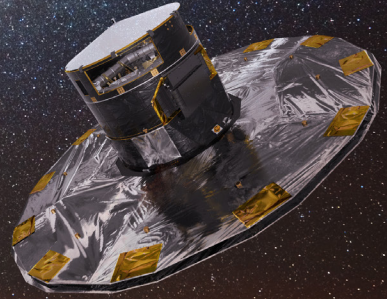


Astronomie dans le monde



*Gaia arpente la Voie lactée.
Vue d'artiste.
(ESA/ATG medialab ; ESO/S. Brunier)*

Contrôle des parallaxes

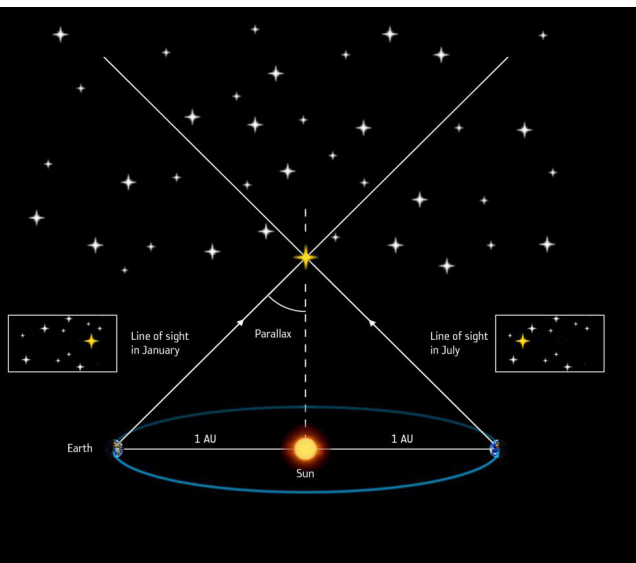
Basé sur un communiqué EPFL

Mesurer la distance des objets célestes est un objectif important pour les astronomes. C'est même l'un des plus grands défis auxquels ils s'attaquent actuellement. C'est dans cette optique que l'Agence spatiale européenne (ESA) a lancé il y a dix ans la mission Gaia. Les données collectées par ce télescope spatial ouvrent une fenêtre sur l'Univers proche, fournissant des mesures astronomiques – telles que la position, la distance à la Terre et le mouvement – pour près de deux milliards d'étoiles.

Gaia a multiplié par 10 000 le nombre d'étoiles dont la parallaxe est connue grâce à un important gain en précision par rapport à son prédécesseur, le satellite Hipparcos de l'ESA. La méthode consiste en une forme de triangulation entre la localisation de Gaia dans l'espace, le Soleil et l'étoile en question. Plus une étoile est éloignée, plus la mesure est difficile car la parallaxe diminue à mesure que la distance est grande.

Malgré le succès retentissant de Gaia, la mesure de la parallaxe est complexe, et il reste de petits effets systématiques qui doivent être vérifiés et corrigés pour que les parallaxes de Gaia atteignent leur plein potentiel. C'est ce sur quoi ont travaillé les scientifiques au travers de calculs effectués sur plus de 12 000 étoiles géantes rouges pulsantes – le plus grand échantillon de ce genre et les mesures les plus précises à ce jour. Ils ont mesuré les biais de Gaia en comparant les parallaxes signalées par le satellite avec les parallaxes des mêmes étoiles déterminées à l'aide de l'astérosismologie.

De la même manière que les géologues étudient la structure de la Terre à l'aide des tremblements de terre, les astronomes utilisent l'astérosismologie – les vibrations et les oscillations des étoiles – pour glaner des informations sur leurs propriétés physiques. Les oscillations stellaires sont mesurées sous forme de minuscules variations d'intensité lumineuse



Les scientifiques utilisent des parallaxes pour calculer la distance aux étoiles. (ESA)

tiquées, calculer la distance de l'étoile. On compare alors ces distances avec celles rapportées par Gaia afin de vérifier l'exactitude des mesures du satellite.

L'astérosismologie est le seul moyen de vérifier la précision des parallaxes de Gaia sur l'ensemble du ciel. Les prochaines missions spatiales destinées à détecter et étudier les exoplanètes utiliseront l'astérosismologie et fourniront les ensembles de données requis dans des régions du ciel de plus

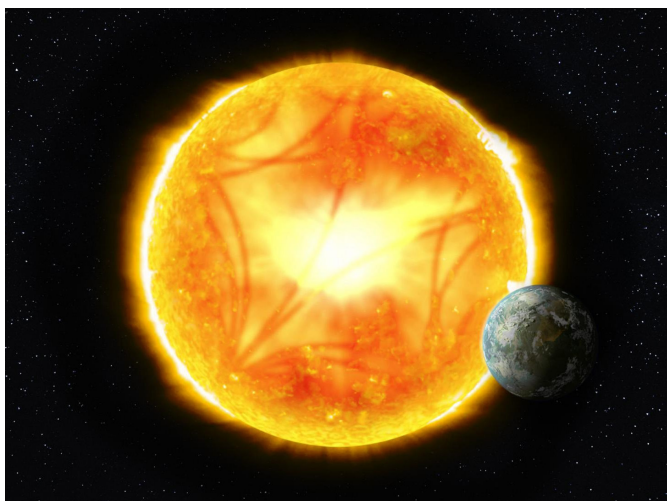
et donnent lieu à un spectre de fréquences qui permet de déterminer à quelle distance se trouve une étoile – sa parallaxe astérosismique.

Ces étoiles ont ainsi été « écoutées », certaines distantes de 15 000 années-lumière !

La vitesse à laquelle les ondes sonores se propagent dans une étoile dépend de la température et de la densité. En analysant le spectre de fréquences des oscillations stellaires, on peut estimer la taille de l'étoile, tout comme on peut identifier la taille d'un instrument de musique par le type de son qu'il produit. En couplant ces informations avec des lectures de température et de composition chimique obtenues par spectroscopie, on peut, au moyen d'analyses sophis-

en plus vastes. De telles méthodes joueront donc un rôle crucial dans l'amélioration des mesures de parallaxe, ce qui nous aidera à identifier notre place dans l'Univers et bénéficiera à toute une variété de domaines de l'astronomie et de l'astrophysique.

Vue d'artiste illustrant comment les ondes sonores individuelles se propagent à l'intérieur d'étoiles comme le Soleil. Certaines se propagent dans les couches superficielles, tandis que d'autres traversent l'étoile. (ESA)



HD110067

Basé sur un communiqué University of Chicago

Les astronomes, et parmi eux une équipe liégeoise, ont découvert un spectacle rare dans un système stellaire proche : six planètes orbitant autour de leur étoile centrale dans des orbites synchrones. Ce cas rare de verrouillage gravitationnel pourrait offrir un aperçu approfondi de la formation et de l'évolution des planètes. Il devrait s'avérer une référence pour étudier comment les planètes sub-Neptunes, le type de planète le plus courant en dehors du Système solaire, se forment et évoluent ; comprendre de quoi elles sont faites et si elles possèdent les bonnes conditions pour garder de l'eau liquide à leur surface.

Les six planètes gravitent autour de l'étoile HD110067, située à environ 100 années-lumière dans la constellation boréale de Coma Berenices. En 2020, le télescope spatial TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) de la NASA avait détecté des baisses de luminosité de l'étoile qui indiquaient que des pla-

nètes passaient devant elle. En combinant les données de TESS et celle du télescope spatial CHEOPS de l'ESA, les chercheurs ont découvert une configuration unique en son genre.

