

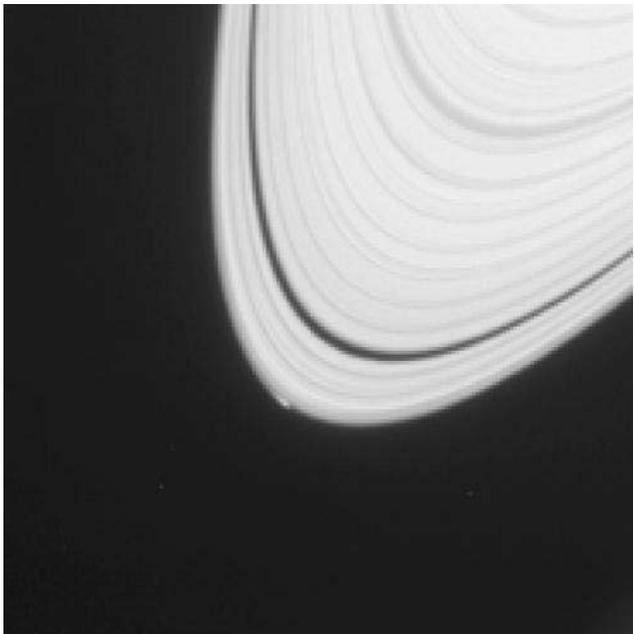
# L'astronomie dans le monde

## Future lune ?

*D'après un communiqué NASA*

La sonde spatiale Cassini a révélé des perturbations au bord externe de l'anneau A, le dernier des anneaux brillants de la planète. La plus intrigante est un arc de 1 200 km de long et 10 de large, environ deux fois plus brillant que l'anneau environnant. Le profil, habituellement bien régulier du bord de l'anneau montre d'étranges protubérances. Les astronomes y voient la manifestation des effets gravitationnels d'un objet, une lune en devenir, déjà affublée d'un surnom, Peggy. Cet objet, encore indécélable, ne devrait pas grossir beaucoup plus que sa taille actuelle (probablement moins d'un kilomètre). Il est peut-être sur le point de quitter les anneaux et de vivre sa vie de nouvelle lune, mais il pourrait aussi bien se dissiper. De toutes façons, son évolution et son déplacement vers l'extérieur devraient nous aider à comprendre les satellites glacés de Saturne, et parmi eux, Titan, le satellite enrobé de nuages, et Encelade, la lune à l'océan souterrain, qui ont dû se former au sein des anneaux alors que ceux-ci étaient beaucoup plus massifs. Une théorie veut que les lunes glacées se forment à partir des particules des anneaux puis s'écartent de la planète en fusionnant éventuellement avec d'autres lunes, ce qui explique pourquoi ces satellites sont de plus en plus gros en allant vers l'extérieur.

Les anneaux de Saturne sont maintenant si peu denses que la formation de nouvelles lune est très rare et aléatoire. C'est pourquoi



*Une perturbation dans les anneaux de Saturne laisse présager la formation d'une nouvelle lune. Cette concentration pourrait se dissiper mais le phénomène témoigne d'un processus ayant pu former de gros satellites lorsque les anneaux étaient plus massifs qu'actuellement. Image obtenue par Cassini le 15 avril 2013 d'une distance de 1,2 million de kilomètres. L'échelle est de 7 kilomètres par pixel. (NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute)*

les astronomes doivent essayer d'en apprendre le plus possible de cet événement qui pourrait les aider à comprendre la formation des planètes du Système solaire et leur migration.

## L'âge de la Lune

Des simulations numériques suggèrent que la Lune est plus jeune de 100 millions d'années que le Système solaire. Les chercheurs ont suivi la croissance des planètes telluriques (Mercure, Vénus, la Terre et Mars) à partir de simulations de milliers de planétésimales tournant dans le disque protoplanétaire. Sur un total de 259 expériences ils ont mis en évidence une relation entre le moment où la Terre entre en collision avec un objet de la taille de Mars pour créer la Lune, et la quantité de matière gagnée par la Terre après cet impact.

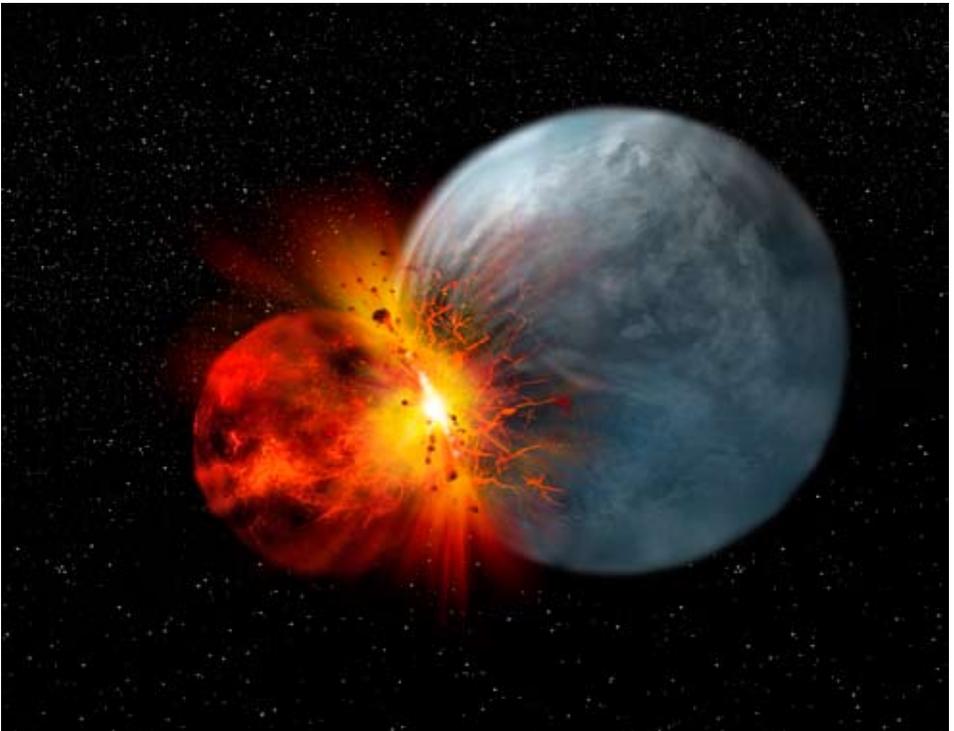
C'est la première « horloge géologique » du Système solaire primitif ne faisant pas appel à la mesure et à l'interprétation de la désintégration radioactive de noyaux atomiques. On avait déjà montré que la masse accrétée par la Terre après la formation de la Lune était proportionnelle à l'abondance des éléments

très sidérophiles (c'est-à-dire volontiers associés au fer dans les minéraux) dans le manteau terrestre.

Munis de ce nouvel outil les scientifiques ont pu dater la naissance de la Lune à  $95 \pm 32$  millions d'années après celle du Système solaire, ce qui concorde avec certaines des évaluations réalisées par datation radiométrique. La concordance avec une méthode directe et indépendante permet incidemment de décider de la fiabilité des diverses procédures basées sur la désintégration radioactive.

En même temps qu'elles forment une Lune en 100 millions d'années, les mêmes simulations parviennent à former Mars en 2 à 5 millions d'années.

*Vue d'artiste d'un impact pouvant donner lieu à la formation d'une lune (M. Elser, université de Zürich)*



## ***Des volcans actifs sur Vénus***

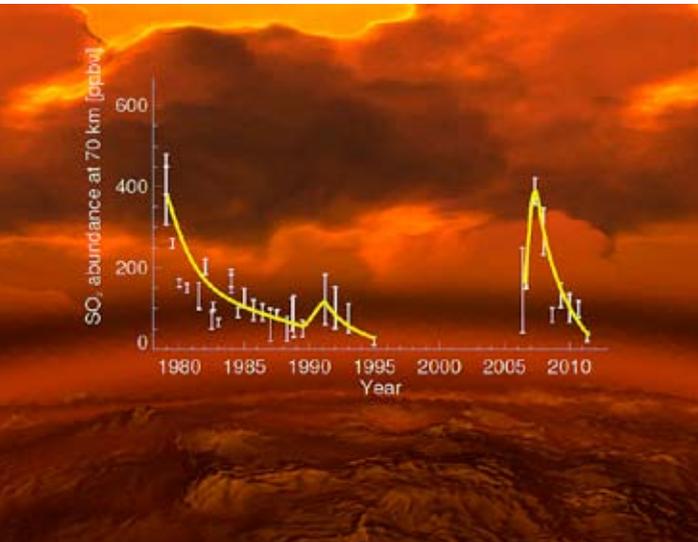
Malgré sa proximité, la planète Vénus reste entourée de mystères. Mais n'en est-il pas de même des fonds océaniques, si proches et pourtant si mal connus ?

L'atmosphère très épaisse, les nuages et les brumes de Vénus empêchent de voir le sol et c'est grâce aux observations radar et infrarouges des sondes spatiales que l'on arrive peu à peu à se former une idée des conditions à la surface de notre voisine.

Vénus est couverte de centaines de volcans mais les indices en faveur d'une activité récente restaient jusqu'à maintenant indirects ou assez ténus. Les variations de l'abondance atmosphérique en dioxyde de soufre mesurées par la sonde de l'ESA Venus Express suggéraient bien d'importantes émissions provoquées par des érup-

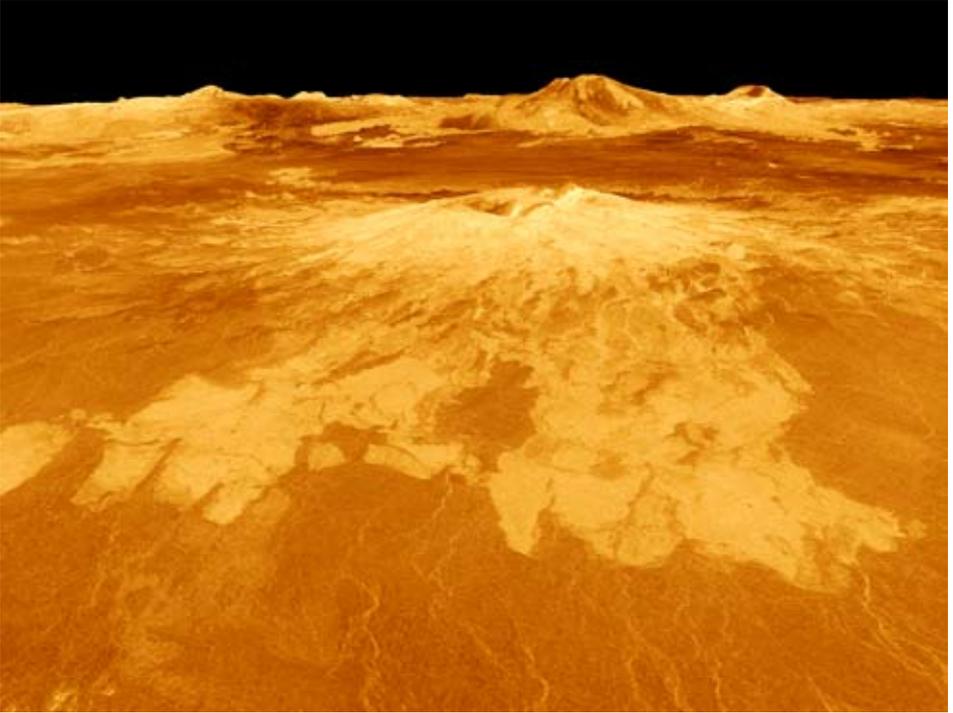


***Volcan vénusien en activité, impression d'artiste. (ESA/AOES)***



tions. Des bouffées de dioxyde de soufre s'élèveraient dans l'atmosphère et seraient ensuite rapidement détruites par le rayonnement solaire. Mais la circulation atmosphérique très vigoureuse pouvait rendre compte de telles modifications éphémères de la composition chimique. La différence de température constatée par Venus Express entre la lave au

***Variations de l'abondance en dioxyde de soufre de l'atmosphère vénusienne. (ESA)***



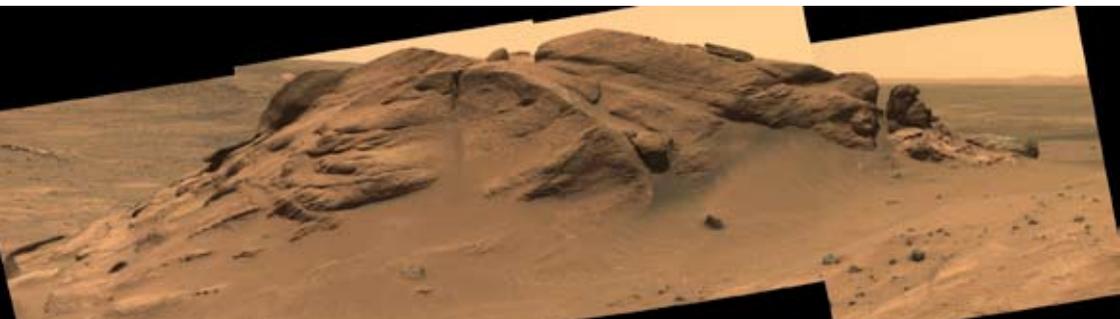
sommet de volcans et les terrains environnants peut se comparer à ce que l'on observe aux « points chauds » terrestres comme Hawaii, et cela semblait signaler trois sites d'éruptions assez récentes, datant tout au plus de quelques millions d'années.

