



L'astronomie dans le monde

Disques circumstellaires

Basé sur un communiqué ESO

Une collection d'images acquises par l'instrument SPHERE du VLT illustrent la grande variété de disques de poussière découverts autour d'étoiles jeunes. Ces disques diffèrent nettement les uns des autres en termes de dimensions et de formes – certains sont composés d'anneaux brillants, d'autres d'anneaux sombres, d'autres encore ressemblent à des hamburgers. Leur aspect varie nettement également en fonction de leur orientation dans le ciel – certains, circulaires, sont vus de face, d'autres, plus étroits, sont observés par la tranche.

La mission première de SPHERE consiste à découvrir et étudier les exoplanètes géantes en orbite autour d'étoiles proches au moyen de l'imagerie directe. Mais l'instrument constitue également l'un des meilleurs outils actuels d'acquisition d'images de disques autour d'étoiles jeunes. L'étude de tels disques s'avère nécessaire pour mieux comprendre la relation qui unit les propriétés du disque à la formation et à la présence de planètes.

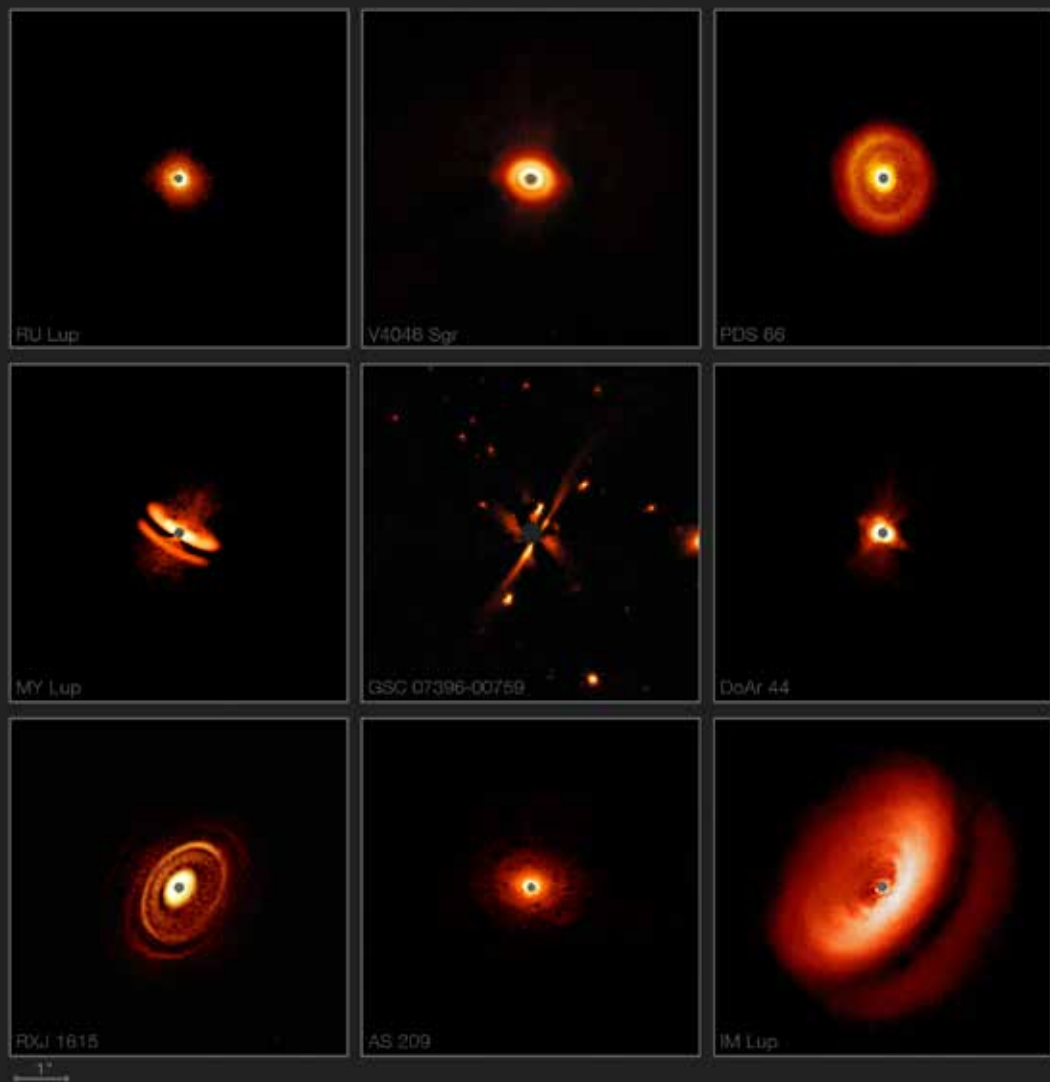
La plupart des étoiles qui composent cet échantillon ont été sélectionnées parmi une nouvelle liste d'étoiles de type T Tauri, une classe d'étoiles très jeunes (âgées de moins de 10 millions d'années) caractérisées par une luminosité variable. Les disques qui entourent ces étoiles sont composés de gaz, de poussière et de planétésimaux – les blocs constitutifs des planètes et les géniteurs des systèmes planétaires.