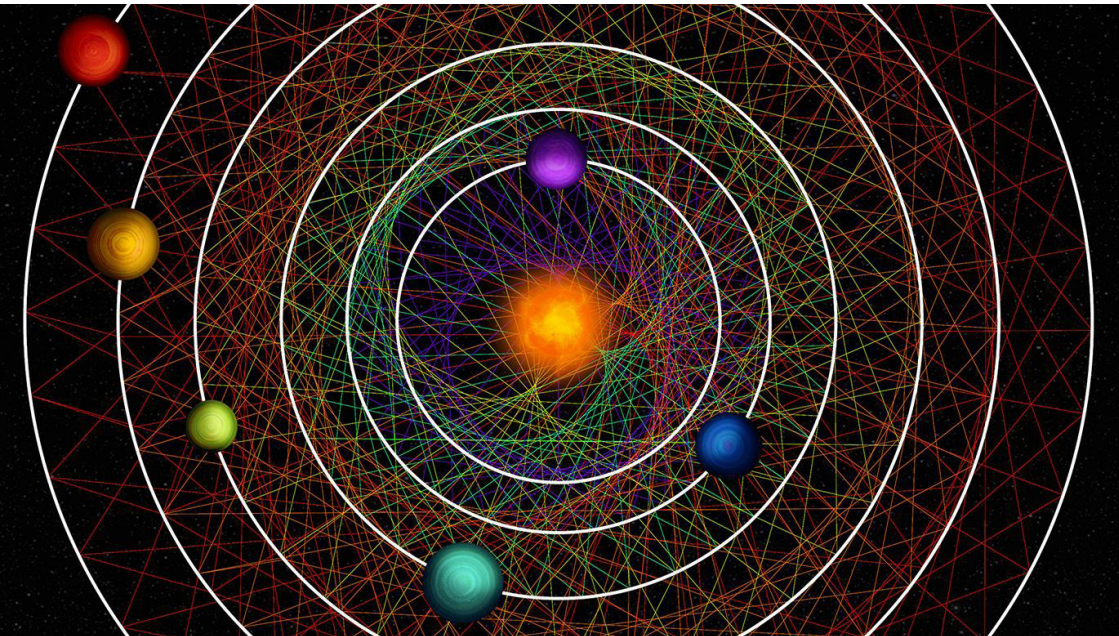
Alors que les systèmes multi-planétaires sont courants dans notre galaxie, ceux qui forment une formation gravitationnelle étroite dite de « résonance » sont observés beaucoup moins souvent.

Ces orbites résonnantes sont très stables ; les planètes exécutent probablement la même danse rythmique depuis la formation du système il y a des milliards d'années.

Les systèmes à résonance orbitale sont extrêmement importants car ils renseignent les astronomes sur la formation et l'évolution ultérieure du système planétaire. Les planètes autour des étoiles ont tendance à se former en résonance mais elles sont facilement perturbées. Par exemple, la présence d'une planète

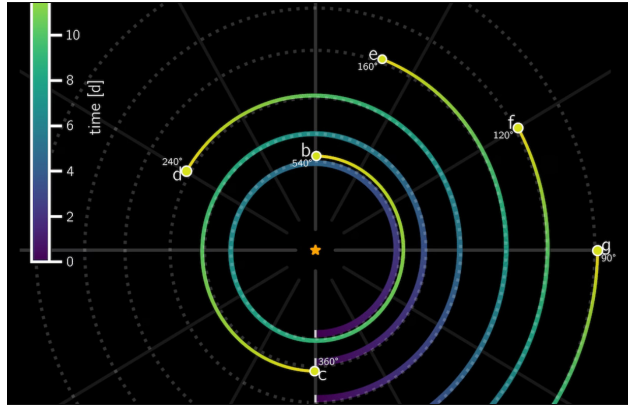
Vue d'artiste des six planètes en résonance.

(Roger Thibaut, NCCR PlanetS)



très massive, une rencontre rapprochée avec une étoile ou un impact géant peuvent tous perturber cet équilibre délicat. En conséquence, de nombreux systèmes multi-planétaires ne sont pas en résonance mais semblent suffisamment proches pour avoir pu l'être dans le passé.

Les systèmes multi-planétaires préservant leur résonance sont donc rares, seulement environ un pour cent de tous les systèmes. Encore plus rares sont ceux qui montrent un chapelet de planètes dans un tel état. HD110067 nous présente cette configuration intacte d'un système planétaire et invite à une étude plus approfondie.




Les planètes les plus proches de l'étoile effectuent trois tours lorsque leur suivante n'en fait que deux : une résonance 3/2. Les planètes les plus éloignées de l'étoile sont quant à elles en résonance 4/3. (Université de Bern/H. Osborn)

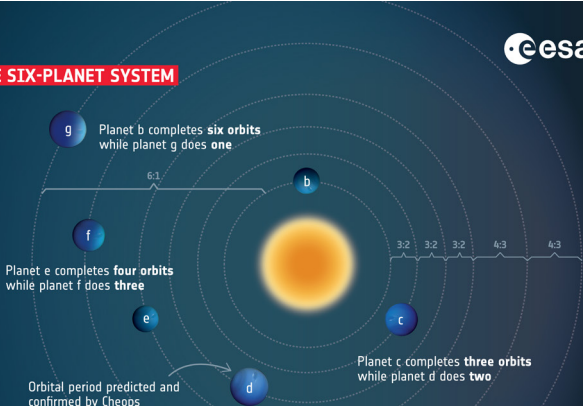
CHEOPS a confirmé la période orbitale de la troisième planète du système, ce qui fut la clé pour révéler le rythme du système dans son intégralité. C'est le second cas de résonance que CHEOPS a aidé à mettre en évidence, le premier étant TOI-178. (ESA, CC BY-SA 3.0 IGO)

ESA'S CHEOPS HELPS UNLOCK RARE SIX-PLANET SYSTEM

An uncommon family of six exoplanets has been unlocked with the help of ESA's Cheops mission.



The six planets orbit their central star HD 110067 in a harmonic rhythm with planets aligning every few orbits.





Planet b completes six orbits while planet g does one

Planet e completes four orbits while planet f does three

Planet c completes three orbits while planet d does two

Orbital period predicted and confirmed by Cheops

All planets are smaller than Neptune and have large atmospheres
*Star and planets not to scale

M51

Basé sur un communiqué MPLA

L'interféromètre NOEMA (Northern Extended Millimeter Array) a permis de cartographier en détail pour la première fois les nuages denses formant des étoiles dans une galaxie autre que la nôtre. Ces observations couvrent une vaste étendue de la galaxie des Chiens de Chasse, M51, et donnent un aperçu des conditions propices à la formation d'étoiles. Elles constituent une avancée révolutionnaire dans ce type de mesure, permettant aux chercheurs d'examiner les premières phases de la formation des étoiles au-delà de la Voie lactée à des échelles aussi petites que des nuages individuels.

Paradoxalement, l'évolution des étoiles chaudes commence dans des régions parmi les plus froides de l'Univers : des nuages denses de gaz et de poussière. Pour étudier les premières phases de ce processus il s'agit d'abord d'identifier ces régions. Pour cela, les astronomes utilisent dans la Voie lactée des traceurs spécifiques, particulièrement abondants dans ces zones extrêmement froides et denses. Il s'agit souvent de molécules telles que le cyanure d'hydrogène (HCN) ou le cation diazénylium (N_2H^+). Mais ce n'est que maintenant que nous avons pu observer ces traceurs de manière détaillée dans des galaxies extérieures montrant des conditions diverses.

Ces molécules sont soumises à des collisions, principalement avec celles d'hydrogène beaucoup plus abondantes. Les chocs modifient la rotation des molécules. Lorsque l'état quantique de rotation d'une molécule diminue, il y a émission d'un photon de longueur d'onde caractéristique, de l'ordre de trois millimètres pour les molécules précitées.

Les nouvelles mesures font partie d'un programme d'observation complet nommé SWAN (Surveying the Whirlpool at Arcsecond with NOEMA) utilisant l'interféromètre radio NOEMA situé dans les Alpes françaises. Ce programme vise à étudier la distribution de diverses molécules dans la galaxie Messier 51, dont le cyanure d'hydrogène et le diazénylium. En plus des 214 heures d'observation de ce

programme, environ 70 heures d'autres campagnes d'observation avec un radiotélescope de 30 mètres dans le sud de l'Espagne ont complété l'ensemble de données.

Les télescopes interférométriques comme NOEMA sont constitués de plusieurs antennes individuelles, atteignant collectivement une résolution comparable à celle d'un télescope avec un diamètre de miroir primaire équivalent à l'espacement entre les télescopes individuels. Les données des radio-interféromètres étant beaucoup plus complexes que les images des télescopes, le traitement et l'affinement des données ont pris environ un an.

La distribution du cyanure d'hydrogène et du diazénylium à travers les bras spiraux fournit des estimations fiables de la densité du gaz. Au centre de la galaxie, cependant, on constate des différences notables entre les deux molécules. Par rapport au diazénylium, l'émission du cyanure d'hydrogène augmente de manière plus significative. Il semble y avoir un mécanisme qui conduit le cyanure d'hydrogène à émettre plus intensément dans cette zone, ce qui n'est pas le cas pour le diazénylium.

Les chercheurs soupçonnent que le responsable est le noyau actif de la galaxie, cette région qui entoure le trou noir massif central. Avant que le gaz ne tombe dans le trou noir, il forme un disque en rotation, accélère à des vitesses élevées et est chauffé à des milliers de degrés par friction, en émettant un rayonnement intense. Ce rayonnement pourrait contribuer partiellement à l'émission supplémentaire de molécules de cyanure d'hydrogène. Il reste cependant à expliquer pourquoi les deux gaz se comportent différemment.