L'analyse de nouvelles images obtenues par Venus Express tend à valider cette hypothèse. Il y aurait même encore des volcans actifs sur l'étoile du Berger. La région de Maat Mons – un énorme volcan « bouclier » – a été photographiée intensivement dans l'infrarouge proche à 1,01 micron, une région transparente de l'atmosphère. Les images prises lors de la nuit vénusienne ont permis de tracer une carte des températures qui a mis en évidence trois zones anormalement chaudes au bord d'une faille jeune, Ganiki Chasma. Après avoir écarté plusieurs interprétations, les scientifiques concluent que ces points correspondent à des éruptions ayant eu lieu l'an passé et, plus spé-

*Un ancien volcan de Vénus, Sapas Mons domine cette image générée par ordinateur à partir des données de Magellan. Les coulées de lave s'étendent sur des centaines de kilomètres. Les couleurs sont basées sur des observations des sondes soviétiques Venera 13 et 14. (NASA/JPL)*

cifiquement, à des écoulements s'étendant sur environ 25 kilomètres, ou à une chaîne de cônes de cendres, ou encore à une série de points chauds. Dans tous les cas, il s'agirait bien des premières images d'une activité volcanique se déroulant actuellement sur Vénus.

Les scientifiques comptent se plonger dans les images d'archives de la sonde Magellan qui a rendu visite à la planète entre 1990 et 1994 pour tenter de trouver des phénomènes comparables en d'autres régions.



### **Un lac dans le cratère Gusev?**

Les scientifiques avaient choisi le cratère Gusev comme lieu d'atterrissage du rover martien Spirit car il semblait être un ancien lac, avec sa rive sud creusée par les méandres d'une rivière. Une fois entamée, l'exploration conduisit à la découverte de roches volcaniques au lieu des sédiments attendus.

En poursuivant sa mission, Spirit a finalement trouvé des roches altérées par l'eau dans les collines de Columbia Hills mais, à première vue, ce n'étaient pas non plus des sédiments. Elles montraient les signes d'une activité hydrothermale, un peu comme les sources chaudes de Yellowstone. Une analyse fouillée du rocher « Comanche » des Columbia Hills montre une abondance anormalement élevée de magnésium et de fer dans des carbonates et

*Le rocher Comanche des Collines Columbia dans le cratère martien Gusev. Mosaique d'images prises par le rover Spirit. (NASA/JPL-Caltech/Cornell University/Arizona State University)*

il semble que cela soit dû à des eaux froides de surface et non à des sources chaudes.

Des téphras, dépôts de cendres volcaniques dans le cratère, auraient été altérés par une série d'inondations provenant de la vallée sud de Gusev. En baignant suffisamment longtemps les cendres, l'eau s'est chargée de sels et l'évaporation a laissé de plus en plus de carbonates dans les roches.

Spirit s'est éteint en mars 2010 et il n'a pu continuer son exploration.

L'intérêt de Gusev est tel que les scientifiques espèrent qu'un autre rover pourra y retourner, peut-être la mission « Mars 2020 » qui pourrait rapporter des échantillons sur Terre.



*Dans ce concept le rover de la mission Mars 2020 serait alimenté par des panneaux solaires, comme Opportunity et Spirit, mais contrairement à Curiosity qui dépend de la radioactivité du plutonium 238. (NASA)*

## **Météorites et atmosphère martiennes**

L'étude isotopique des atmosphères de Mars et de la Terre révèle qu'elles étaient très différentes dès l'origine.

Les chercheurs ont mesuré la teneur en soufre de 40 des 69 météorites martiennes connues, une très petite fraction des quelque 60 000 météorites retrouvées sur la Terre. Les météorites martiennes sont des pierres qui ont été éjectées de Mars à la suite d'un impact très violent. Après avoir dérivé longtemps autour du Soleil elles ont fini par heurter notre planète. Leur âge peut aller de plus de quatre milliards d'années – à l'aube du Système solaire – à quelques centaines de millions d'années. Ce large éventail explique l'intérêt des géologues qui y voient l'occasion d'étudier l'histoire de Mars et, en particulier, de son atmosphère, vu l'interaction entre le sol et celle-ci.

Un élément particulièrement intéressant est le soufre qui peut avoir son origine dans le magma ou dans les émissions gazeuses des volcans. Dans l'atmosphère, sous forme de dioxyde, il contribue à l'effet de serre, essentiel pour offrir des conditions favorables à la présence d'eau liquide et à l'apparition de la vie, et l'on sait que l'eau a coulé à certaines époques sur Mars. Le soufre réagit avec d'autres molécules, subit l'action des rayonnements solaires. En retombant au sol sous forme d'acide sulfurique il s'incorpore aux roches. Il est donc très précieux pour reconstituer l'évolution des conditions à la surface martienne.

*Le microscope révèle des cristaux d'augite, un silicate de la famille des pyroxènes, dans cet échantillon d'une météorite martienne âgée de 1,3 milliard d'années, et étudiée pour comprendre l'évolution de l'atmosphère de la planète rouge.*  
(© James Day)

On trouve quatre isotopes naturels du soufre et chacun d'entre eux se comporte de façon différente lors des réactions chimiques. Mesurer les rapports d'abondance de ces isotopes est donc un moyen de tracer son origine : volcanique, atmosphérique, voire biologique.

Les mesures effectuées sur l'échantillon de météorites permettent de rejeter l'hypothèse d'une origine biologique. Elles montrent que les réactions chimiques impliquant le soufre atmosphérique n'ont pas été les mêmes que pour notre planète. Les deux atmosphères étaient très différentes. Le soufre injecté dans l'atmosphère martienne par les volcans a pu contribuer à un effet de serre et à des épisodes de réchauffement où l'eau liquide a pu couler sur Mars et la vie microbienne se développer.



## **L'hexagone de Saturne**

*Basé sur un communiqué de la Universidad del Pais Vasco*

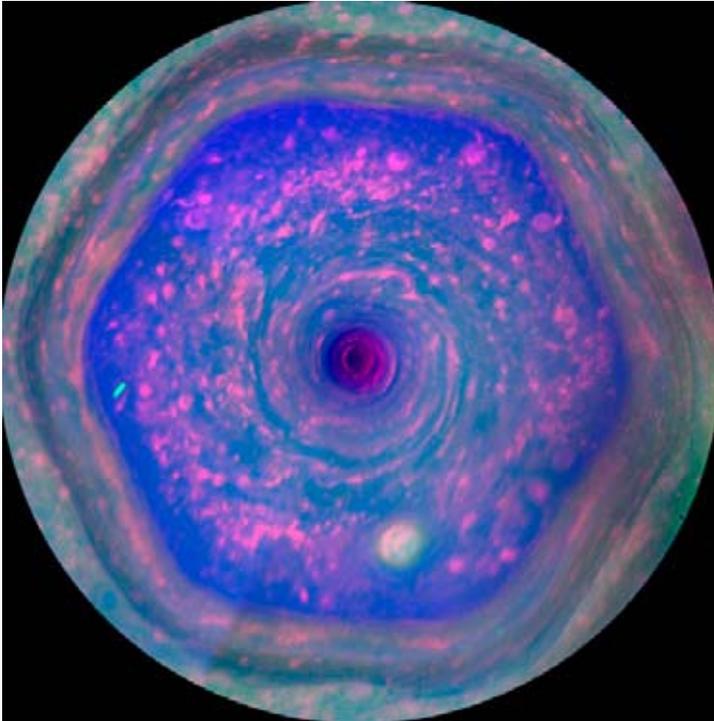
Observé depuis une année saturnienne complète, soit trois décennies, l'hexagone du pôle nord de la planète commence à révéler ses secrets.

Cette curieuse structure qui affecte les hautes couches nuageuses a été observée les premières fois par les sondes Voyager 1 et 2 en 1980 et 1981. L'hexagone semblait figé par rapport à la rotation encore mal connue de la planète, et il était parcouru par un violent jet stream. Cette stabilité a été confirmée par des observations réalisées au cours des six dernières années. Entre-temps, le pôle avait connu des conditions d'illumination très variables, et une interminable nuit polaire de sept ans. Cela n'a pas suffi à déranger l'hexagone et le jet stream que la sonde Cassini et des télescopes

terrestres ont retrouvés dans le même état. Le phénomène semble associé à une gigantesque « onde de Rossby » similaire, toutes proportions gardées, à celles qui se forment aux latitudes intermédiaires de la Terre avec un courant ondulant d'ouest en est et des alternances de dépressions et d'anticyclones, ce qui permet enfin de déduire avec exactitude la période de rotation de la planète.

L'énorme épaisseur de l'enveloppe gazeuse de Saturne permet sans doute à l'onde d'être profondément ancrée dans la planète. Le mouvement de l'hexagone refléterait alors la rotation vraie de la planète.

*Vue à haute résolution obtenue par Cassini de l'hexagone du pôle nord de Saturne (NASA/JPL-Caltech/SSI/Hampton)*



## **Pluton**

La collision à l'origine du couple Pluton-Charon a fortement échauffé l'intérieur de Pluton et a pu créer un océan souterrain. Des restes de cet océan survivraient grâce à la présence de sels divers. Plus l'océan gèle, et plus leur concentration augmente dans la partie liquide.

Les scientifiques pensent que les deux astres étaient plus proches l'un de l'autre à l'origine et qu'ils étaient de forme ovoïde sous l'effet de leur attraction mutuelle. En s'écartant ils ont dû reprendre une forme sphérique, mais la surface s'était refroidie et un changement de forme n'a pu se réaliser qu'au prix de compressions et de fractures. Des déformations tectoniques devraient donc marquer la surface de la petite planète. La sonde New Horizons devrait vérifier cela lors de sa brève visite en juillet de l'an prochain.

*Vue d'artiste de la surface de Pluton, selon un des modèles actuels. On distingue des dépôts de méthane pur. (ESO/L. Calçada)*



*Vue d'artiste de la rencontre de la sonde New Horizons avec le système de Pluton. Caméras, spectromètres et autres détecteurs scruteront la planète naine et son gros satellite. On devrait alors en savoir plus sur la tectonique de Pluton. (Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Southwest Research Institute, JHUAPL/SwRI)*



### **Exo-Terre**

La planète Kepler-186f est de taille comparable à la Terre, juste 10% plus grosse qu'elle. Trop lointaine pour pouvoir être étudiée en détail, on n'en connaît ni la masse ni la composition. On sait par contre qu'elle est située dans la zone habitable de son étoile, une naine rouge. Avant sa découverte, c'était Kepler-62f, 40 % plus grosse que notre planète, qui était la plus terrestre des planètes en zone habitable, sans pourtant satisfaire pleinement au critère officiel de « terrestrabilité » qui demande moins de 25 % d'écart de taille. Rappelons qu'on considère qu'une planète est en zone habitable si elle peut supporter de l'eau liquide à sa surface. On connaissait déjà une dizaine de telles planètes, mais toutes étaient beaucoup plus grosses que la Terre. Il est difficile d'apprécier les différences que montreraient de telles planètes, des super-Terres, avec la nôtre. Sont-elles rocheuses ? Sont-elles des planètes-océans ? Ont-elles une atmosphère épaisse ? Sont-elles des sphères entièrement gazeuses ?