Ces images révèlent l'aspect que devait avoir le Système solaire peu après sa formation, voici plus de quatre milliards d'années.

La plupart des images présentées ici sont issues du sondage DARTTS-S (Disques Autour des Etoiles T Tauri avec SPHERE). Les distances des cibles s'échelonnent entre 230 et 550 années-lumière. À titre comparatif, la Voie lactée s'étend sur quelque 100 000 années-lumière. Ces étoiles sont donc relativement proches. Toutefois, même à cette distance, il s'avère particulièrement difficile d'obtenir de bonnes images de la faible lueur émise par les disques, car ils sont noyés dans l'éclat de leurs étoiles hôtes. L'avantage de SPHERE est de vaincre cet éblouissement et d'obtenir une meilleure image des régions environnantes.

Une autre observation effectuée au moyen de SPHERE a révélé l'existence d'un disque incliné autour de l'étoile GSC 07396-00759, membre d'un système stellaire multiple référencé au sein de DARTTS-S. Curieusement, et bien qu'ils se soient formés simultanément, ce nouveau disque semble plus évolué que le disque riche en gaz qui encercle l'étoile T Tauri du même système. Cette différence évolutive entre les disques qui entourent deux étoiles du même âge invite les astronomes à étudier plus en détails les disques et leurs caractéristiques.

En plus de donner de nombreuses autres images spectaculaires, SPHERE a été utilisé pour les besoins d'autres études portant sur l'interaction d'une planète avec un disque, les mouvements orbitaux au sein d'un système, et l'évolution temporelle d'un disque.



Les nouveaux résultats de SPHERE, combinés aux données acquises par d'autres télescopes comme ALMA, sont en train de révolutionner notre compréhension des environnements qui entourent les jeunes étoiles ainsi que des processus complexes qui concourent à la formation planétaire.

Les disques circumstellaires révélés par SPHERE montrent des formes, des dimensions ainsi que des structures différentes, et témoignent des effets probables des processus de formation planétaire.
(ESO/H. Avenhaus et al./E. Sissa et al./DARTT-S, SHINE collaborations)

Étoile hypervéloce

Il y a neuf ans, une recherche des étoiles supergéantes jaunes des Nuages de Magellan mettait en évidence un objet animé d'une vitesse anormalement élevée dans le Petit Nuage. Deux possibilités pouvaient s'envisager. Soit l'étoile se déplaçait à grande vitesse au travers de cette galaxie, soit elle tournait rapidement, en orbite serrée, autour d'une autre étoile. Une nouvelle étude confirme la première de ces hypothèses. Cette étoile, animée d'un mouvement qui la fait sortir de sa galaxie, est dite « runaway » ou « hypervéloce ». Il suffit pour cela de quelques dizaines de kilomètres par seconde. Avec un excès de 134 km/s J01020100-7122208 se qualifie amplement, d'autant que l'on ne mesure que la composante radiale de la vitesse.

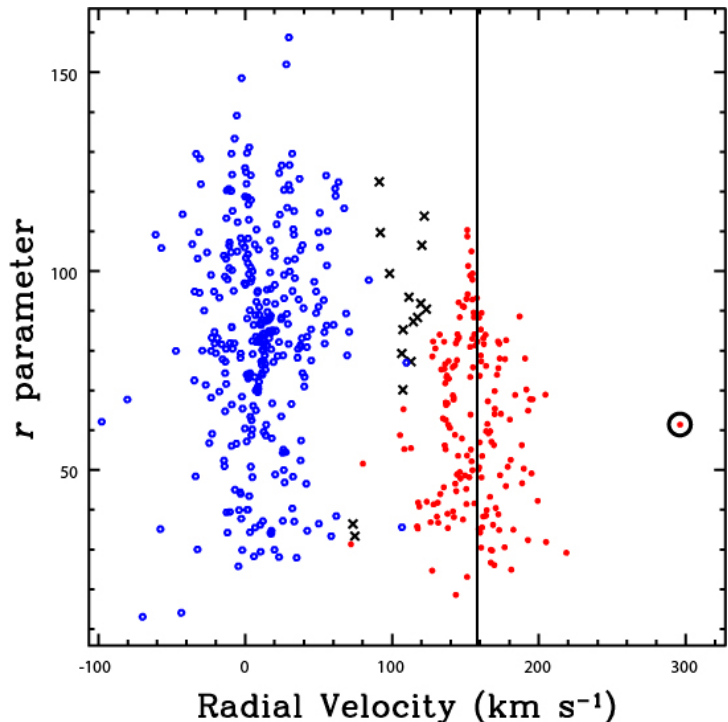
Les observations qui ont conduit à cette découverte ont été réalisées au moyen du télescope Blanco de 4 mètres du NOAO (National