Au moins dans la région centrale de M51, le diazénylium semble être un traceur de densité plus fiable que le cyanure d'hydrogène. Malheureusement, pour la même densité de gaz, sa luminosité est en moyenne cinq fois plus faible, ce qui rend les mesures plus difficiles. La sensibilité supplémentaire requise est obtenue grâce à une période d'observation considérablement plus longue.

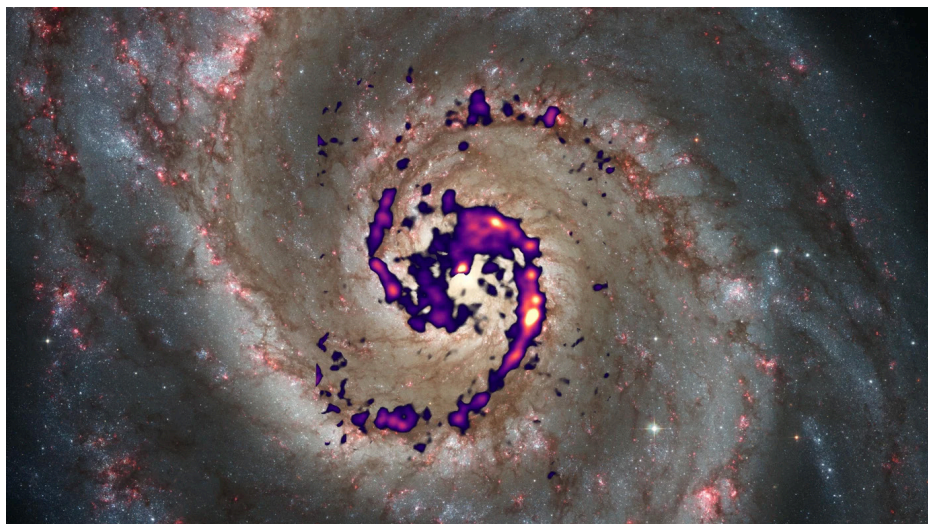
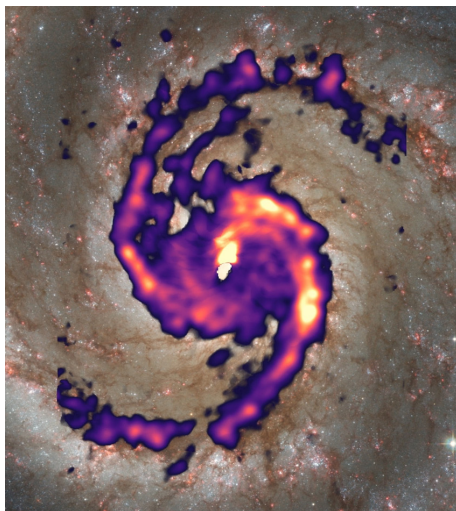
La perspective d'explorer en détail les premières phases de la formation stellaire

dans des galaxies situées en dehors de la Voie lactée donne de l'espoir aux scientifiques. Une image aussi claire que celle de la Galaxie des Chiens de Chasse n'est pas disponible pour la Voie lactée. Alors que les nuages moléculaires et les régions de formation d'étoiles sont plus proches dans la Voie lactée, déterminer la structure exacte des bras spiraux est beaucoup plus difficile car nous sommes dans le plan même de notre galaxie.

Ce programme d'observation détaillé de M51 est en quelque sorte un projet pilote, permis par la brillance exceptionnelle de la galaxie. Pour étudier d'autres objets, les télescopes et les instruments doivent être beaucoup plus sensibles. Le Very Large Array (ngVLA) de nouvelle génération, actuellement en cours de planification, devrait répondre à ce souhait des astronomes. Si tout se passe bien, il sera disponible dans une dizaine d'années.

Distribution de l'émission du cyanure d'hydrogène (à droite) et du diazénylium (ci-dessous) dans M51, superposée à l'image optique. Les zones rougeâtres sur la photographie représentent des nébuleuses gazeuses lumineuses contenant des étoiles chaudes et massives traversant les nuages denses des bras spiraux. La présence de diazénylium dans ces régions sombres suggère des nuages de gaz particulièrement froids et denses.

(Thomas Müller/HdA/MPIA, S. Stuber et al./MPIA, NASA, ESA, S. Beckwith/STScI, Hubble Heritage Team/STScI/AURA)



Déficit de spirales dans le Plan supergalactique

Basé sur un communiqué Durham University

Dans l'Univers local, la Voie lactée est intégrée dans le Plan supergalactique, une énorme structure aplatie s'étendant sur près d'un milliard d'années-lumière.

Les observations montrent que les galaxies spirales y sont relativement rares par rapport aux nombreuses galaxies elliptiques brillantes.

Les chercheurs ont pu montrer que différentes distributions de galaxies elliptiques et à disques se produisent naturellement en raison des environnements contrastés à l'intérieur et à l'extérieur du Plan.

Dans les amas de galaxies denses du Plan supergalactique, les galaxies connaissent de fréquentes interactions et fusions avec d'autres galaxies. Cela transforme les galaxies spirales en galaxies elliptiques – sans bras spiraux ni structure interne apparente. En revanche, loin du Plan, les galaxies peuvent évoluer dans un isolement relatif, ce qui les aide à préserver leur structure spirale.

Les chercheurs ont mené leur travaux en utilisant la simulation du supercalculateur SIBELIUS (Simulations Beyond the Local Universe).

SIBELIUS suit en détail l'évolution de l'Univers sur 13,8 milliards d'années, depuis les débuts jusqu'à nos jours.

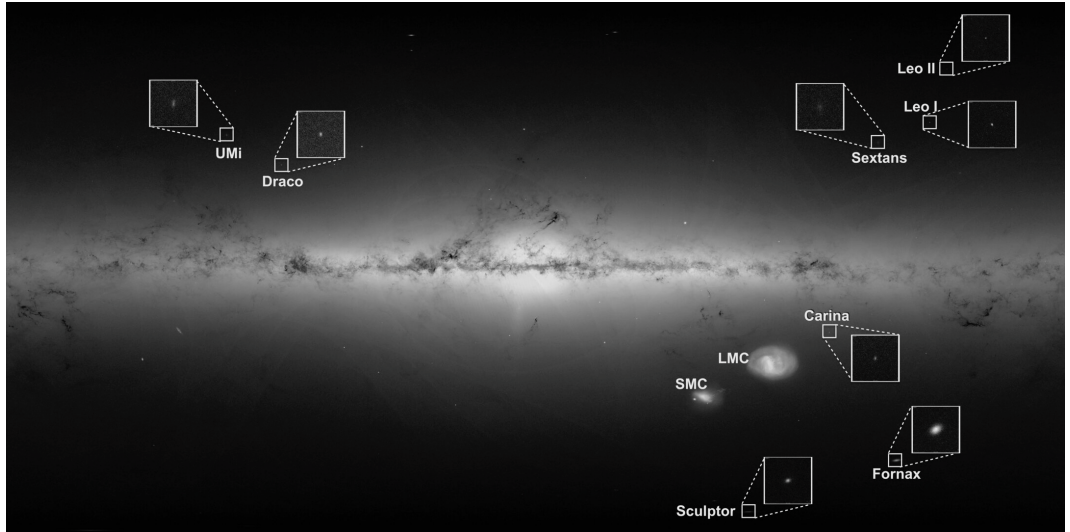
La simulation produite est remarquablement cohérente avec les observations. Elle révèle les détails de la formation des galaxies comme la transformation des spirales en elliptiques grâce aux fusions de galaxies.

La simulation montre également que le modèle standard de l'Univers, basé sur l'idée que la majeure partie de sa masse est constituée de matière noire froide, est capable de reproduire les structures les plus remarquables de l'Univers, dont la structure spectaculaire qui abrite la Voie lactée.

Galaxies elliptique et spirale dans une image combinée des télescopes spatiaux James Webb et Hubble.

(NASA, ESA, CSA, R. Windhorst/ASU, W. Keel/University of Alabama, S. Wyithe/University of Melbourne, JWST PEARLS Team, A. Pagan/STScI).





Les galaxies naines de la Voie lactée

Basé sur un communiqué Observatoire de Paris

Il est admis depuis longtemps que les galaxies naines du halo de la Voie lactée sont d'anciens satellites orbitant autour de notre galaxie depuis près de 10 milliards d'années. Cela suppose la présence d'immenses quantités de matière sombre pour protéger ces satellites des énormes effets de marée dus à la gravitation de la Galaxie. Les grandes dispersions de vitesses observées dans la quasi-totalité des galaxies naines, corroborent cette présence de matière invisible.