Kepler-186f pourrait mieux ressembler à notre monde. Elle est beaucoup plus proche de son soleil, mais comme celui-ci est de classe M il émet nettement moins de rayonnement et la planète n'en reçoit par unité de surface que le tiers de la Terre. A priori, il y fait donc froid et la planète se situe à l'extrême limite de la zone habitable. L'année sur Kepler-186f est courte, 130 jours, et pourrait être divisée en saisons d'un mois environ. La température et la météorologie pourraient être très différentes selon la nature de l'atmosphère éventuelle. Une atmosphère épaisse et un effet de serre important peuvent provoquer des effets spectaculaires. Il suffit de comparer l'état actuel de Vénus par rapport à la Terre. Notre sœur du Système solaire, plus proche encore par la taille que Kepler 186f, est un peu en deçà de la limite intérieure de la zone habitable du

*Vue d'artiste de Kepler-186f, la première planète de taille proche de celle de la Terre et située en zone habitable (NASA/JPL)*



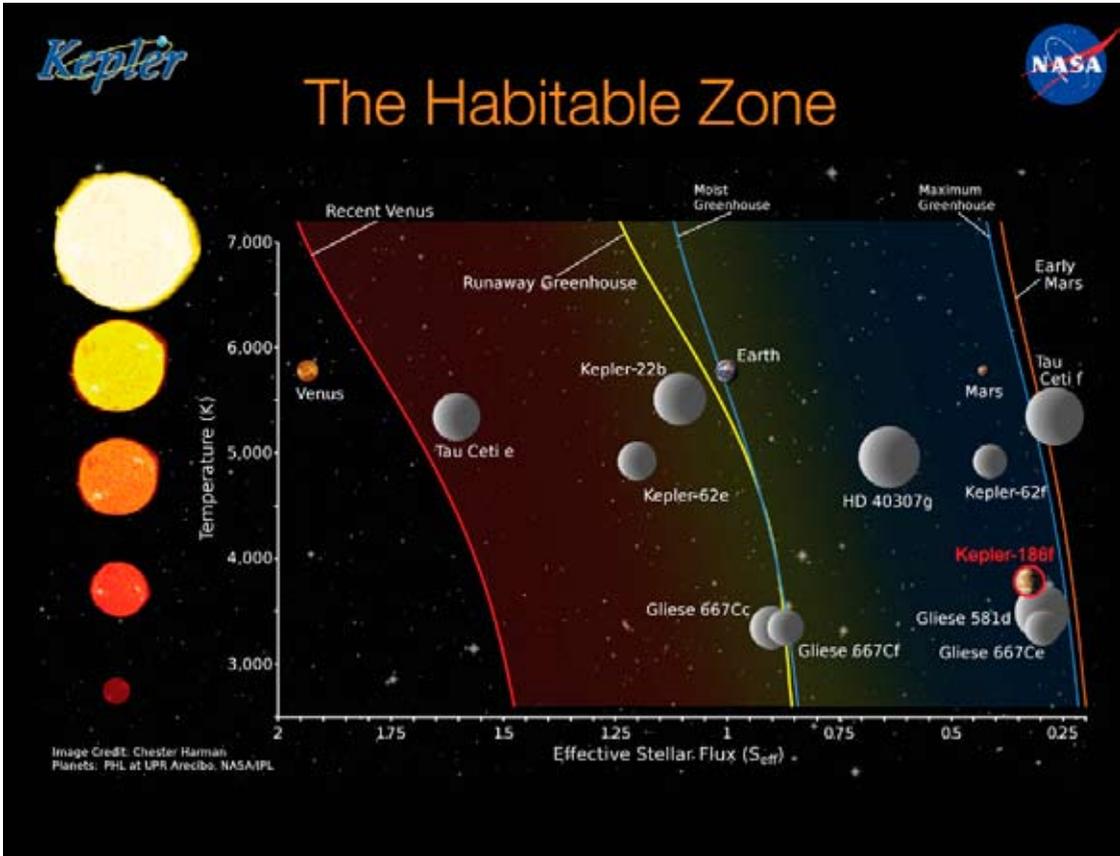


Image Credit: Chester Harman  
Planets: PHL at LPR Areibo, NASA/JPL

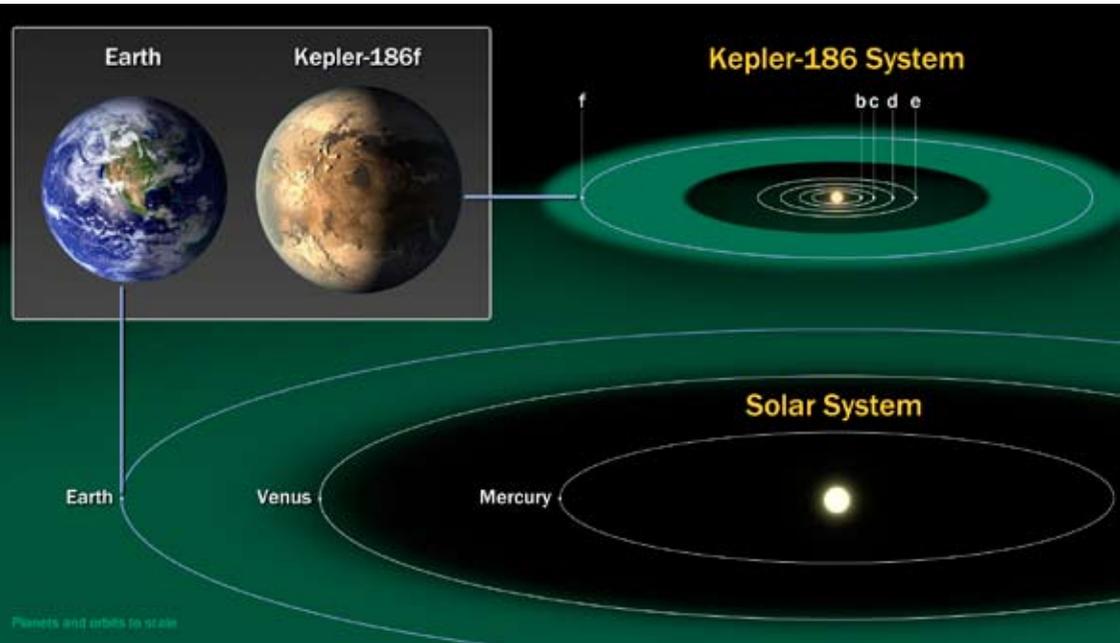
Système solaire et donc soumise à un rayonnement important. Elle subit en outre un effet de serre considérable conduisant à des températures infernales (460 degrés). L'atmosphère est essentiellement de gaz carbonique et il y flotte des nuées d'oxyde de soufre et d'acide sulfurique. Être dans la zone habitable n'est en rien la garantie d'être habitable.

Kepler-186f est accompagnée d'autres planètes, désignées de b à e, toutes plus petites qu'une fois et demie la Terre, et dont les années respectives sont de 4, 7, 13 et 22 jours. Très proches de l'étoile et donc trop chaudes, elles ne sont pas dans la zone habitable.

On trouve donc encore l'exo-Terre qui tournerait autour d'un exo-Soleil et qui serait une vraie sœur de notre planète, avec l'atmosphère adéquate, la même masse, et une composition analogue. Mais si l'on extrapole à toute la Galaxie les résultats obtenus par Kepler dans une petite région du ciel, proche de nous, les perspectives sont immenses. Des milliers de planètes ont été découvertes ou soupçonnées pour 150 000 étoiles observées et parmi

*Extension de la zone habitable pour des températures d'étoiles ordinaires. En abscisses, au lieu de la distance à l'étoile, on a représenté l'intensité du rayonnement comparé à celui reçu par la Terre. On voit que Kepler-186f est à l'extrême droite, alors que Vénus est hors zone, à gauche. (NASA Ames / SETI Institute / JPL-Caltech)*

phère adéquate, la même masse, et une composition analogue. Mais si l'on extrapole à toute la Galaxie les résultats obtenus par Kepler dans une petite région du ciel, proche de nous, les perspectives sont immenses. Des milliers de planètes ont été découvertes ou soupçonnées pour 150 000 étoiles observées et parmi



elles quelques super- et exo-Terres en zone habitable. Cela ne constitue qu'un millionième de la Galaxie. Et l'on n'observe que les planètes donnant des transits, c'est-à-dire celles qui, par hasard, ont des orbites vues parfaitement de profil, ce qui ne constitue que quelques cas sur mille. Le nombre total des planètes potentiellement habitables et ressemblant un tant soit peu à la Terre est donc certainement extrêmement élevé. Les découvrir et les caractériser sera l'affaire de télescopes plus puissants.

### **Bêta Pictoris b**

*Basé sur un communiqué ESO*

Des observations effectuées au moyen du Très Grand Télescope (VLT) de l'ESO ont, pour la toute première fois, conduit à la détermination de la vitesse de rotation d'une exoplanète.

L'exoplanète Bêta ( $\beta$ ) Pictoris b (tournant autour de l'étoile  $\beta$  Pictoris) est distante d'environ 63 années-lumière. Elle fut découverte il y a six ans environ et fut l'une des

### **Comparaison des systèmes de Kepler-186 et du Soleil (NASA Ames / SETI Institute / JPL-Caltech)**

toutes premières exoplanètes à être détectée au moyen de l'imagerie directe. Elle est située à seulement 8 unités astronomiques (huit fois la distance Terre-Soleil) ce qui en fait l'exoplanète la plus proche de son étoile à faire l'objet d'une imagerie directe.  $\beta$  Pictoris b est 16 fois plus grande et 3 000 fois plus massive que la Terre.

C'est au moyen de l'instrument CRIRES qui équipe le VLT que les astronomes ont pu déterminer la valeur de la vitesse de rotation équatoriale de la planète : au moins 100 000 kilomètres par heure, et la durée du jour n'y excède pas les 8 heures. À titre de comparaison, la vitesse de Jupiter à l'équateur avoisine les 47 000 km/h, celle de la Terre les 1 700

km/h seulement. La raison pour laquelle certaines planètes sont animées d'une vitesse de rotation rapide, d'autres d'une vitesse de rotation plus lente, est encore inconnue mais cette toute première mesure confirme la tendance qui se dessine dans le Système solaire : les planètes les plus massives tournent plus rapidement. Il doit s'agir là d'une conséquence directe et universelle du processus de formation des planètes.

