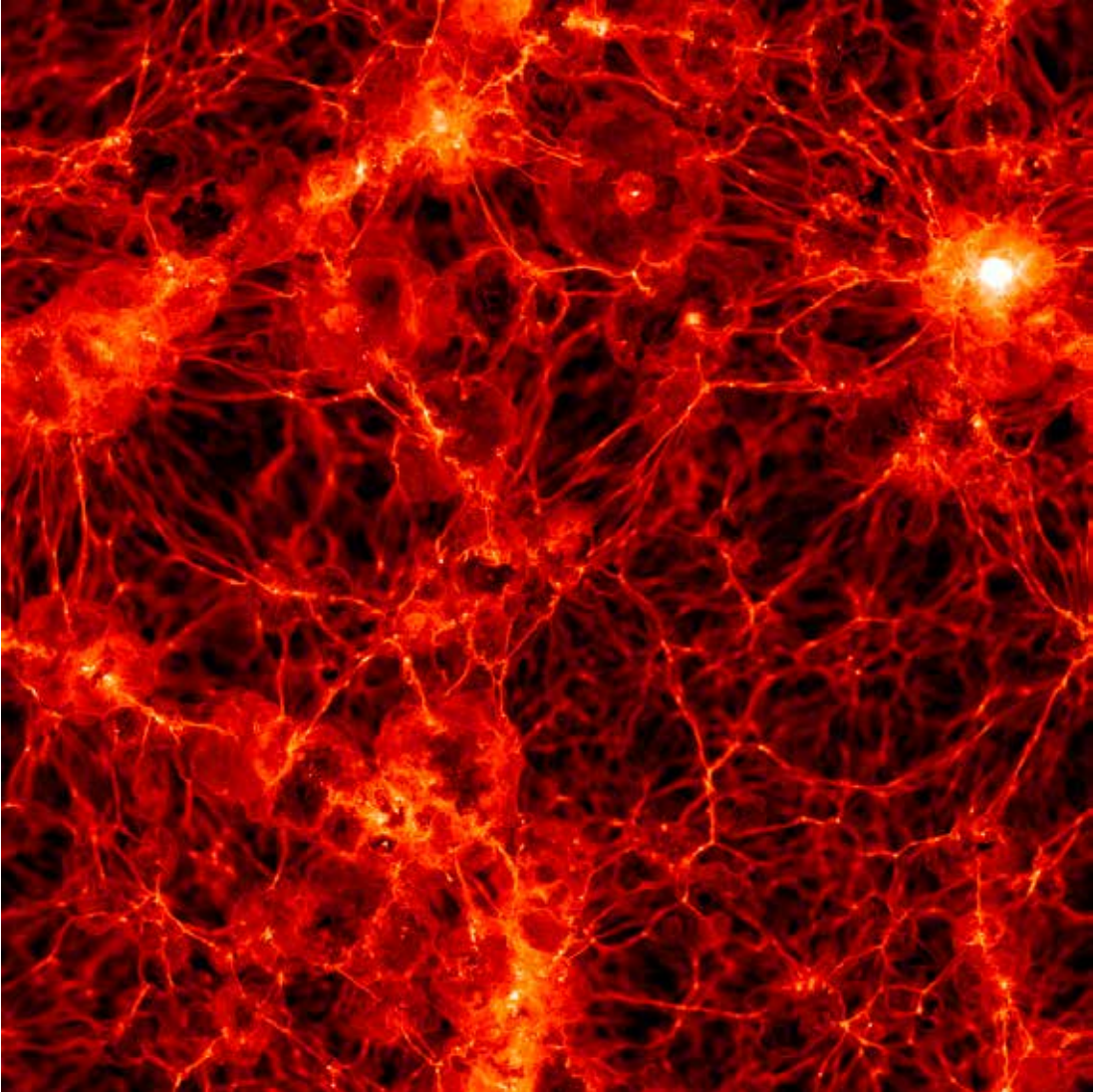
au moyen de super-ordinateurs. Le modèle « Illustris » étudie un cube d'Univers de 350 millions d'années-lumière de côté et le fait évoluer depuis un âge de douze millions d'années sous l'effet de l'attraction gravitationnelle de la matière, tout en reconstituant les mouvements des nuages de gaz et la formation des étoiles et des trous noirs. Il incorpore à la fois la matière normale et la matière noire, l'influence gravitationnelle de celle-ci étant l'effet le plus important.

Ce projet est le successeur du projet Millennium, réalisé en 2005 et se contentant de suivre l'évolution de la matière noire.

Illustris montre que 50% de la masse de l'Univers sont dans les galaxies, soit dans seulement 0,2% du volume de l'Univers et que 44% supplémentaires sont dans les filaments. Il n'y a que 6% dans les vides qui occupent quant à eux 80% du volume de l'Univers.

Mais si l'on s'intéresse à la matière normale seule, on s'aperçoit que 20% ont émigré dans les vides, sans doute à cause des trous noirs supermassifs qui en expulsent de grandes quantités à l'extérieur des galaxies. Cet excès imprévu de matière normale dans les vides

peut aider à expliquer le mystère des baryons manquants, cette matière normale invisible que les astronomes cherchent obstinément et que les FRB (voir p. 209) semblent aussi placer dans l'espace intergalactique.



Carte des résultats d'Illustris montrant une tranche d'Univers de 350 millions d'années-lumière de côté et de 300 000 années-lumière d'épaisseur. La répartition de la matière normale, baryonique, est montrée en rouge, celle de la matière noire en gris. Les galaxies se trouvent dans les taches brillantes.
(Markus Haider / Illustris collaboration)