Pendant, l'exploitation des dernières données du satellite Gaia dévoile une tout autre interprétation des galaxies naines.

Les chercheurs ont pu établir l'histoire des interactions gravitationnelles de la Voie lactée avec d'autres galaxies, grâce à la relation qui relie l'énergie orbitale d'un objet à l'époque de son entrée dans le halo. Plus un objet est tombé tôt dans notre galaxie, plus il a perdu de l'énergie durant ses rencontres et collisions avec d'autres objets. Les énergies

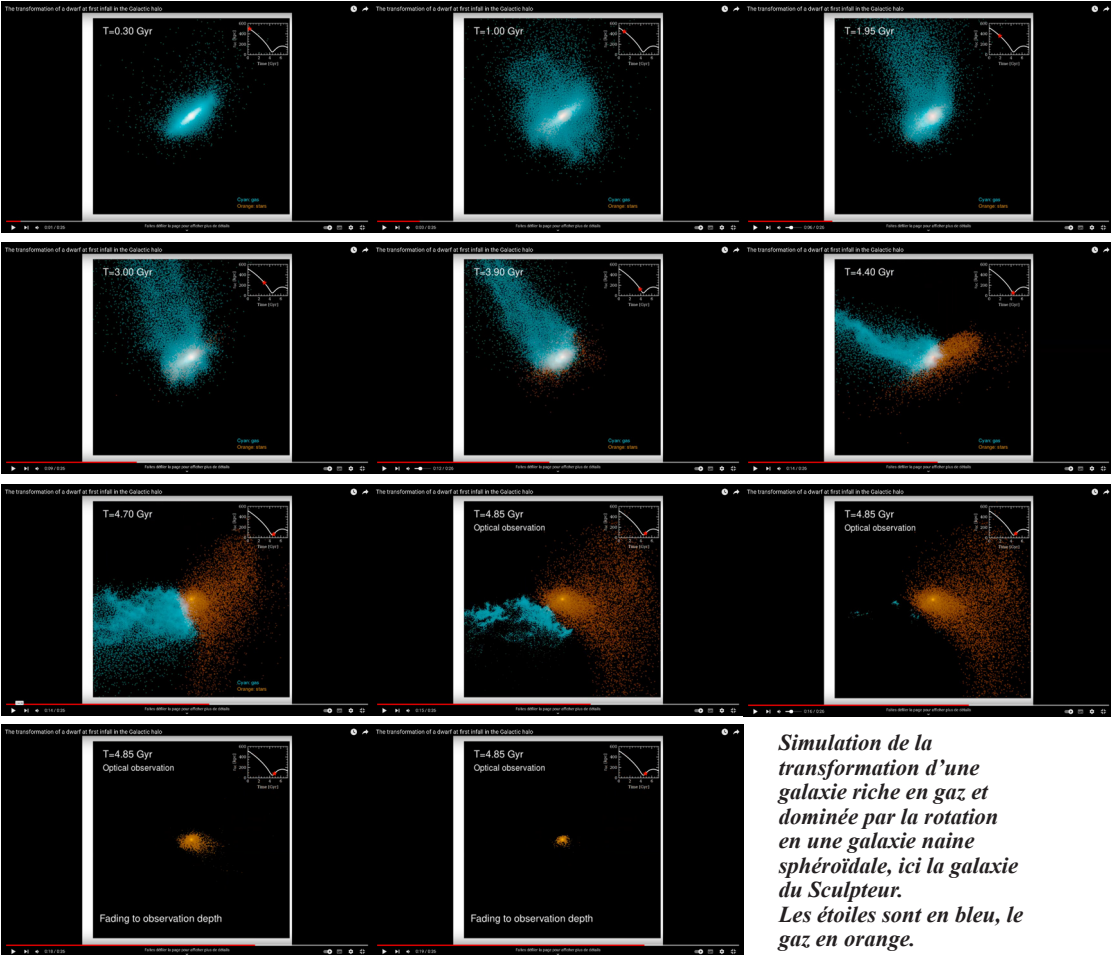
La Voie lactée entourée de galaxies naines.
(Hammer, Yang, Observatoire de Paris - PSL / ESA / Gaia)

orbitales des galaxies naines sont trois fois plus grandes que celle de la galaxie naine du Sagittaire entrée dans le halo, il y a 5 à 6 milliards d'années. Cela implique que la majorité des galaxies naines sont arrivées bien plus récemment : il y a moins de 3 milliards d'années.

Cela veut dire qu'elles viennent de l'extérieur du halo et contiennent beaucoup de gaz neutre. En entrant dans le halo, ces galaxies perdent leur gaz par collision avec celui du halo galactique.

La violence des chocs et de la turbulence dans le processus transforme complètement chacune des galaxies naines. Riches en gaz, leurs dynamiques étaient alors dominées par la rotation du gaz et des étoiles ; en entrant dans la Galaxie, elles deviennent des systèmes sans gaz, avec des étoiles se déplaçant dans toutes les directions.

Une des curiosités de cette étude vient du rôle de la matière sombre. Tout d'abord,



Simulation de la transformation d'une galaxie riche en gaz et dominée par la rotation en une galaxie naine sphéroïdale, ici la galaxie du Sculpteur. Les étoiles sont en bleu, le gaz en orange. (J. Wang, F. Hammer / Observatoire de Paris - PSL)

l'absence d'équilibre empêche toute estimation de la masse dynamique, et donc de la quantité de matière sombre.

Alors que dans le scénario antérieur, la matière sombre était supposée protéger la stabilité des galaxies naines, elle devient plutôt gênante pour des objets « hors équilibre ». S'il y en a trop, elle stabilise les étoiles des galaxies naines, et celles-ci ne peuvent se muer en galaxies soutenues par la dispersion comme on l'observe aujourd'hui.

La chute récente des galaxies naines et leur transformation dans le halo de la Voie

lactée expliquent très bien de nombreuses découvertes sur ces objets, notamment pourquoi elles possèdent des étoiles très éloignées de leur centre. L'ensemble de leurs propriétés pourrait même être compatible avec une absence de matière sombre, alors qu'elles sont en général considérées comme les objets de l'Univers en contenant la plus grande fraction.

L'Atlas des Galaxies de Siena

Basé sur un communiqué NOIRLab

Les astronomes ont publié un atlas détaillé de près de 400 000 galaxies dans notre voisinage cosmique. L'Atlas des Galaxies de Siena, accessible en ligne, est conçu pour être le principal atlas numérique des grandes galaxies. C'est un trésor d'informations pour les chercheurs qui étudient toute une variété de sujets, depuis la formation et l'évolution des galaxies jusqu'à la matière noire et les ondes gravitationnelles.

NGC 520 est la réunion de deux galaxies en collision depuis 300 millions d'années. Elles finiront par former un seul système massif. Découvert par William Herschel en 1784, NGC 520 est l'un des objets les plus brillants de l'Atlas de Siena.

(CTIO/NOIRLab/DOE/NSF/AURA/Siena College, J. Moustakas, T.A. Rector/University of Alaska, M. Zamani, D. de Martin)





*Mosaïque de 42 galaxies du SGA-2020 triées par diamètre angulaire croissant du haut à gauche vers le bas à droite. Les galaxies ont été choisies au hasard dans une distribution de probabilité uniforme des diamètres angulaires. La barre blanche horizontale dans le coin inférieur gauche de chaque panneau représente 1 minute d'arc. Les panneaux font de 3,2 à 13,4 minutes d'arc de côté. Cette figure illustre la vaste gamme de types, de tailles, de couleurs et de profils des galaxies du SGA.
(CTIO/NOIRLab/DOE/NSF/AURA/J. Moustakas)*



IC 4212 est une spirale barrée, proche de l'équateur, dans la constellation de la Vierge. (CTIO/NOIRLab/DOE/NSF/AURA/Siena College, J. Moustakas, T.A. Rector/University of Alaska, M. Zamani, D. de Martin)

Le Siena Galaxy Atlas (SGA) est une compilation de données provenant de trois recensements réalisés entre 2014 et 2017 : les DESI Legacy Surveys destinés à identifier les galaxies cibles de DESI (Dark Energy Spectroscopic Instrument). Les données ont été collectées à l'Observatoire interaméricain de Cerro Tololo (CTIO) au Chili et à l'Observatoire national de Kitt Peak (KPNO) en Arizona – deux programmes du NOIRLab (National Optical-Infrared Astronomy Research Laboratory) de la NSF (National Science Foundation) –, ainsi qu'à l'Observatoire Steward de

l'Université de l'Arizona. Le SGA contient des données supplémentaires provenant d'un recensement réalisé par le satellite Wide-field Infrared Survey Explorer (WISE).