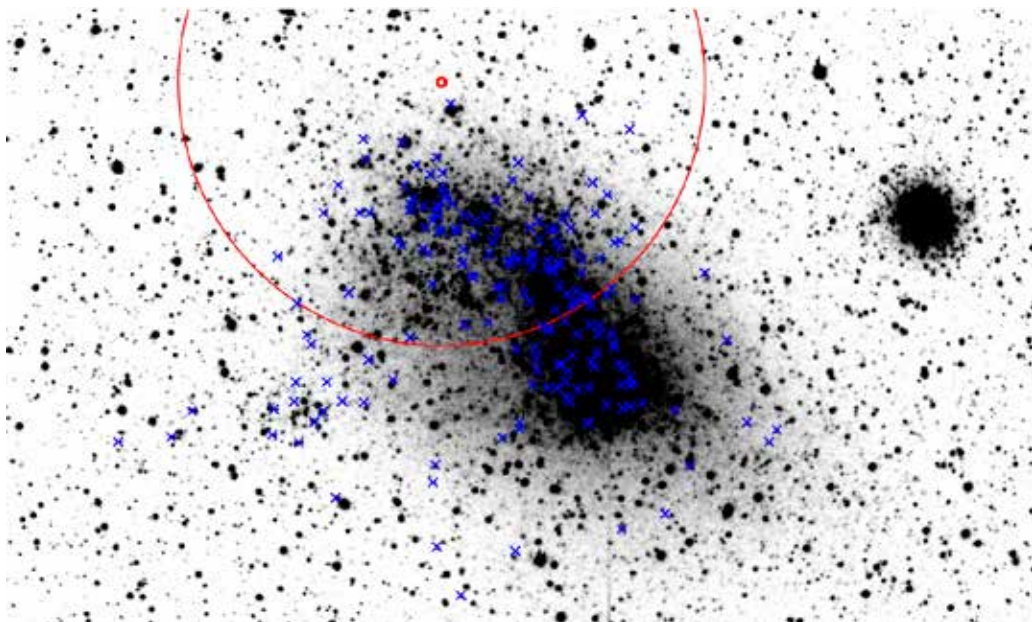
Optical Astronomy Observatory) à Cerro Tololo et du télescope Baade de 6 mètres 50¹ de la Carnegie Institution à l'observatoire de La Campanas, tous deux au Chili.

On ne connaît que quelques dizaines d'étoiles runaway mais cette découverte suggère que ces objets sont en réalité très communs dans l'Univers. L'intérêt soulevé par J01020100-7122208 est qu'elle se trouve dans une phase très brève de son évolution. C'est une supergéante jaune, comme l'étoile polaire et Canopus, deux des étoiles les plus emblématiques du ciel. Alors qu'une étoile massive peut vivre une dizaine de millions d'années, la phase de supergéante jaune ne dure que quelques dizaines de milliers d'années avant que l'étoile n'enfle encore pour devenir une supergéante rouge comme Bételgeuse. Elle est alors assez grosse pour remplir l'orbite de

¹ Le télescope Baade et son jumeau Clay distant de 60 mètres sont les télescopes « Magellan »

Distribution des vitesses des étoiles jaunes dans la direction du Petit Nuage de Magellan. En ordonnées, le paramètre r donne une indication de l'erreur de mesure. Deux groupes se détachent. En bleu, les étoiles de vitesse faible sont des naines jaunes proches de nous. Elles appartiennent à la Galaxie et se meuvent comme le Soleil dans son mouvement général. Les points rouges représentent des supergéantes jaunes du Petit Nuage et se groupent autour de la vitesse radiale moyenne de celui-ci, 158 kilomètres par seconde. Quelques croix noires désignent des étoiles de classification incertaine. À droite, l'étoile qui se distingue par une grande vitesse (300 km/s) est J01020100-7122208. (Neugent et al. 2018)





Mars ou de Jupiter. Elle termine ensuite son existence en une spectaculaire explosion de supernova.

Durant les dix millions d'années de son existence, et en supposant une vitesse tangentielle égale à la vitesse radiale, J01020100-7122208 a pu parcourir un degré et demi sur le ciel, soit trois diamètres lunaires. Elle continuera son chemin jusqu'à ce qu'elle devienne une supernova, dans environ trois millions d'années. En expulsant sa matière, elle participera au recyclage cosmique et à la formation de futures étoiles et de futures planètes à la périphérie du Petit Nuage de Magellan.