$\beta$  Pictoris b est une très jeune planète, âgée de 20 millions d'années seulement – comparée à la Terre, formée voici 4,5 milliards d'années. Au fil du temps, l'exoplanète se refroidira et se contractera, ce qui augmentera encore sa vitesse de rotation. D'autres processus sont également susceptibles d'influer sur la rotation de la planète. Ainsi la vitesse de rotation de la Terre diminue lentement au fil

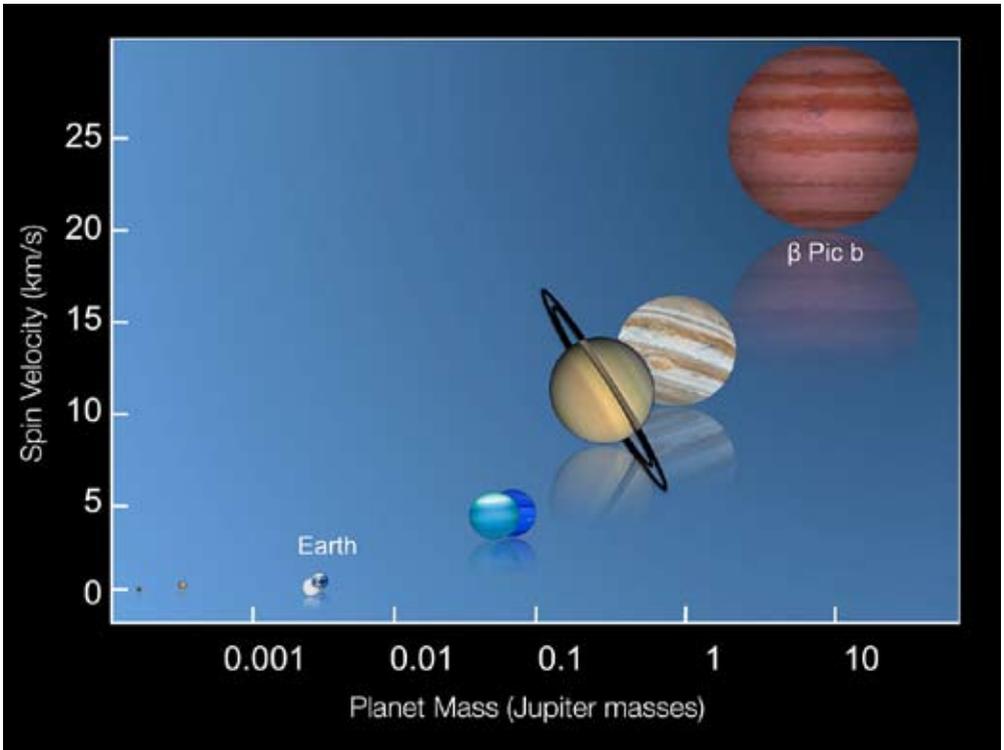
du temps, en raison des interactions de marée avec notre Lune.

Les astronomes ont simplement utilisé l'effet Doppler pour estimer la vitesse de rotation de la planète, des portions de sa surface s'approchant ou s'éloignant de nous à des vitesses distinctes.

La rotation rapide de la planète devrait permettre prochainement d'en dresser une cartographie globale sur laquelle apparaîtront peut-être de vastes formations nuageuses ainsi que de grandes tempêtes.

Cette technique pourra être étendue à un plus vaste échantillon d'exoplanètes, grâce à la formidable résolution et à l'extrême sensibilité du futur télescope géant E-ELT.

***Corrélation entre vitesse de rotation et masse des planètes. (ESO)***



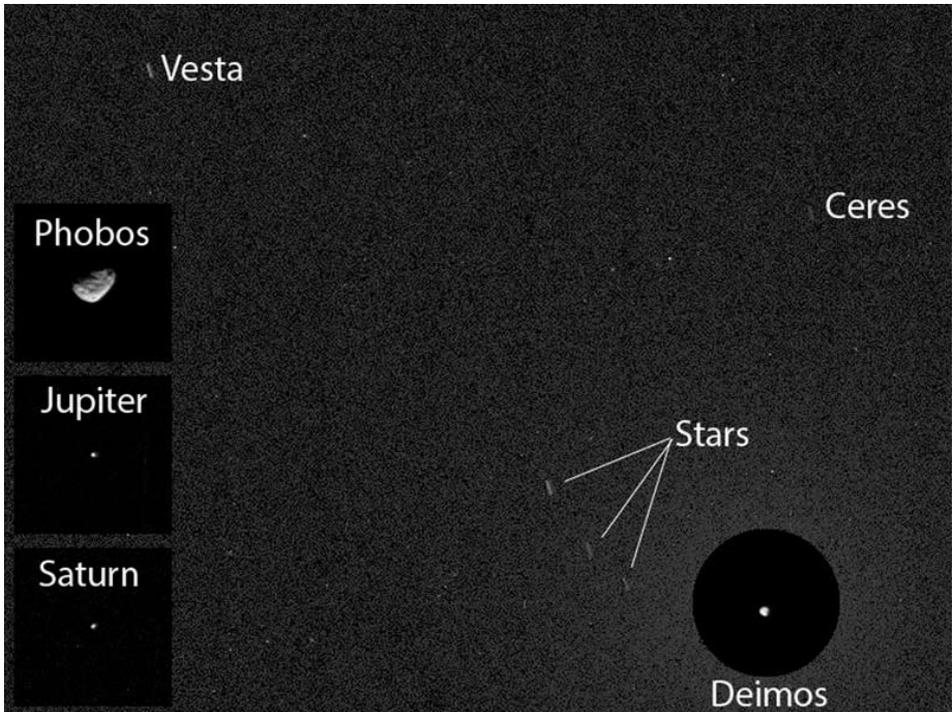
### **Cérès et Vesta depuis Mars**

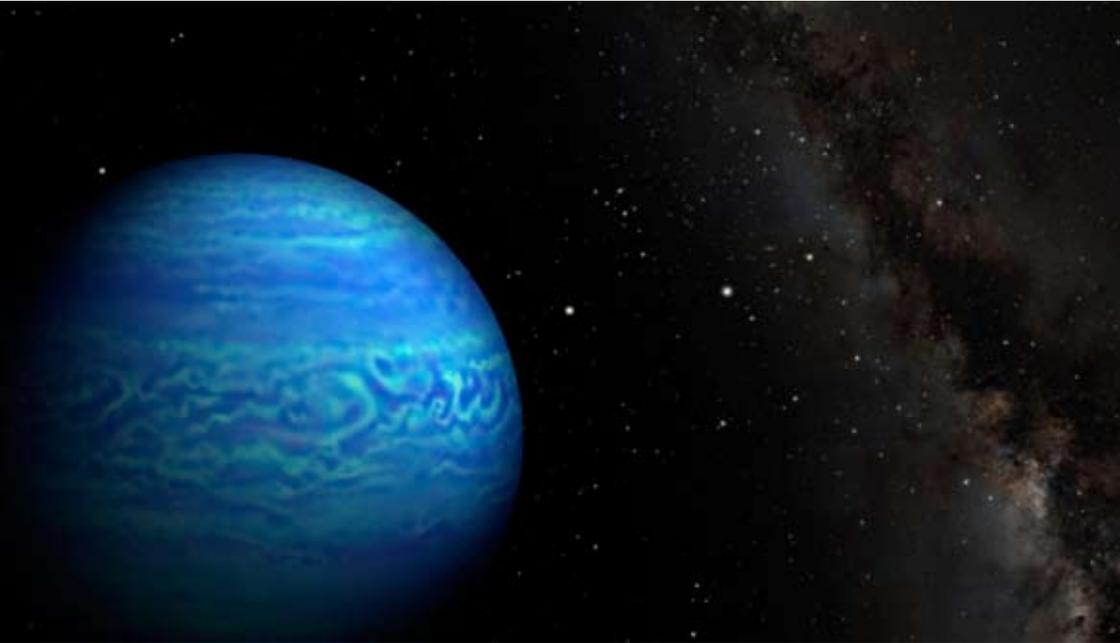
Deux des plus gros astéroïdes, Cérès et Vesta, ont été photographiés simultanément dans le ciel de Mars par le rover Curiosity. Cérès est le plus grand des astéroïdes de la ceinture principale. Avec ses 950 kilomètres de diamètre, il a même le droit de porter l'étiquette de planète naine. Vesta, avec seulement 563 kilomètres de diamètre n'a actuellement pas ce droit, mais les observations menées par la sonde Dawn lorsqu'elle tournait autour d'elle en 2011 et 2012 ont montré des caractères indéniables de planète pleinement constituée, et cela pourrait faire changer un jour l'avis des taxo-astronomes.

La mission de Curiosity concerne Mars, pas le ciel ni les astéroïdes. Parfois, la sonde lève les yeux pour mesurer l'opacité de l'atmosphère et tester la présence de brumes ou de cirrus. Le 20 avril (= Sol 606), Curiosity avait comme objectif les satellites Deimos et

Phobos. L'image présentée ici montre Deimos dans le champ de Vesta et Cérès. Deimos est probablement lui-même un astéroïde capturé par Mars, de sorte que ce sont sans doute trois astéroïdes que l'on voit en même temps.

*La première image d'astéroïdes obtenue depuis Mars a été prise par la caméra Mastcam de Curiosity avec une pose de 12 secondes lors du 606<sup>e</sup> jour martien (Sol) de la sonde. On distingue Vesta et Cérès, mais aussi le satellite Deimos. En vignettes on voit des images de Jupiter, Saturne, et de l'autre satellite, Phobos, prises la même nuit. (NASA/JPL)*





### ***Naine froide***

Si le nom d'étoile polaire devait être ré-attribué, la naine brune WISE J085510.83-071442.5 (en abrégé, WISE J0855-0714<sup>1</sup>) serait une candidate de toute première valeur, non pas pour sa position – elle n'est pas loin de l'équateur céleste – mais pour sa température que les astronomes estiment quelque-part entre –48 et –13 degrés Celsius. C'est la plus froide des naines brunes connues. Les précédentes détentrices du record montraient des températures printanières.

Les naines brunes sont les astres qui se situent à la frontière entre les planètes et les étoiles. Elles se sont formées comme des étoiles par contraction d'un nuage de gaz, mais leur masse n'a pas été suffisante pour permettre de soutenir des réactions nucléaires. Ce sont des cendres qui passent leur vie à se

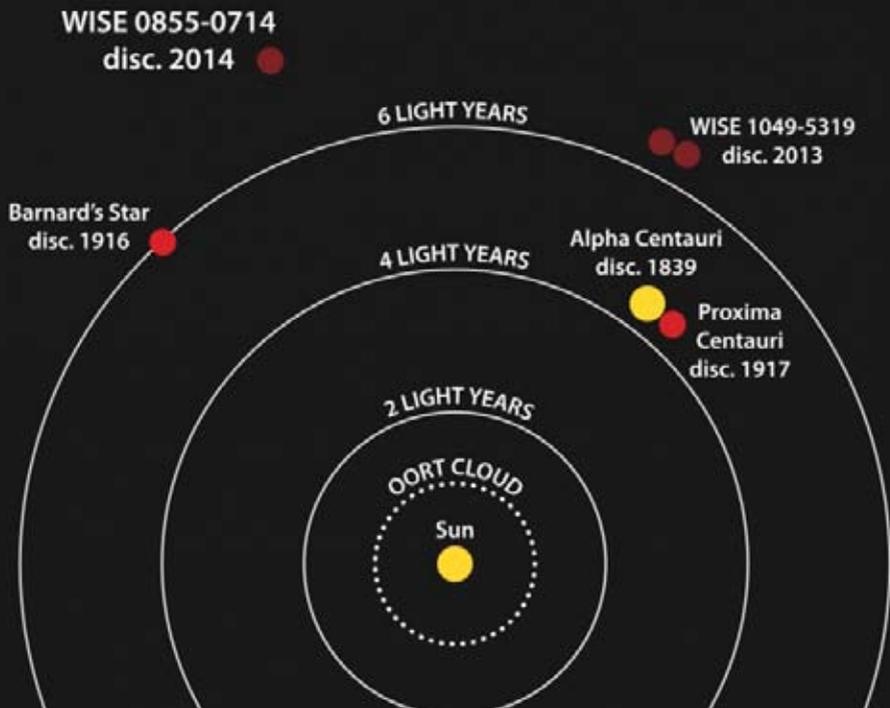
***Vue d'artiste de WISE J0855-0714, la plus froide des naines brunes connues, et l'une de nos plus proches voisines. (Penn State University/NASA/JPL-Caltech)***

refroidir, tout comme les naines blanches, à ceci près que celles-ci proviennent de braises beaucoup plus chaudes, de vraies étoiles ayant parcouru tout leur évolution. Les naines brunes sont si peu lumineuses qu'on peine à voir même les plus proches d'entre elles. Celle-ci se trouve à 7,2 années-lumière seulement ce qui en fait le quatrième système stellaire le plus proche de nous, après celui d'alpha ( $\alpha$ ) Centaure, l'étoile de Barnard et la paire de naines rouges récemment découverte WISE 1049-5319 (Luhman 16, cf *Le Ciel*, mars 2014 p.195). Comme celles-ci, WISE J0855-0714 a été découverte grâce au télescope spatial infrarouge WISE qui, en observant tout le ciel plusieurs fois à des mois d'intervalle, a permis de sélectionner les objets froids, invisibles aux plus courtes longueurs d'onde, se déplaçant rapidement et donc probablement proches.