Les instruments de pointe utilisés comprennent la Dark Energy Camera (DECam) du télescope Blanco de 4 mètres du CTIO au Chili, la caméra Mosaic3 du télescope Mayall de 4 mètres au KPNO et la caméra 90Prime du télescope Bok de 2,3 mètres, également au KPNO.

Les images ont été prises dans toute une gamme de longueurs d'onde, optiques et infrarouges, afin de cartographier une superficie totale de 20 000 degrés carrés, soit près de la moitié du ciel, ce qui en fait l'une des plus grandes études de galaxies. En rassemblant cette foule d'informations en un seul endroit, le SGA offre des données précises sur l'emplacement, la forme et la taille de centaines de milliers de grandes galaxies relativement proches. Outre le grand nombre d'objets enregistrés, les données du SGA atteignent également un nouveau niveau de précision. Il s'agit aussi du premier travail de ce type à fournir des données sur les profils radiaux des galaxies.

Les grandes galaxies proches sont importantes car on peut les étudier en détail. Non seulement elles sont d'une beauté saisissante, mais elles détiennent la clé pour comprendre comment les galaxies se forment et évoluent, y compris notre propre galaxie, la Voie lactée.

Le SGA s'appuie sur plusieurs siècles d'efforts pour cartographier le ciel nocturne. L'emblématique Catalogue des Nébuleuses et des Amas d'Étoiles, publié en 1774 par l'astronome français Charles Messier, fut une étape majeure, tout comme le NGC (New General Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars), publié en 1888 par John Louis Emil Dreyer. Plus récemment, en 1991, les astronomes ont compilé le catalogue RC3 (Third Reference Catalog of Bright Galaxies, G. de Vaucouleurs *et al.*). Plusieurs autres atlas de galaxies ont été publiés au cours des deux dernières décennies, mais la plupart d'entre eux s'appuient sur les mesures de plaques photographiques du RC3, ou sont très incomplets. Étant donné que le

SGA utilise des images numériques capturées avec des instruments très sensibles, cela représente une amélioration substantielle de la qualité et de l'exhaustivité des données.

Jusqu'ici, les compilations de galaxies étaient peu fiables, avec des données incorrectes concernant la position, la dimension ou la forme des galaxies. Elles contenaient également des objets n'étant nullement des galaxies mais des étoiles ou des défauts photographiques. Le SGA remet tout cela en ordre, sur une grande partie du ciel. Il fournit également les meilleures mesures de luminosité pour les galaxies, ce qui n'existait pas encore de manière fiable pour un échantillon de cette taille.

Cette ressource polyvalente favorisera le progrès dans de nombreuses branches de l'astronomie et de l'astrophysique en aidant les scientifiques à trouver les meilleurs échantillons de galaxies pour une observation ciblée. Par exemple, le SGA devrait permettre de mieux comprendre la dépendance des processus de formation des étoiles selon les galaxies, les mécanismes physiques sous-jacents à la diversité des morphologies que présentent les galaxies et les relations entre la distribution des galaxies et celle de la matière noire. Le SGA aidera également les astronomes à identifier les sources de signaux transitoires comme les ondes gravitationnelles et à comprendre les événements qui les provoquent.

Le SGA n'est pas réservé aux chercheurs universitaires, il est disponible gratuitement en ligne¹ pour tous ceux qui souhaitent mieux connaître notre coin de l'Univers. En plus de son utilité scientifique, il contient de nombreuses images de belles galaxies.

La diffusion publique de ces données spectrales aura un impact réel non seulement sur la recherche astronomique, mais également sur la capacité du public à visualiser et à identifier les galaxies relativement proches.

¹ <https://portal.nersc.gov/project/cosmo/data/sga/2020/data>

Encelade

Basé sur un communiqué NASA/JPL

Le panache de vapeur d'eau et de poussières de glace craché par les geysers d'Encelade, la lune de Saturne, est riche en composés organiques dont certains sont importants pour la vie telle que nous la connaissons. Les données de la mission Cassini ont apporté une nouvelle indication sur l'habitabilité d'Encelade en confirmant la présence de cyanure d'hydrogène, une molécule clé de l'origine de la vie. Parmi tous les modèles tentant d'expliquer les observations, seul celui incorporant du cyanure d'hydrogène rend compte de la composition du panache.

Encelade héberge ainsi certaines des molécules les plus importantes à la fois pour créer les éléments constitutifs de la vie et pour maintenir cette vie par le biais de réactions métaboliques.

Les chercheurs ont également découvert des preuves que l'océan souterrain, qui alimente les geysers, renferme une puissante source d'énergie chimique. Elle se présente sous la forme de plusieurs composés organiques dont certains, sur Terre, servent de carburant aux organismes. Cela suggère qu'il y aurait beaucoup plus d'énergie chimique à l'intérieur de cette petite lune qu'on ne le pensait auparavant. Et plus il y a d'énergie disponible, mieux la vie peut proliférer.

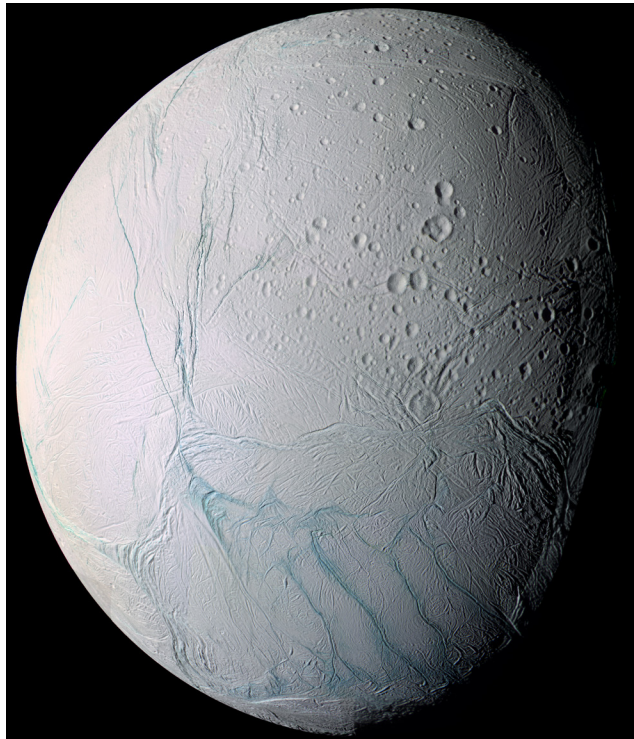
Non seulement Encelade semble répondre aux exigences fondamentales d'habitabilité, mais on a maintenant une idée de la manière dont des biomolécules complexes pourraient s'y former et des types de voies chimiques qui pourraient être impliquées.

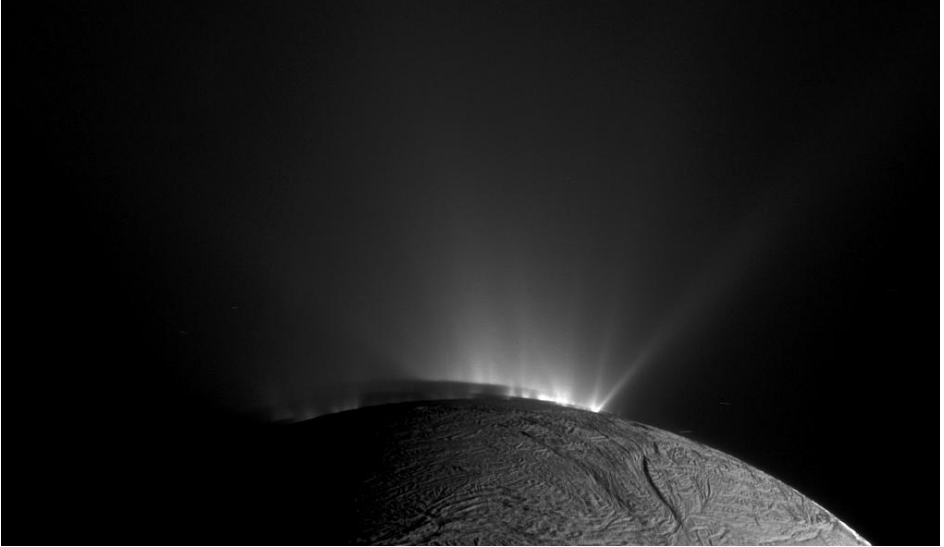
La découverte du cyanure d'hydrogène a été particulièrement passionnante, car c'est le point de départ de la plupart des théories sur l'origine de la vie. La vie telle que nous la connaissons nécessite des éléments constitutifs tels que les acides

aminés, et le cyanure d'hydrogène est l'une des molécules les plus importantes et les plus polyvalentes nécessaires à la formation des acides aminés. Les molécules de cyanure d'hydrogène peuvent être empilées de différentes manières, ce qui en fait le couteau suisse des précurseurs d'acides aminés.