La plupart des runaways connues sont relativement proches et appartiennent (provisoirement) à la Voie lactée. J01020100-7122208 n'est que la seconde runaway « évoluée » observée dans une autre galaxie.

Plusieurs hypothèses expliquent l'existence d'étoiles runaway. La première invoque une supernova dans un système binaire. L'explosion repousse l'autre étoile à grande vitesse. Un système binaire peut aussi être disloqué lorsqu'il passe à proximité du trou

Le petit rond rouge marque la position de l'étoile hypervélocité par rapport aux autres supergéantes jaunes du Petit Nuage de Magellan (croix bleues). Le grand cercle rouge montre l'espace que pourrait parcourir l'étoile en dix millions d'années si sa vitesse transversale (c'est-à-dire son mouvement propre) était égale à sa vitesse radiale. (Neugent et al, 2018)

noir supermassif central de la galaxie et que l'une des étoiles se fait éjecter. Une autre théorie veut qu'une étoile soit catapultée en frôlant une autre. La grande vitesse de J01020100-7122208 favorise l'idée d'une explosion.

Pour mieux connaître les étoiles runaway il faudrait pouvoir étudier non seulement celles de très grandes vitesses que l'on discrimine aisément, mais aussi celles animées de vitesses moins extrêmes et qui se mélangent à la population générale. Les résultats du satellite Gaia seront d'une grande utilité dans cette recherche.

Web cosmique

Les astronomes ont décodé les distorsions du fond lumineux primordial de l'Univers pour cartographier les gigantesques filaments de la toile cosmique – filaments qui servent de super-autoroutes pour alimenter en matière fraîche les nœuds où résident souvent des amas de galaxies.

Pour cela les scientifiques ont analysé les données du survey BOSS (Baryon Oscillation Spectroscopic Survey) au moyen de programmes sophistiqués de reconnaissance d'images du même genre que ceux employés par Google ou Yahoo et ils ont utilisé des modèles des filaments pour en faire l'interprétation. BOSS avait observé un million et demi de galaxies dans le but d'étudier l'expansion de l'Univers et les traces des ondes sonores, les « oscillations acoustiques baryoniques » dans l'Univers jeune. Les scientifiques en avaient déduit un catalogue de filaments probables reliant des amas de matière. Les scientifiques

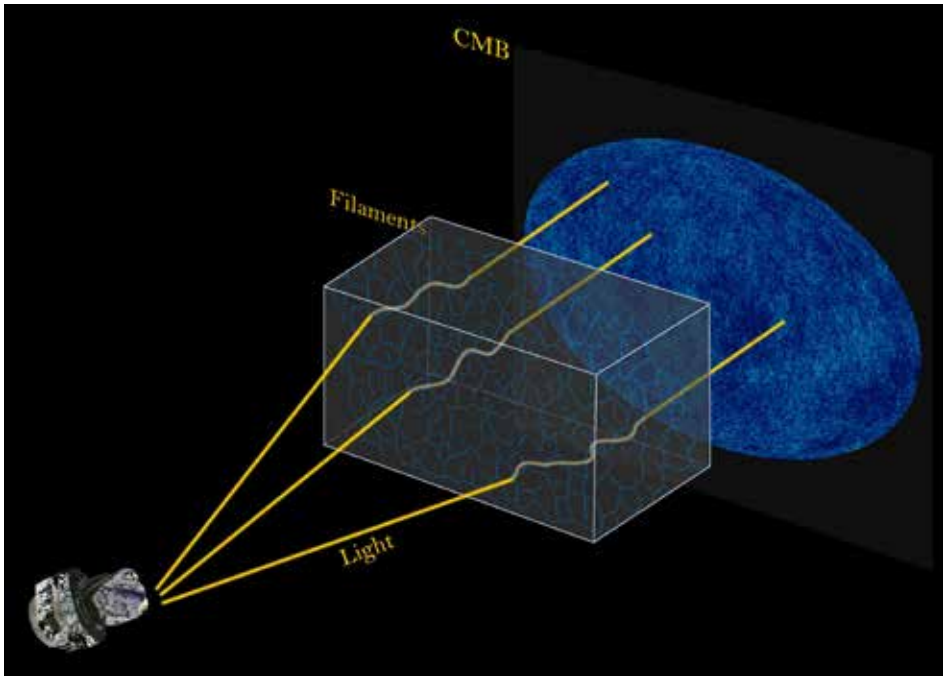
ont également tiré parti des observations faites depuis l'espace du fond cosmique de radiation micro-onde (CMB). L'analyse détaillée avec des algorithmes sophistiqués d'infimes fluctuations spatiales du CMB provoquées par des effets gravitationnels de « weak lensing » a permis de localiser des filaments.