---

<sup>1</sup> Dans ce type de catalogue, les nombres ne sont autres que les coordonnées équatoriales de l'objet jusqu'aux secondes d'heure et de degré, et décimales ; il est admis de s'en tenir aux minutes d'heure et de degré si la précision est suffisante pour caractériser l'objet.

## THE SUN'S CLOSEST NEIGHBORS



La distance a été mesurée grâce à l'effet de parallaxe provoqué par le mouvement orbital de la Terre. Pour cela les observations de WISE ont été complétées par deux autres obtenues avec le télescope spatial infrarouge Spitzer en 2013 et 2014.

Des observations prises avec le télescope Gemini South au Cerro Pachon (Chili) ont aidé à déterminer la température de l'astre.

On estime que la masse de WISE J0855-0714 se situe entre 3 et 10 fois celle de Jupiter, ce qui ne permet pas d'exclure que l'objet soit une planète géante éjectée d'un système. Les astronomes estiment cependant que selon toute probabilité il s'agit bien d'une naine brune, vu leur abondance.

*L'environnement du Système solaire. La date de découverte des objets est indiquée. La naine brune WISE J0855-0714 est le quatrième système stellaire par sa proximité. (Janella Williams, Penn State University)*

Planète ou naine brune, à ces températures cela ne fait guère de différences en ce qui concerne l'atmosphère. L'étude de cet astre si proche devrait nous enseigner beaucoup de choses sur les atmosphères des exo-géantes gazeuses.

## Parallaxes par Hubble

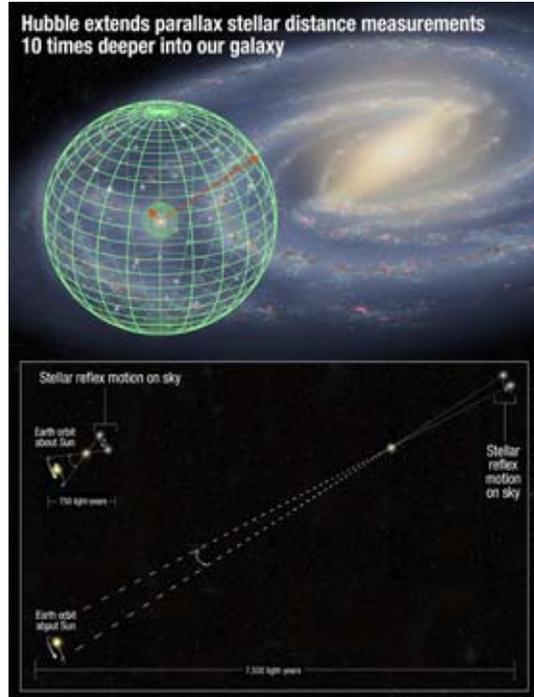
Le télescope spatial Hubble n'a pas été conçu pour mesurer la parallaxe des astres mais, à l'occasion, pourquoi ne pas profiter de ses performances exceptionnelles pour réaliser des prouesses dans ce domaine.

Les astronomes ont même réussi à améliorer la précision du télescope au point de pouvoir mesurer la parallaxe d'objets dix fois plus éloignés qu'avec les techniques habituelles.

La méthode a été testée sur des céphéides situées à environ 7500 années-lumière dans le Cocher. L'importance cruciale des céphéides pour la calibration des distances cosmiques n'est plus à démontrer. Elles permettent de passer de la Galaxie à l'Univers extra-galactique et de calibrer des étalons plus lointains comme les supernovæ de type Ia.

Au début de cette échelle d'étalonnage se trouve la simple triangulation, la même méthode qu'utilisaient les arpenteurs pour estimer la distance d'objets non accessibles avant l'ère du laser. On peut mesurer la distance de la Lune en la visant depuis deux points très éloignés. Pour aller au-delà du Système solaire, on peut mesurer les objets depuis deux points éloignés de l'orbite terrestre, ce qui peut se faire par des observations séparées de six mois. La base du triangle devient le diamètre de l'orbite terrestre<sup>1</sup>.

L'étoile la plus proche est juste un peu plus loin que cela. Mesurer des angles aussi petits demande beaucoup de soin. Les mesures faites avec les télescopes classiques permettaient d'aller jusqu'à des distances de quelques dizaines d'années-lumière, c'est-à-dire l'environnement immédiat du Soleil, et ce n'était pas suffisant pour atteindre beaucoup d'objets intéressants. Les observations du satellite Hipparcos, l'arpenteur céleste, ont étendu ce rayon à plusieurs centaines d'années-lumière, mais cela n'est encore que notre proche banlieue. On attend beaucoup du télescope spatial



*La précision des mesures de parallaxes stellaires a pu être accrue d'un facteur dix grâce au télescope spatial Hubble. (NASA, ESA, STScI, JHU, University of California)*

Gaia lancé récemment et occupé actuellement à tester tous ses équipements.

Gaia observera un milliard d'objets et donnera des distances précises jusqu'à des milliers d'années-lumière et des estimations approximatives jusqu'à plusieurs dizaines de milliers d'années-lumière, couvrant ainsi une bonne partie de la Galaxie. En fournissant une base beaucoup plus solide à l'échelle des distances cosmiques, ces mesures permettront entre autres choses de raffiner les paramètres de l'expansion de l'Univers et de mieux caractériser son moteur, l'énergie noire.

Le télescope spatial Hubble coupe ainsi l'herbe sous les pieds de Gaia, mais de façon très ponctuelle, pour quelques objets.

<sup>1</sup> Rappelons que c'est de là que vient l'unité de distance dénommée parsec. C'est la distance d'où l'on verrait le rayon de l'orbite terrestre sous un angle d'une seconde, ce qui correspond à une parallaxe d'une seconde.

## L2 Puppis et le sort du Soleil

*Basé sur un communiqué CNRS*

L2 Puppis est une géante rouge de l'hémisphère sud. Formée il y a environ 1,5 milliard d'années, elle est bien plus jeune que le Soleil (4,6 milliards d'années). Mais avec une masse double, elle a rapidement consommé son hydrogène. Son rayon, mesuré grâce à l'interféromètre du Very Large Telescope (Cerro Paranal, Chili), est très grand, environ 120 fois la taille du Soleil. Sa luminosité est aussi très élevée, estimée à plus de 2 000 fois la valeur solaire. Une grande taille et une luminosité élevée sont deux propriétés typiques des étoiles qui, ayant épuisé la réserve d'hydrogène dans leur cœur, sont parvenues en fin de vie.

L2 Pup entre actuellement dans le « quatrième âge » stellaire. Par comparaison, le Soleil entrera dans cette phase dans 4 milliards d'années. Située à 210 années-lumière, elle est la plus proche des étoiles de ce type, ce qui en fait une cible de choix pour l'observation détaillée de son environnement proche.

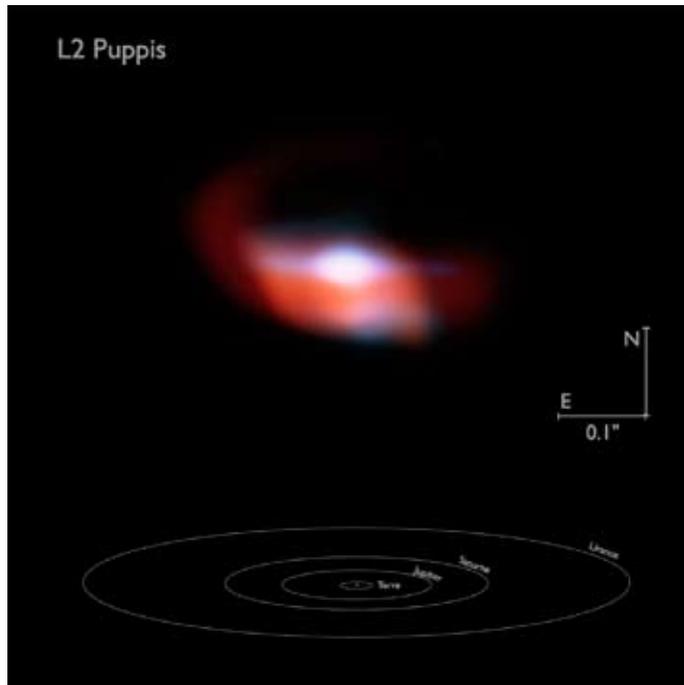
Les chercheurs ont utilisé pour cela l'optique adaptative NACO du VLT, assortie d'une technique de traitement d'image dite d'imagerie sélective pour corriger les perturbations introduites sur les images par l'atmosphère terrestre. Plusieurs milliers d'images ont été enregistrées sur l'étoile en quelques minutes, chacune avec un temps de pose très court, de l'ordre d'un centième de seconde. Suivant la même technique

***Image infrarouge en couleurs du disque entourant L2 Pup et le Système solaire représentés à la même échelle. L'observation d'un disque de poussière aussi proche d'une étoile évoluée est une première en imagerie directe (© ESO / Pierre Kervella et al. / observatoire de Paris / LESIA)***

qu'utilisent les amateurs pour réaliser de superbes clichés planétaires, les meilleures images ont été sélectionnées, recentrées précisément et combinées pour former une seule image, qui présente alors un bien meilleur niveau de détail qu'une seule longue pose. Elles atteignent pratiquement la limite théorique de résolution d'un télescope de 8 mètres, soit environ 40 millisecondes d'arc. Cela correspond à la taille apparente d'un ballon de football vu à une distance de 1 000 km.

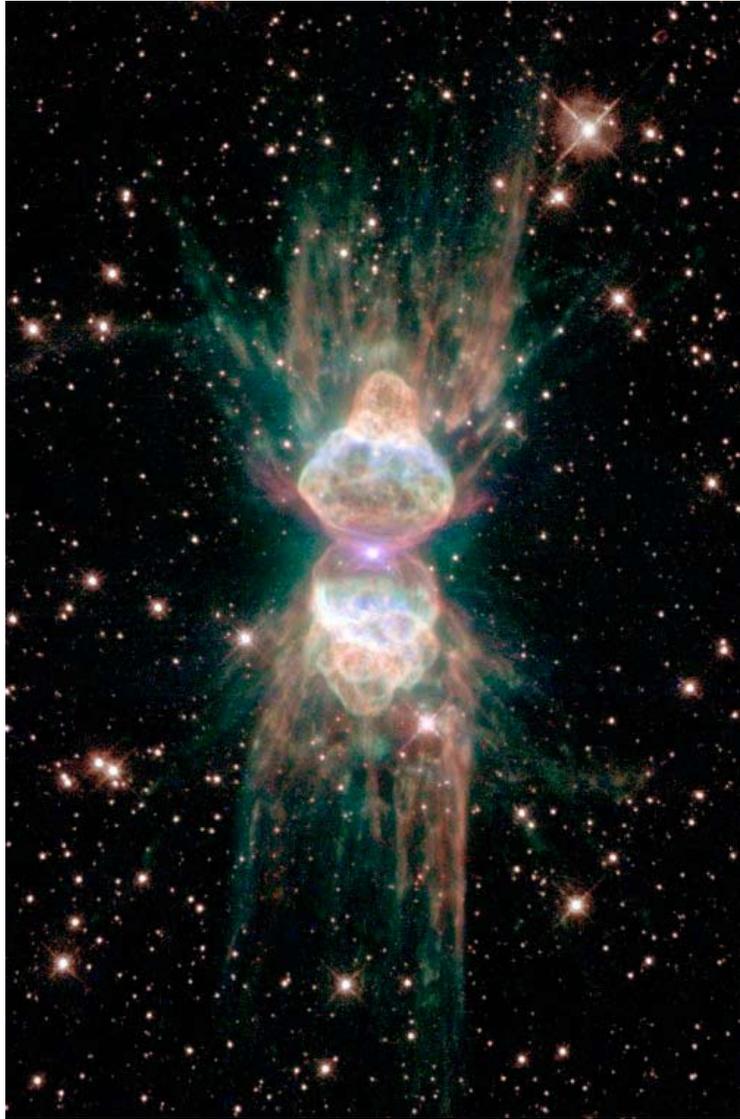
La qualité exceptionnelle de ces images en infrarouge (longueurs d'onde entre 1 et 4 microns) a permis à l'équipe de découvrir autour de L2 Pup un disque de poussière vu pratiquement par la tranche, ainsi qu'une boucle, également constituée de poussière, et s'étendant jusqu'à une distance de plus de 800 millions de kilomètres de l'étoile.