En 2017, des scientifiques avaient découvert sur Encelade des preuves d'une chimie qui pourrait aider à maintenir la vie dans son océan. La combinaison de dioxyde de carbone, de méthane et d'hydrogène dans les geysers suggère l'action d'un processus métabolique produisant du méthane. La méthanogenèse est répandue sur Terre et pourrait avoir joué un rôle essentiel dans l'origine de la vie sur notre planète.

Encelade vue par Cassini en 2005. Mosaïque de 21 clichés montrant la face de la lune opposée à Saturne. (NASA/JPL/Space Science Institute)





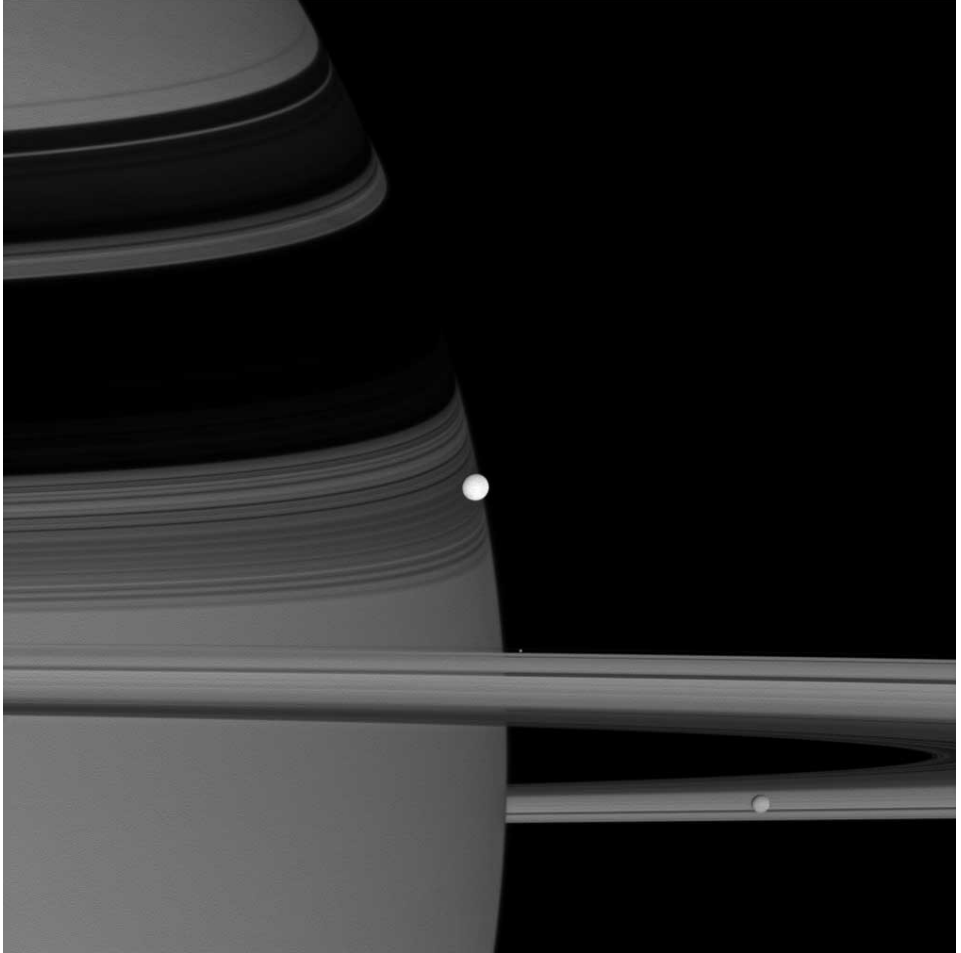
Les nouveaux travaux révèlent des sources chimiques d'énergie supplémentaires encore plus efficaces que la production de méthane. L'oxydation contribue à la libération d'énergie chimique et une série de composés organiques oxydés suggèrent qu'il existe de nombreuses voies chimiques pour maintenir une vie éventuelle dans l'océan souterrain d'Encelade.

Contrairement aux recherches antérieures qui utilisaient des expériences en laboratoire et des modèles géochimiques pour reproduire les conditions découvertes par Cassini sur Encelade, les nouveaux travaux se sont appuyés sur des analyses statistiques détaillées des données collectées par le spectromètre de masse INMS (Ion and Neutral Mass Spectrometer) de Cassini, qui a étudié les gaz, les ions et les grains de glace autour de Saturne.

En quantifiant le nombre d'informations contenue dans les données, les chercheurs ont pu mettre en évidence des différences subtiles dans la manière dont différents composés chimiques expliquent le signal observé. Les pièces du puzzle peuvent être assemblées de diverses manières pour tenter de correspondre aux mesures. La modélisation mathématique et statistique a permis de déterminer quelle combinaison des pièces du puzzle correspond le mieux à la composition du panache et tire le meilleur parti des données, sans surinterpréter l'ensemble relativement limité.

Image du pôle sud d'Encelade prise en 2010 par la caméra à angle étroit de Cassini montrant le bassin des geysers, plus d'un an après l'équinoxe d'automne. Le vaisseau spatial se trouvait dans le plan équatorial de la lune. L'ombre de la nuit se projette sur les parties inférieures des jets.

Des images post-équinoxe comme celle-ci, montrant clairement les différents emplacements de l'intersection entre l'ombre et le rideau de jets venant de chaque fracture, ont été utiles pour vérifier les positions des geysers. (NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute)



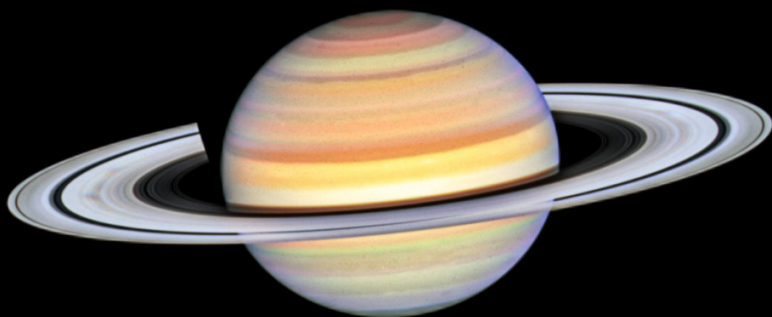
Les scientifiques sont encore loin de savoir si la vie pourrait naître sur Encelade. Mais ces travaux présentent des voies chimiques pour la vie qui pourraient être testées en laboratoire.

Pendant ce temps, la mission Cassini continue de produire des résultats, longtemps après avoir révélé qu'Encelade est une lune active. En 2017, la mission s'est terminée en plongeant délibérément le vaisseau spatial dans l'atmosphère de Saturne.

Trio de lunes rassemblées le long de la ligne de mire du vaisseau spatial Cassini.

Encelade (504 kilomètres de diamètre) se trouve au centre du réseau d'ombre des anneaux; Pandora (81 kilomètres) n'est qu'un point brillant planant près des anneaux; et Mimas (396 kilomètres) se projette devant l'anneau, en bas à droite.

Cette vue a été prise du côté ensoleillé des anneaux, à environ un degré en dessous de leur plan. Elle a été obtenue en lumière verte avec la caméra à grand angle le 28 juin 2007, à une distance de 291 000 kilomètres d'Encelade. (NASA/JPL/Space Science Institute)



Les spokes de Saturne

Basé sur un communiqué NASA/Hubble

En 1981, la sonde Voyager 2 de la NASA photographiait pour la première fois les « spokes » de Saturne, des taches éphémères apparaissant sur les anneaux et tournant avec eux durant quelques rotations. Pendant les périodes actives, des spokes se succèdent continuellement. Ces taches – parfois traduites en français par « doigts » ou « rayons » – ont bien sûr été vues aussi par l’orbiteur Cassini au cours de sa mission de 13 ans qui s’est terminée en 2017.

Grâce à sa vision acérée, le télescope spatial Hubble peut aussi observer ce phénomène de beaucoup plus loin. Il guette ainsi l’apparition des spokes. Ce programme d’observation (OPAL, Outer Planets Atmospheres Legacy) a démarré il y a près de dix ans pour surveiller chaque année les changements météorologiques sur les quatre planètes géantes gazeuses.