L'exploration détaillée des filaments devraient nous aider à comprendre la formation et l'évolution de la toile cosmique – la structure à grande échelle de la matière de l'Univers – y compris la matière sombre qui compte pour 85% de la masse.

Les filaments, qui s'étirent sur des centaines de millions d'années-lumière, et les halos qui contiennent les amas de galaxies sont constitués de matière sombre. Leur étude

Dans un effet de « weak lensing », les photons du fond cosmique micro-onde (CMB) sont déviés par la gravité des filaments.

(Siyu He, Shadab Alam, Wei Chen, Planck/ESA)

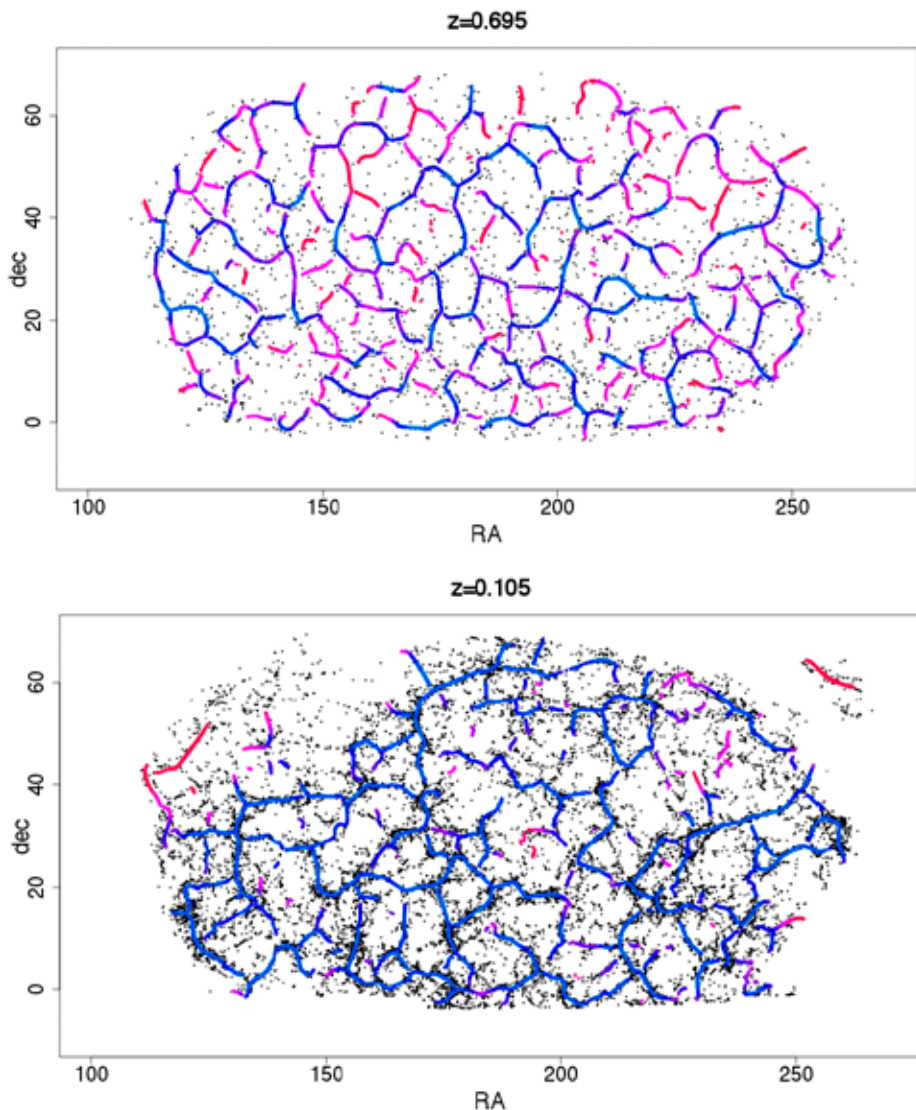


devrait faire avancer nos connaissances sur l'énergie sombre, un autre ingrédient mystérieux qui accélère l'expansion de l'Univers.

Les propriétés des filaments seront un test pour les théories de la gravitation, y compris celle d'Einstein et pourraient servir à préciser le problème des « baryons manquants » – que l'on pense résolu par le gaz chaud intergalactique.

Structure des filaments à deux époques : il y a 12,3 milliards d'années ($z=0,695$) et 7,4 milliards d'années ($z=0,105$). La région représentée s'étend sur 7 500 degrés carrés. Les données les plus fiables sont en bleu, les moins sûres en rouge.