La découverte du disque de poussière de L2 Pup est un pas important dans la compréhension de la fin de vie des étoiles de masses faibles et intermédiaires comme le Soleil. Les



mécanismes en jeu dans cette phase complexe sont encore mal connus, notamment la manière dont ces étoiles restituent leur matière au milieu interstellaire pour former des nébuleuses planétaires, ces enveloppes de gaz en expansion éjectées par l'étoile en fin de vie. La présence d'un disque indique que l'environnement des étoiles évoluées est structuré spatialement. L'interaction du vent stellaire émis par une étoile comme L2 Pup avec les poussières qui l'entourent, pourrait notamment expliquer la forme en sablier des nébuleuses planétaires bipolaires.

Au nord-est de l'étoile, une boucle de poussière a mise en évidence. Son origine est encore mal comprise. Elle pourrait être due à l'influence gravitationnelle d'un compagnon stellaire proche qui a pu jouer également un rôle dans la formation du disque. Du fait de la très grande luminosité de l'étoile principale, ce compagnon éventuel n'a pu encore être décelé. La deuxième génération d'optiques adaptatives à hautes performances comme l'instrument SPHERE du VLT permettra dès la fin de cette année de le rechercher.



*La nébuleuse de la Fourmi (Menzel 3) observée à l'aide du télescope spatial Hubble. L'existence d'un disque de poussière autour d'étoiles évoluées comme L2 Pup pourrait expliquer la forme en sablier de certaines nébuleuses planétaires. (© NASA, ESA, The Hubble Heritage Team/STScI/AURA)*

## **Supernova et lentille gravitationnelle**

Observée en août 2010 par un des télescopes Pan-STARRS (Panoramic Survey Telescope & Rapid Response System 1) dans une galaxie très lointaine, la supernova PS1-10afx était des dizaines de fois plus brillante qu'elle n'aurait dû. Sa distance correspond à neuf milliards d'années, et à un Univers âgé de près de cinq milliards d'années. Les supernovæ ont généralement des intensités bien déterminées, en fonction de leur type, et cette exception flagrante intriguait les astronomes.

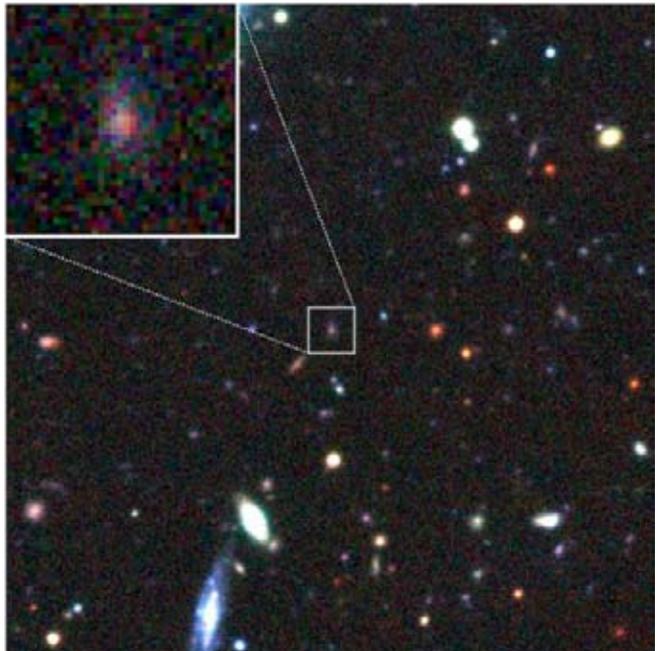
L'hypothèse la plus simple qui venait à l'esprit est que l'éclat était faussé par un effet de lentille gravitationnelle mais les observations ne mettaient pas en évidence la lentille qui aurait été responsable du phénomène. Une autre possibilité était que PS1-10afx était l'une des très rares supernovæ hyperlumineuses, caractérisées par des brillances de 10 à 100 fois supérieures à celles des supernovæ ordinaires, mais les observations de couleur ne correspondaient pas. Elle était trop rouge, trop froide, et trop petite et, mise à part la magnitude atteinte, le comportement ressemblait en tous points à celui d'une supernova classique de type Ia, un objet si prévisible qu'on l'utilise comme étalon de distance.

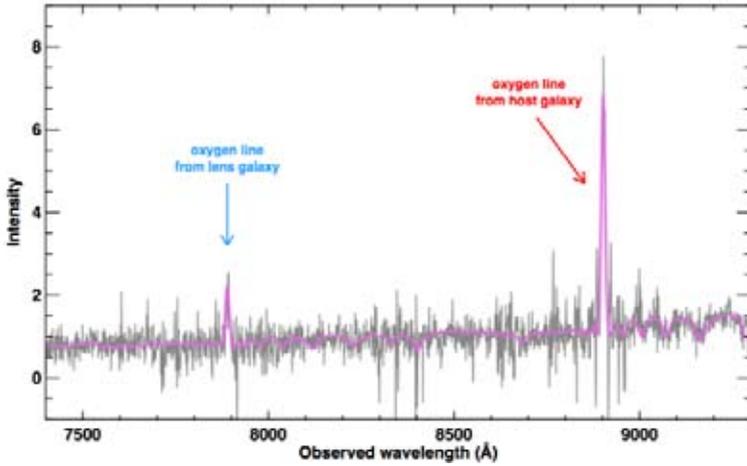
L'hypothèse de la lentille gravitationnelle restait séduisante. Il fallait simplement admettre que la galaxie abritant la supernova était elle-même si brillante, peuplée de nombreuses étoiles jeunes, qu'elle empêchait de distinguer la galaxie lentille. Pour résoudre la question, une solution, prendre des spectres détaillés et, grâce au décalage Doppler, tenter de mettre en évidence le gaz

de la galaxie lentille, plus proche, s'éloignant moins rapidement de nous. Des spectres furent obtenus en septembre 2013 à l'aide de l'un des plus grands télescopes du monde, le Keck 1 de 10 mètres et ils montrèrent les deux systèmes de raies attendus ; le décalage Doppler vers le rouge (redshift) du premier est de 1,3885 et correspond à la galaxie de la supernova ; celui du second est de 1,1168 et est produit par une galaxie s'interposant exactement sur la ligne de visée. Cette lentille rend parfaitement compte de l'amplification de l'éclat qui avait été observée pour la supernova.

Plus généralement, le phénomène de lentille gravitationnelle devrait permettre d'accéder aux supernovæ les plus lointaines de l'Univers observable, de la même façon qu'il permet déjà de déceler les galaxies les plus éloignées. D'autre part, on pourra tirer profit

*Champ de la supernova observé avec le télescope Canada-France-Hawaii (CFHT).*

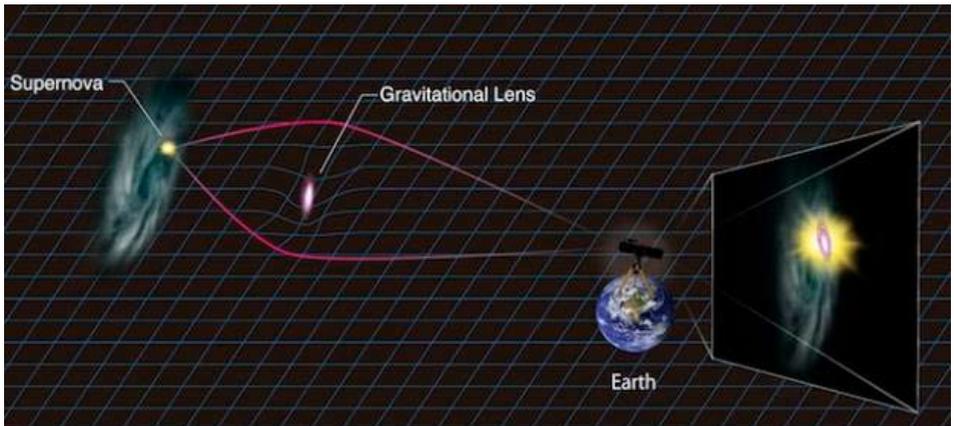




de la multiplicité des images que forment les lentilles pour estimer l'évolution du taux d'expansion de l'Univers. Les délais temporels constatés entre chacune des images dépendent du chemin parcouru par la lumière. Ils seront comparés aux prévisions déduites de la géométrie de la lentille pour calculer la vitesse d'expansion de l'époque : une vitesse d'expansion plus rapide correspond à des délais plus courts.

*Spectre de la supernova obtenu avec le spectrographe Low-Resolution Imaging Spectrograph du télescope Keck 1 de 10 mètres à Hawaïi. (© Kavli IPMU)*

*Illustration de l'effet de lentille gravitationnelle produit par un objet massif situé entre nous et la supernova. Celle-ci apparaît plus brillante grâce à l'accumulation des rayons lumineux. (© Kavli IPMU)*