Les images de Hubble montrent que les apparitions de rayons sont saisonnières, arrivant cette fois dans les données OPAL en 2021, mais uniquement du côté matin des anneaux. Une surveillance à long terme montre

Saturne photographiée par le télescope spatial Hubble de la NASA le 22 octobre 2023, alors que la planète aux anneaux se trouvait à environ 1,368 milliard de kilomètres de la Terre. L’image révèle les bandes nuageuses de la planète et le phénomène des « spokes » (« rayons », « doigts ») sur l’anneau B. (NASA, ESA, STScI, Amy Simon/NASA-GSFC)

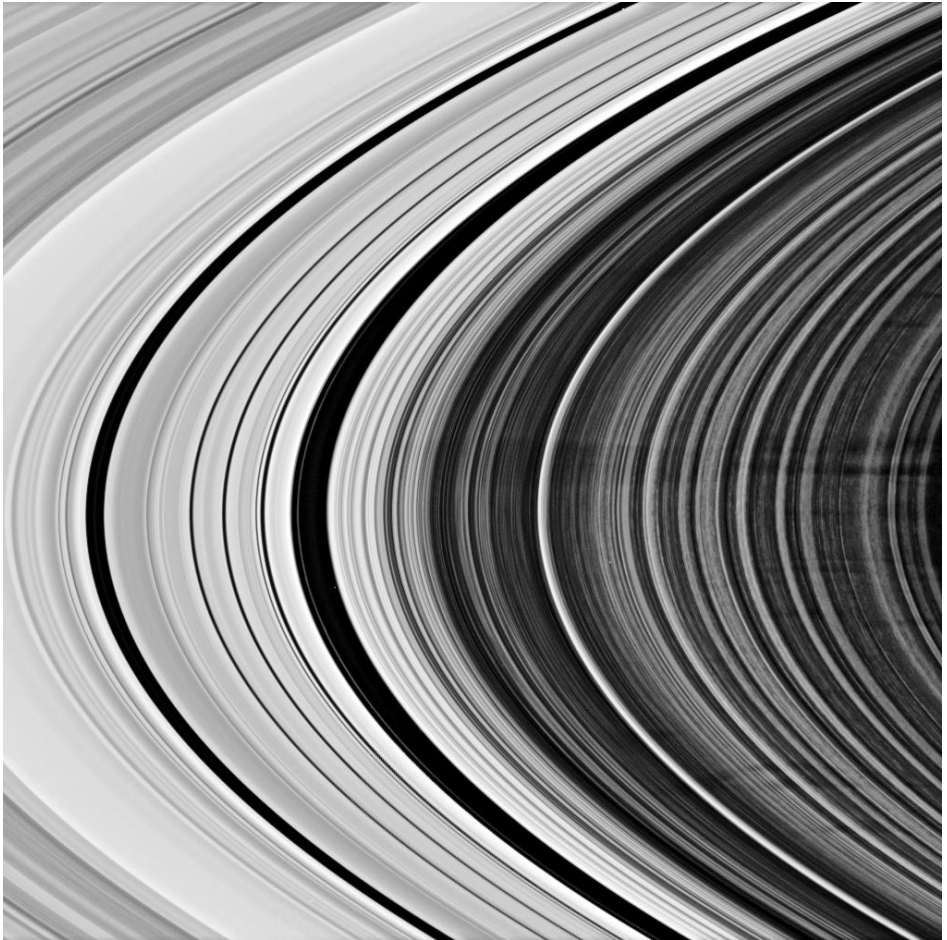
que, non seulement le nombre, mais aussi le contraste des rayons varie selon les saisons de Saturne. La planète, inclinée sur son axe comme la Terre, présente en effet des saisons qui durent environ sept ans.

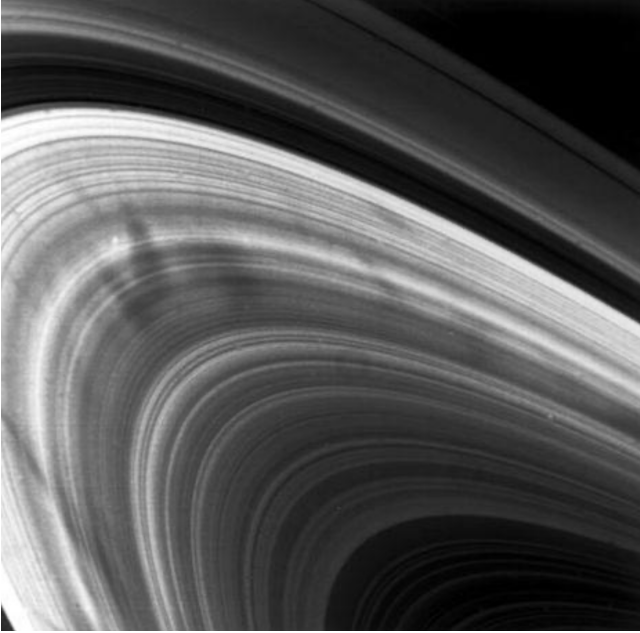
Saturne approche actuellement de l’équinoxe (mai 2025), moins de photons frappent les particules des anneaux, et l’on s’attend à une activité maximale des spokes, avec une fréquence plus élevée et des taches plus sombres apparaissant au cours des prochaines années. Ces structures éphémères sont déjà observées simultanément des deux côtés de la planète.

La théorie principale est que les rayons sont liés au puissant champ magnétique de Saturne et aux interactions avec le Soleil.

Lorsqu'elle est proche de l'équinoxe sur Saturne, la planète et ses anneaux sont moins inclinés par rapport au Soleil. Les planétologues pensent que les forces électrostatiques générées par cette interaction font léviter la poussière ou la glace au-dessus de l'anneau pour former les rayons, bien qu'après plusieurs décennies aucune théorie ne prédise parfaitement les rayons. La poursuite des observations de Hubble pourrait aider à résoudre le mystère.

*Image prise par Cassini le 28 avril 2007 montrant des spokes dans l'anneau B externe de Saturne. Le grand rayon au-dessus du centre mesure environ 5 000 kilomètres de long.
(NASA/JPL/Space Science Institute)*





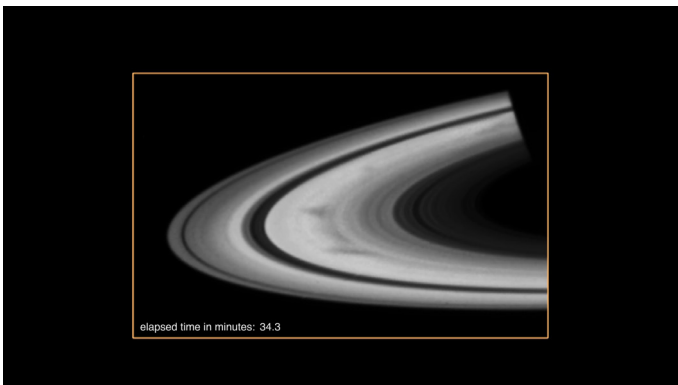
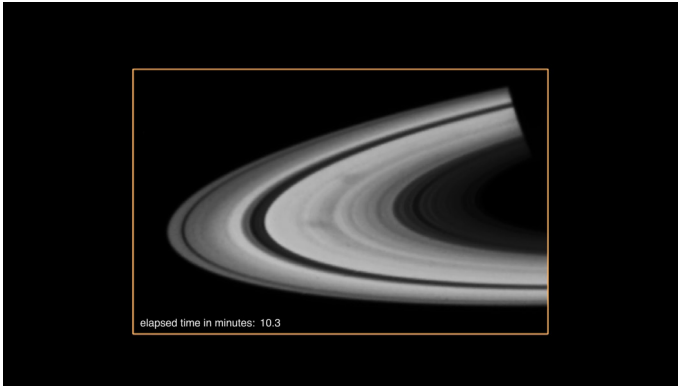
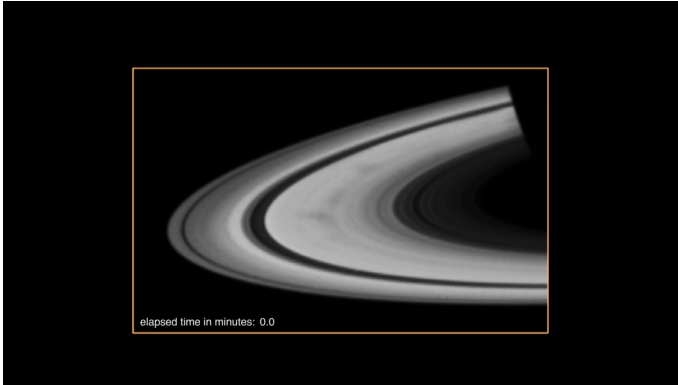
*Spokes observées par Voyager 2 le 22 août 1981. Le contraste a été exagéré pour les rendre bien visibles.
(NASA)*

Les spokes qui apparaissent parfois sur l'anneau B de Saturne n'ont pas été découvertes par Voyager 2. Des observations visuelles en avaient été faites, les plus remarquables par l'observateur exceptionnel S.J. O'Meara dès les années 1970. Leur réalité était difficile à admettre car leur rotation autour de la planète ne suivait pas les lois de Kepler. Elle n'est pas différentielle, comme aurait dû l'être celle d'un ensemble de particules. La période de révolution de l'anneau B va de 8 heures au bord intérieur à plus de 11 heures au bord externe, ce qui devrait entraîner une rapide distorsion de toute figure un peu étendue.