(Yen-Chi Chen, Shirley Ho)



Trous noirs

L'une des prédictions fondamentales de la théorie de la relativité générale est l'existence de trous noirs. Malgré toutes les preuves accumulées, y compris les récentes détections d'ondes gravitationnelles qui leur seraient dues, il manque leur observation directe dans le domaine électromagnétique : on n'en a pas encore tiré de portrait.

À quoi ressemblerait la photo d'un trou noir ? Pour le savoir des chercheurs ont créé des images réalistes de l'ombre d'un trou noir supermassif en utilisant la théorie de la relativité d'Einstein et une théorie alternative. Une observation permettrait alors de distinguer quel est le bon modèle.

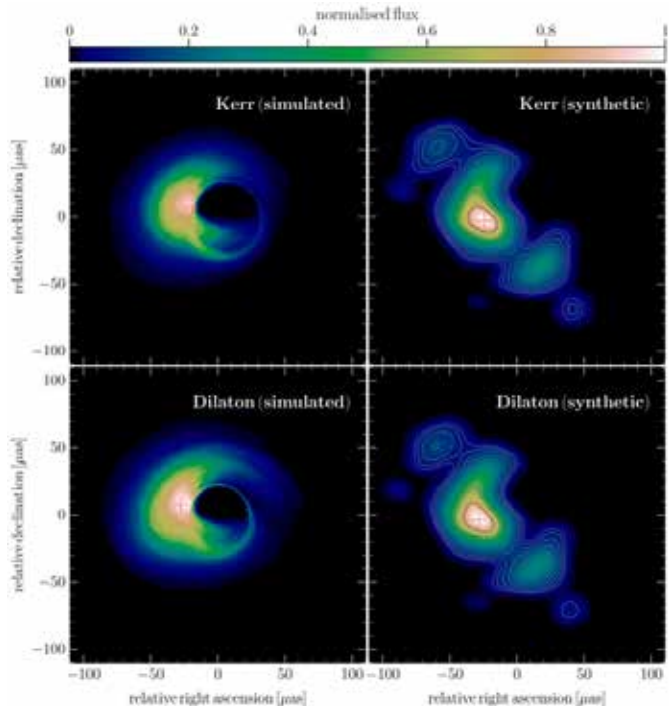
Tous les photons arrivant sur un trou noir ne se font pas piéger par l'« horizon des événements » – la région d'où rien ne s'échappe. Un trou noir observé devant un fond lumineux doit donc montrer une ombre dont la forme dépend des propriétés du trou et donc de la théorie le décrivant.

Les plus grandes divergences entre les théories concernent l'environnement immédiat de l'horizon des événements. L'observation du trou noir supermassif le plus proche, celui de notre galaxie, Sgr A*, serait ainsi un bon moyen de valider la théorie d'Einstein. Ce projet est celui de

la collaboration internationale EHTC (Event Horizon Telescope Collaboration), qui combine des données de radiotélescopes du monde entier.

Les modèles théoriques tentent de distinguer entre un trou noir dit « de Kerr » respectant la théorie d'Einstein et un trou noir « dilaton » fruit d'une théorie alternative de la gravité. Les chercheurs ont étudié l'évolution de la matière qui tombe sur les différents types de trous noirs et ont construit des images représentatives en utilisant des modèles réalistes du milieu interstellaire. À leur grande surprise, ils ont découvert que pour des résolutions observationnelles réalistes, même les modèles les plus éloignés de la relativité générale donnent des images comparables à celles obtenues avec cette théorie.

Il faudra donc affiner grandement les méthodes d'analyse des données de l'EHTC pour espérer valider l'une ou l'autre de ces théories.



Images modélisées de trous noirs einsteiniens et non-einsteiniens. À l'heure actuelle, il est difficile de distinguer entre elles. (Fromm/ Younsi/Mizuno/Rezzolla)

Clathrate d'ammoniac

Basé sur un communiqué INSU/CNRS

La molécule d'ammoniac, NH_3 , est une molécule commune en astrophysique ; elle est présente dans le milieu interstellaire, les comètes et les objets transneptuniens, ainsi que dans les atmosphères de Jupiter et Saturne. Elle est certainement la principale source de diazote (N_2) dans l'atmosphère de Titan. D'une manière plus générale, la présence simultanée d'ammoniac et d'eau semble être une donnée essentielle pour comprendre l'origine des acides aminés, qui sont les briques élémentaires du vivant.