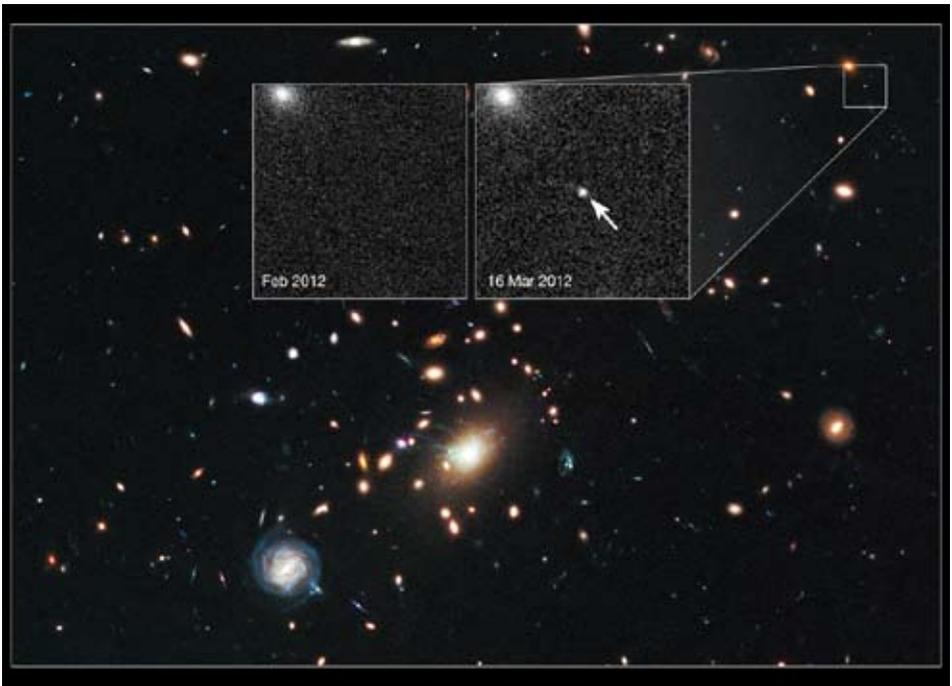


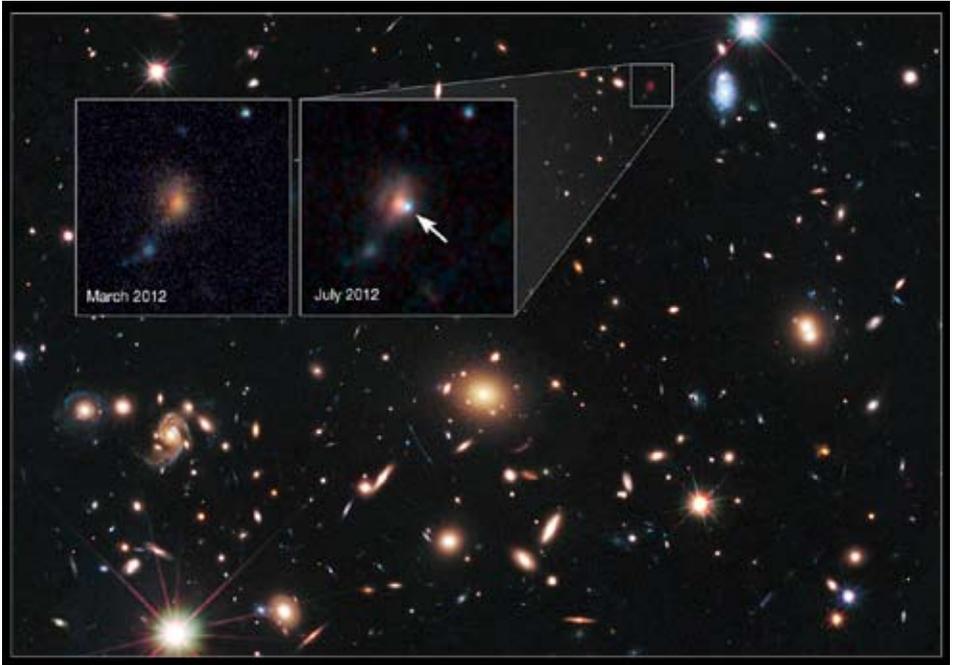
D'autres astronomes utilisant le télescope spatial Hubble ont découvert trois cas du même type. Les supernovæ sont ici amplifiées non par une galaxie unique, mais par des amas de galaxies massifs situés sur la ligne de visée. C'est la première fois que de telles supernovæ, dont la brillance intrinsèque est bien connue, sont observées derrière des amas de galaxies, offrant aux astronomes l'opportunité de mesurer la correction de ces lentilles naturelles.

Les résultats obtenus sont les premières étapes vers une mesure très précise de la correction d'une telle lentille. L'amplification subie par la lumière dépend de la masse et donc de la quantité de matière dans un amas – y compris la matière noire. Par des mesures sur l'expansion de l'Univers, les astronomes arrivent à cartographier et estimer la quantité de matière noire dans un amas. Ces cartes permettent de déduire la correction optique d'un amas de galaxies et prédisent comment la lumière d'objets distants sera amplifiée à son passage.

Les équipes ont mesuré la brillance des supernovæ amplifiée par les amas et l'ont comparée à leur luminosité intrinsèque. L'une d'entre elles en particulier apparaît deux fois plus brillante grâce au pouvoir amplificateur de l'amas. Les astronomes ont confronté leurs résultats avec des modèles théoriques du contenu des amas en matière noire et les prédictions sont en adéquation avec les modèles.

***Supernova amplifiée gravitationnellement par l'amas RXJ1532.9+3021. À la page suivante on voit les supernovæ imagées par les amas MACSJ1720+35 (en haut) et Abell 383 (en bas).***  
© NASA, ESA, C. McCully (Rutgers University), A. Koekemoer (STScI), M. Postman (STScI), A. Riess (STScI/JHU), S. Perlmutter (UC Berkeley, LBNL), J. Nordin (NBNL, UC Berkeley), and D. Rubin (Florida State)



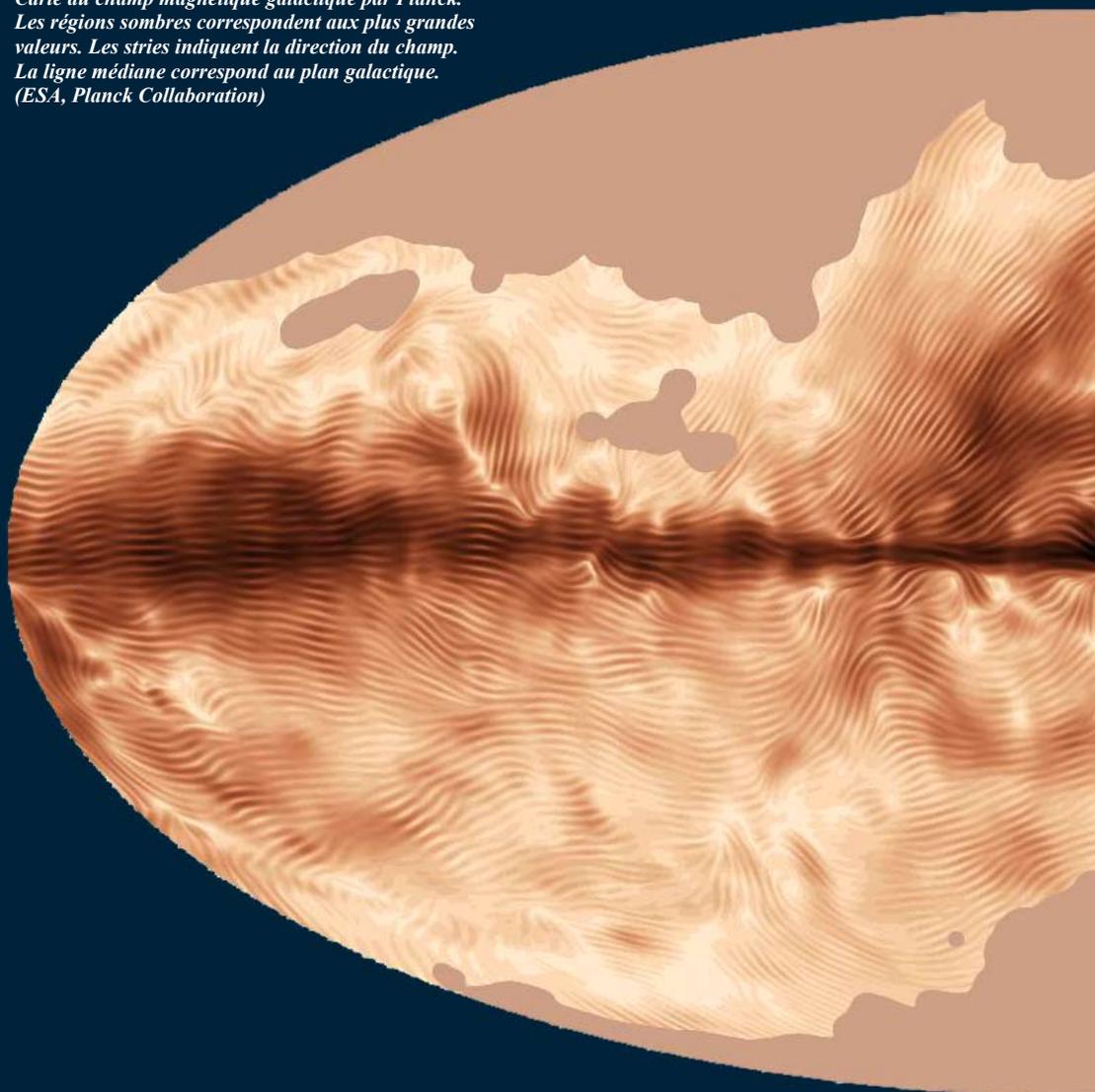


### ***Champ magnétique galactique***

Les astronomes ont établi une carte du ciel montrant le champ magnétique de la Galaxie. Pour cela ils ont utilisé les observations réalisées par le télescope spatial Planck

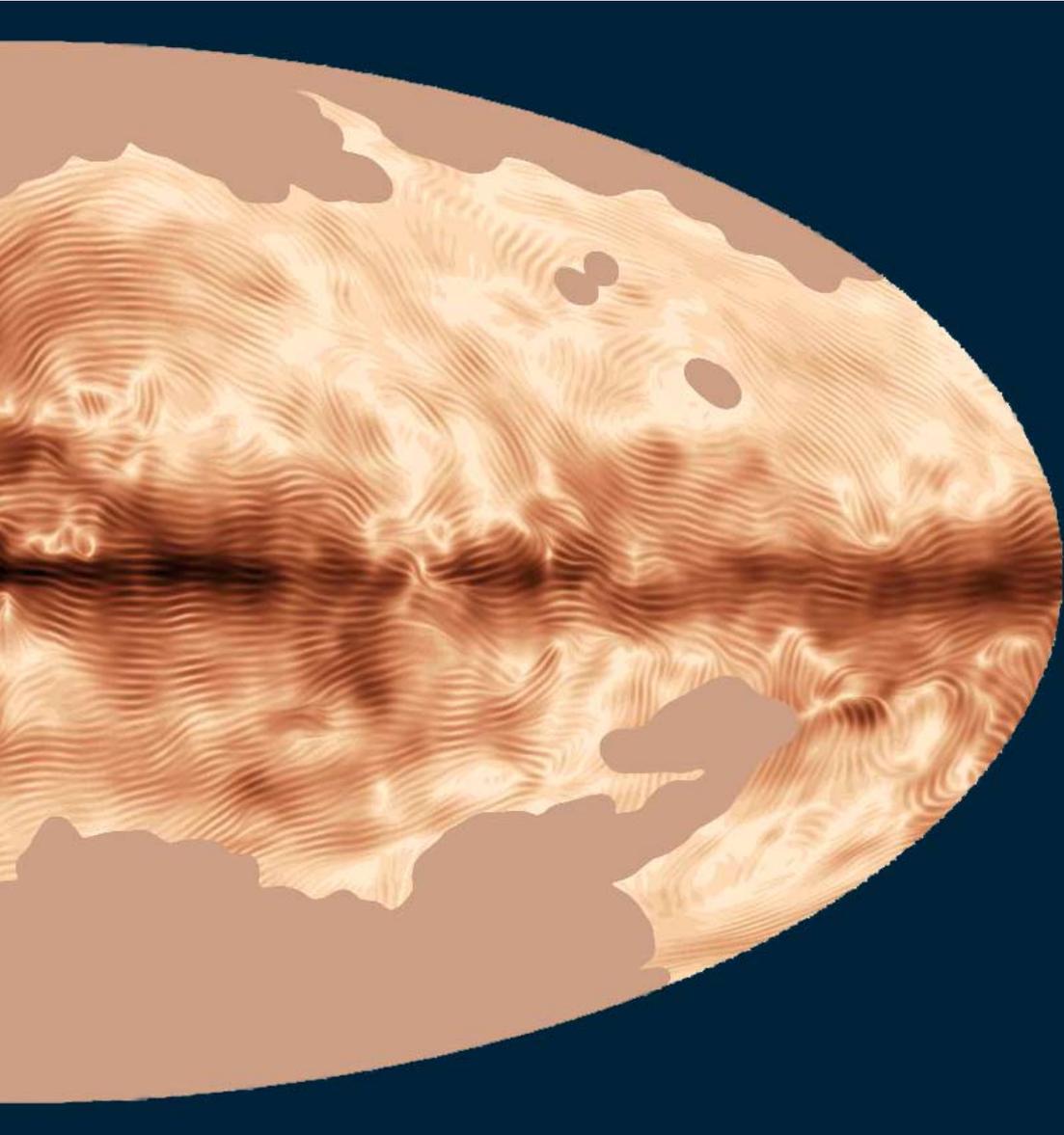
de la polarisation de l'émission des poussières interstellaires aux grandes longueurs d'onde. Ces grains de poussière sont très froids et n'émettent donc que dans l'infrarouge lointain et les micro-ondes. Ils ne sont généralement

*Carte du champ magnétique galactique par Planck. Les régions sombres correspondent aux plus grandes valeurs. Les stries indiquent la direction du champ. La ligne médiane correspond au plan galactique. (ESA, Planck Collaboration)*



pas parfaitement symétriques et les ondes qu'ils émettent vibrent préférentiellement selon leur grand axe : le rayonnement est dit polarisé. Si l'orientation des grains est distribuée au hasard, toutes les directions existent

et globalement il n'y a pas de polarisation. En présence d'un champ magnétique, les grains s'orientent avec leur grand axe perpendiculaire à la direction du champ. On peut alors mesurer une polarisation du rayonnement.