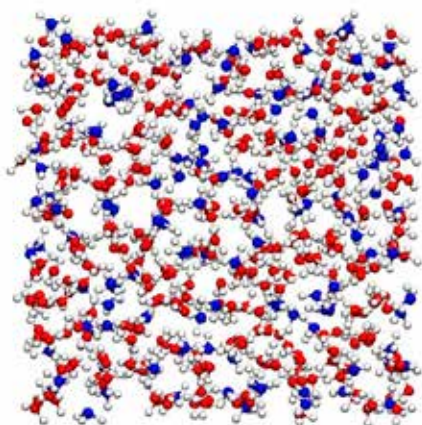
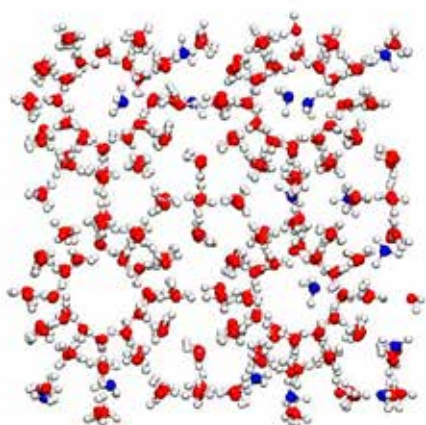
Dans le Système solaire, la molécule NH_3 aurait pu être préservée directement sous forme solide dans des silicates d'ammonium ou dans de la glace d'eau, sous forme d'hydrates d'ammoniac. Mais des expériences récentes ont montré qu'à basse température (typiquement en dessous de 200 K), NH_3 pouvait aussi être piégée au sein de clathrates hydrates, formes très particulières de glace, dans lesquelles les molécules d'eau liées entre elles par des liaisons hydrogène constituent des cages stabilisées par l'incorporation de molécules de gaz.

Ce résultat expérimental a pourtant fait débat car NH_3 était considérée jusqu'à pré-

sent comme un inhibiteur de la formation des clathrates ; il était de plus couramment admis que les molécules piégées dans les clathrates devaient nécessairement avoir un caractère hydrophobe marqué, afin ne pas détruire le réseau des molécules d'eau formant les cages.

En simulant sur ordinateur le piégeage de molécules NH_3 dans un clathrate hydrate, des scientifiques viennent de confirmer l'existence possible du clathrate hydrate de NH_3 dans une gamme de pressions et de températures bien déterminée, compatible avec certaines conditions extra-terrestres. Toutefois, au-delà d'une certaine pression, le nombre de molécules de NH_3 dans le système devient tellement important que la structure clathrate est détruite et se

Images d'un mélange eau et NH_3 à 100 K pour deux teneurs différentes en NH_3 . Le cliché de gauche montre clairement la structure du clathrate hydrate d'ammoniac. Clichés issus de simulations par la méthode de Monte Carlo dans l'ensemble grand canonique ; les atomes O, N et H sont représentés par des sphères respectivement rouges, bleues et blanches.
(Balazs Fabian, Institut UTINAM)



transforme en glace amorphe dans laquelle se retrouvent piégées les molécules d'ammoniac. Les calculs à l'échelle moléculaire mettent ainsi l'accent sur le rôle subtil que jouent les différentes conditions environnementales (pression, température, composition de la phase gaz) sur la stabilité du clathrate hydrate d'ammoniac.

Quoi qu'il en soit, en confirmant des résultats expérimentaux controversés, cette étude souligne le rôle que les clathrates hydrates d'ammoniac pourraient jouer dans la composition de certains objets du Système solaire.

Comme le démontrent les résultats de ces calculs, l'hypothèse de l'existence des clathrates d'ammoniac ne peut donc plus être d'emblée écartée des scénarios de formation du Système solaire, ni dans la compréhension des mécanismes de formation des acides aminés dans les glaces du milieu interstellaire et des comètes.

L'eau de Mars

Au début de l'an passé, les chercheurs utilisant les données du rover martien Curiosity annonçaient la découverte possible de crevasses de dessiccation dans le cratère Gale, lequel était rempli d'eau il y a 3 milliards et demi d'années. Une nouvelle étude vient confirmer cette découverte et révèle des particularités du climat martien de l'époque.

Les crevasses dans la boue ne se forment que lorsque des sédiments humides sont exposés à l'air. Leur situation au centre de l'ancien lac plutôt qu'aux bords suggère que le niveau de l'eau montait et descendait de façon considérable, un cycle que l'on voit sur Terre.

Les chercheurs ont étudié spécialement un rocher surnommé « old Soaker » (vieux ivrogne) de la taille d'une petite table.

***Image par Mastcam du rocher Old Soaker d'environ 80 cm de large.
(NASA)***

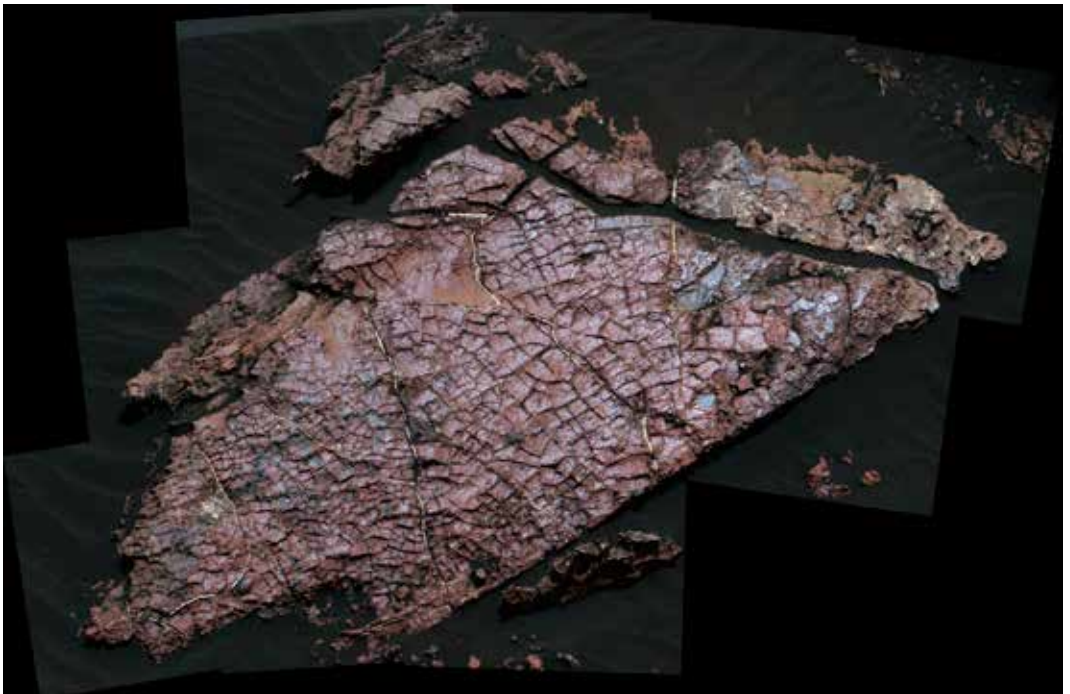




Image Mastcam du rocher Squid Cove de 60 cm de large. Les craquelures s'arrêtent à la couche inférieure qui, plus grossière, ne s'est pas fracturée. (NASA)

Il est recouvert d'une multitude de figures géométriques ressemblant aux craquelures polygonales que la sécheresse peut former sur Terre. Ces crevasses ont été étudiées avec divers instruments de Curiosity, la caméra Mastcam, la caméra Mars Hand Lens, le spectromètre LIBS (ChemCam Laser Induced Breakdown Spectrometer) et le spectromètre APXS (Alpha-Particle X-Ray Spectrometer). Cette analyse physico-chimique prouve que les polygones, confinés à une simple couche

superficielle et avec des sédiments remplissant les interstices, ont été formés par l'exposition à l'air et non à d'autres mécanismes comme la fracturation thermique ou hydraulique. Cette découverte ajoute du contexte à notre connaissance du système lacustre du cratère Gale.

Oumuamua

L'astéroïde Oumuamua (*Le Ciel* 79 (2017) 592; 80 (2018) 16) n'a pas qu'un nom exotique. Sa trajectoire qui l'a amené des espaces interstellaires l'est encore plus, et que dire de sa forme très allongée qui a pu faire croire à un vaisseau interstellaire – il mesure 230 mètres de long pour 30 de large. Oumuamua a été découvert à l'observatoire Haleakala d'Hawaii le 19 octobre dernier alors qu'il était à 33 millions de kilomètres de la Terre, filant au travers du Système solaire à une trentaine de kilomètres par seconde. Il était passé au plus près du Soleil 40 jours auparavant et repartait pour les profondeurs de l'espace.

Les astronomes pensent qu'Oumuamua (1I/2017 U1) a été éjecté d'un système stellaire binaire jeune, au cours de la phase de forma-

tion des planètes. Les étoiles doubles s'avèrent en effet très efficaces pour expédier au loin leurs astéroïdes. Celles qui contiennent une étoile massive sont probablement les plus prolifiques car on pense qu'elles sont entourées de près par beaucoup d'astéroïdes.

On croyait que le premier visiteur interstellaire qui serait découvert serait probablement une comète, ne serait-ce que parce que leur queue les rend beaucoup plus brillantes que de simples cailloux. D'autre part on sait que le Système solaire doit éjecter beaucoup plus de comètes que d'astéroïdes.

Des simulations numériques suggèrent qu'Oumuamua est un débris provenant d'un planétésimal détruit par l'effet de marée d'une planète géante avant d'être éjecté de son système.