## **L'objet de Sakurai**

*Basé sur un communiqué NOAO/Gemini Observatory*

La vie des étoiles se mesure en milliards d'années ; il est donc rare d'observer des changements significatifs sur une échelle de temps humaine. Il y a quelques exemples où l'on a pu observer en quelques mois ou quelques années la transition d'une étoile entre deux phases de son évolution. L'un de ces cas est V4334 Sgr, « l'objet de Sakurai ».

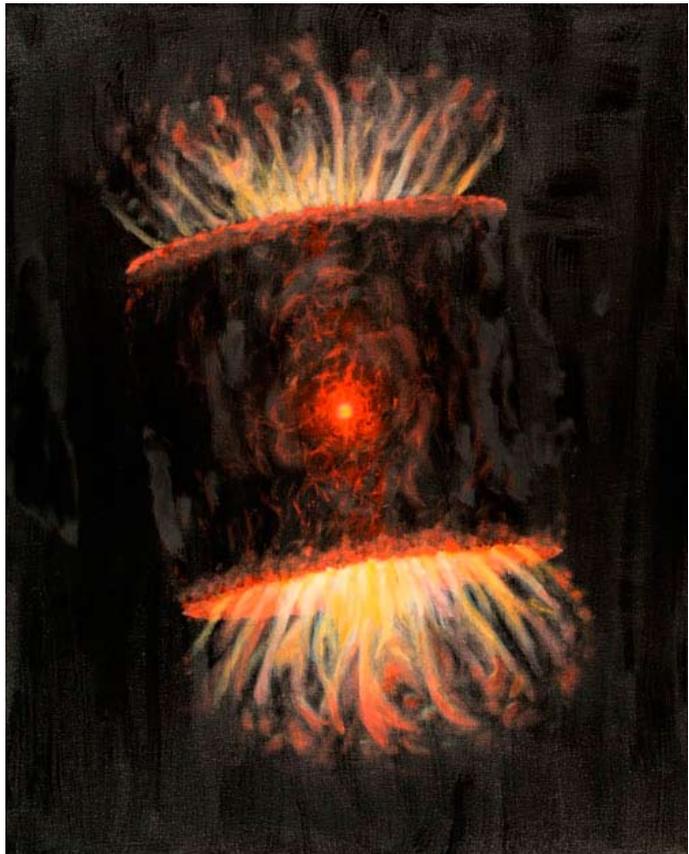
Décrit en 1996 par un amateur japonais comme présentant des caractères de nova, l'objet de Sakurai était connu auparavant comme l'insignifiante étoile centrale d'une nébuleuse planétaire. Dans les années 90, la brillance s'accrut d'un facteur 10 000, ce qu'on l'on attribua au flash d'hélium terminal : le cœur de l'étoile se rallume avec de nouvelles réactions nucléaires. Lorsque des étoiles comme le Soleil arrivent en bout de course, elles enflent et deviennent des géantes rouges. Après avoir épuisé leur combustible nucléaire, elles se transforment en naines blanches qui sont, en quelque sorte, les cendres des étoiles. Dans 10 à 15 % de ces étoiles, cependant, il reste assez d'hydrogène et d'hélium pour rallumer brièvement le foyer. On connaît trois étoiles qui sont actuellement dans cette phase et on pense qu'il en apparaît en moyenne une tous les dix ans dans la Galaxie.

*Impression d'artiste montrant à quoi pourrait ressembler l'objet de Sakurai avec son enveloppe en expansion de gaz et de poussières. L'étoile centrale est rouge par suite de l'absorption du bleu par les poussières. (NOAO, Stephen Mack)*

Le flash final est très violent. Un nuage de gaz et de poussières est éjecté et forme un cocon opaque qui cache l'étoile dans le domaine optique.

En 2000, ce cocon était si épais que même le télescope spatial Hubble ne pouvait le percer. Les astronomes se tournèrent vers l'infrarouge, moins affecté par les poussières, et attendirent patiemment que les nuées commencent à se dissiper pour laisser ce rayonnement passer au travers.

Les astronomes ont utilisé le télescope Gemini North au Maun Kea (Hawaii) muni d'un système d'optique adaptative pour observer l'objet de Sakurai avec une très bonne résolution spatiale. Si en 2010 ils ne voyaient



qu'une petite tache floue, en 2013 apparaissait clairement l'étoile encadrée de deux nuages d'éjecta. L'astre développe donc une nébuleuse bipolaire alignée approximativement sur la nébuleuse planétaire. Celle-ci est due à l'expulsion de gaz par l'étoile, géante rouge, il y a plus de 10 000 ans. L'alignement des nébuleuses suggère la présence d'un compagnon stellaire ou planétaire.

L'expansion du nuage de gaz permet d'estimer approximativement la distance de l'objet de Sakurai, entre 6 800 et 12 000 années-lumière.

### **Fermi et la matière noire**

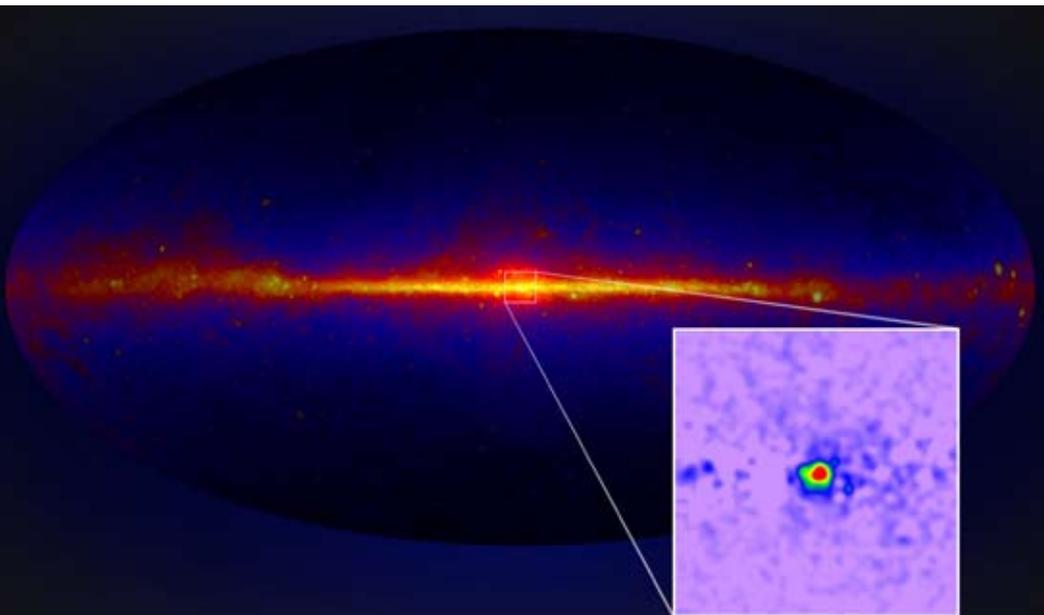
L'étude des rayons gamma provenant du centre galactique suggère de manière de plus en plus convaincante qu'une partie de cette émission est due à la matière noire, ce composant mystérieux de l'Univers. Les données obtenues par l'observatoire spatial Fermi ont permis de construire des cartes qui montrent que l'émission gamma de haute énergie du centre de la Voie lactée dépasse les capacités des sources connues, et est en accord avec les

prédictions faites par des modèles simples de la matière noire.

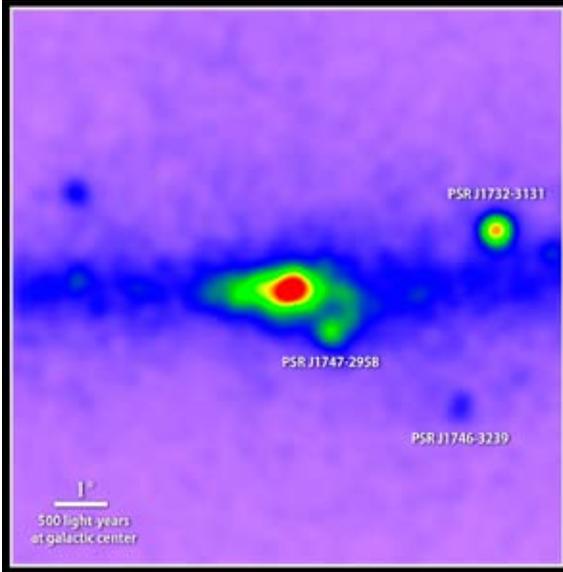
Le centre de la Galaxie déborde de sources de rayons gamma, pulsars, binaires en interaction, restes de supernovæ, nuages interstellaires bombardés de rayons cosmiques, etc. C'est aussi l'endroit où l'on doit trouver le plus de matière noire.

L'explication en faveur pour la matière noire est qu'elle est constituée de WIMPs (Weakly Interacting Massive Particles). Les particules WIMPs peuvent être de diverses natures. Certaines pourraient s'annihiler mutuellement lors d'une collision, ou former une particule instable, se désintégrant rapidement.

*Le ciel gamma vu par Fermi's LAT instrument. En vignette, la carte du centre galactique après soustraction des sources connues, ce qui laisse voir l'excédent de rayons gamma – peut-être dus à la matière noire. (NASA/DOE/Fermi LAT Collaboration ; T. Linden, Univ. of Chicago)*



*Carte brute obtenue par Fermi des rayons gamma du centre galactique entre les énergies de 1 et 3,16 GeV. Trois pulsars brillants sont indiqués. (T. Linden, Univ. of Chicago)*



### **Lentille naine**

L'objet KOI 3278 doit son nom au fait qu'il a été un candidat exo-planète parmi la liste dressée par l'observatoire spatial Kepler. En réalité, il s'agit d'un système binaire composé d'une naine blanche et d'une étoile normale. Ce sont les éclipses de la naine *derrière* l'autre étoile tous les 88 jours qui provoquent le petit affaiblissement d'éclat qui avait laissé soupçonner le transit d'une exo-planète *devant* une étoile. L'effet le plus intéressant est cependant une très légère amplification d'éclat durant cinq heures, avec la même périodicité, mais correspondant au transit de la naine *devant* sa compagne. La naine, dense et compacte, produit un effet de lentille gravitationnelle, le premier jamais observé dans une binaire bien que prédit dès les années 1970. L'intensification n'est que d'un millième et il a fallu toute la précision et la sensibilité de Kepler pour la discerner. Dans un cas comme celui-ci, les images multiples créées par la lentille sont si proches qu'elles sont confondues, et l'on ne distingue que la modification d'éclat.

On est habitué au phénomène de lentille gravitationnelle affectant les grandes structures sur des distances considérables, quasars, galaxies, amas de galaxies. On le connaît aussi lorsqu'il est provoqué par un astre croisant la ligne de visée d'une étoile de la Galaxie, un événement fortuit qui nous permet de constater brièvement l'existence d'une planète avant de la perdre à tout jamais. La lentille dans une binaire est un premier exemple de cet effet entre deux astres très proches l'un de l'autre. Il montre combien notre vision de l'espace peut être trompée par la gravitation sur des échelles allant de l'unité astronomique jusqu'aux milliards d'années-lumière.

Ces deux processus produisent des rayons gamma.

Lorsque l'on soustrait les émissions connues des observations de Fermi, il reste un excédent, principalement entre les énergies de 1 à 3 milliards d'eV, et s'étendant jusqu'à 5 000 années-lumière du centre galactique.

L'annihilation de WIMPs de masse comprise entre 31 et 40 milliards d'eV rend compte parfaitement de l'excès de rayons gamma, de son spectre et de sa distribution spatiale.

Une façon de vérifier cette hypothèse est d'étudier les galaxies naines satellites de la Voie lactée. Elles contiennent beaucoup de matière noire, mais pas les autres émetteurs classiques de rayons gamma. Malheureusement elles sont si faibles et éloignées qu'il faut des années d'observations pour mesurer leur signal gamma. Les résultats obtenus actuellement avec Fermi semblent montrer un excès de rayons gamma, mais ils sont encore à la limite du bruit et il faut attendre d'accumuler des observations pour tirer des conclusions définitives.