D'autres observations avaient précédé celles d'O'Meara, en particulier celles réalisées par un autre observateur renommé, E.E. Barnard, en 1889, mais leur interprétation est moins claire. E.M. Antoniadi, un grand observateur lui aussi, et d'autres astronomes avaient noté en 1896 des taches

évoquant les spokes dans l'anneau A. Beaucoup d'observations post-Voyager ont été rapportées par des amateurs, avec des télescopes parfois d'un diamètre aussi petit que 10 cm, mais elles sont sujettes à caution. Elles peuvent faire état de taches aussi bien dans les anneaux A et C que B, alors que les observations spatiales semblent les confiner à l'anneau B. Elles résistent rarement à la confrontation – quand elle est possible – avec des observations spatiales ou des images obtenues avec de grands télescopes dans de bonnes conditions.

Mais les techniques et les connaissances progressent et le début de la nouvelle saison des spokes a été détecté de façon indiscutable à la fois par le télescope spatial Hubble et par des amateurs chevronnés. Les « baby spokes », d'observation très difficile, devraient laisser progressivement la place à des objets moins discrets.



Ces images prises le 22 octobre 2023 par le télescope spatial Hubble montrent des spokes apparaissant simultanément sur les anneaux des deux côtés de la planète. Les rayons pourraient être le produit de forces électrostatiques générées par l'interaction du champ magnétique de la planète avec le vent solaire. Cette interaction fait léviter de la poussière ou de la glace au-dessus du plan de l'anneau.
(NASA, Amy Simon/ NASA-GSFC ; Joseph DePasquale/STScI)

L'astéroïde Phaethon

Basé sur un communiqué University of Helsinki

Le petit astéroïde Phaethon (5 km de diamètre) est connu comme parent des étoiles filantes Géminides qui strient le ciel à la mi-décembre. Il est aussi connu pour montrer une queue d'apparence cométaire lorsqu'il est au plus près du Soleil, ce qui intrigue les astronomes car les queues des comètes sont généralement formées par la vaporisation de l'eau et du dioxyde de carbone, et elles se manifestent déjà bien loin du Soleil.

Lorsque la couche superficielle d'un astéroïde ou d'une comète se désagrège, les débris continuent de voyager sur la même orbite et peuvent provoquer des pluies d'étoiles filantes en rencontrant la Terre.

Jusqu'à présent, les théories sur ce qu'il se passe à la surface de Phaethon, près du Soleil, sont restées assez hypothétiques. Le télescope spatial SOHO (Solar and Heliospheric Observatory) a pu montrer que, très près du Soleil, la queue de Phaethon contient beaucoup de sodium. Mais quelle est la composition exacte des éjectas et pourquoi cette activité près du Soleil ?

Pour répondre à ces questions, les astronomes ont réanalysé un spectre infrarouge de Phaethon qu'avait pris le télescope spatial Spitzer, et ils l'ont comparé à des spectres infrarouges de météorites mesurés en laboratoire. Les astéroïdes peuvent également être étudiés en récupérant des échantillons *in situ*, au prix de missions spatiales coûteuses. C'est ainsi que l'on a montré que les astéroïdes Ryugu et Bennu, cibles des récentes missions de retour d'échantillons de la JAXA et de la NASA, appartiennent aux classes de météorites chondrites CI et CM.

Le spectre de Phaethon correspond au spectre des chondrites carbonées CY. Il s'agit d'un type de météorite très rare, dont seuls six spécimens sont connus.

Les divers groupes de chondrites montrent des signes d'un changement survenu au début de l'évolution du Système solaire, quand l'eau s'est combinée avec d'autres molécules pour former des minéraux carbonatés et phyllosilicatés (une classe de silicates avec une structure stratifiée caractéristique). Cependant, les météorites de type



Vue d'artiste de Phaethon dégageant (NASA/JPL-Caltech/IPAC)

CY diffèrent des autres en raison de leur teneur élevée en sulfure de fer, ce qui suggère une origine distincte. En outre, seul le groupe CY présente des signes de dessiccation et de décomposition thermique témoignant d'un réchauffement récent.

L'analyse du spectre infrarouge de Phaethon a montré que l'astéroïde contient de l'olivine, des carbonates, des sulfures de fer et des oxydes minéraux. Tous ces minéraux soutiennent la connexion avec les météorites CY, en particulier le sulfure de fer. Les carbonates suggèrent des changements dans la teneur en eau qui correspondent à la composition primitive, tandis que l'olivine est un produit de décomposition thermique de phyllosilicates à des températures extrêmes.

Au cours de la recherche, il a été possible de montrer, grâce à une modélisation thermique, quelles températures prévalent à la surface de l'astéroïde et à quel moment certains minéraux se décomposent et libèrent des gaz. Lorsque Phaethon passe à proximité du Soleil, sa température de surface s'élève à environ 800°C. Le groupe de météorites CY correspond bien à cela. À des températures similaires, les carbonates produisent du dioxyde de carbone, les phyllosilicates libèrent de la vapeur d'eau et les sulfures, du soufre gazeux.

Tous les minéraux identifiés sur Phaethon semblent bien correspondre aux minéraux des météorites de type CY. Les seules exceptions sont les oxydes portlandite et brucite, qui n'ont pas été détectés dans les météorites. Cependant, ces minéraux peuvent se former lorsque les carbonates sont chauffés et détruits en présence de vapeur d'eau.

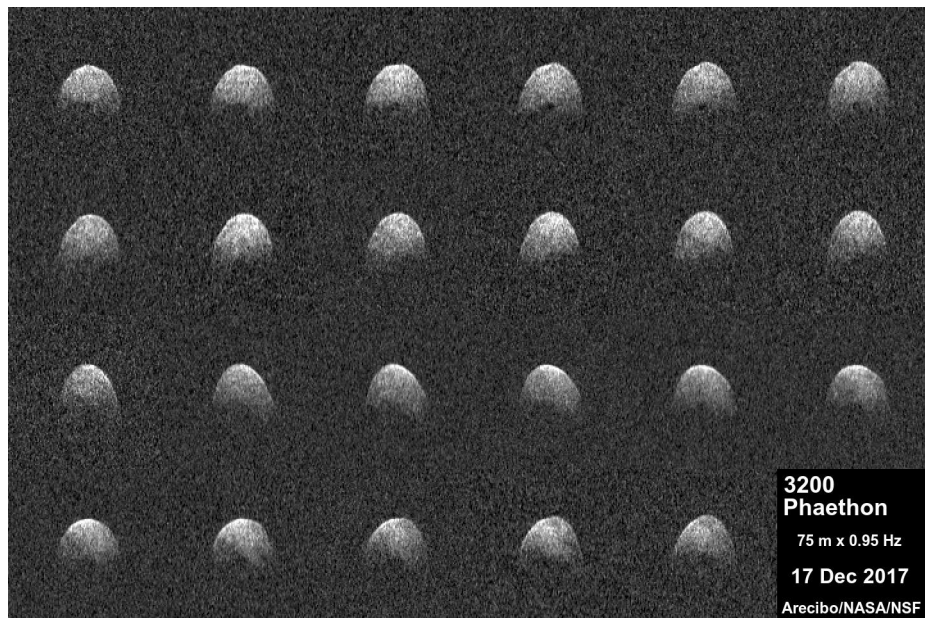
La composition et la température des astéroïdes expliquent la formation de gaz près du Soleil, mais expliquent-elles également la poussière et les graviers formant l'essaim des

Géminides? Peut-il y avoir suffisamment de pression pour éjecter roches et poussières de la surface de l'astéroïde?

Les chercheurs ont utilisé des données expérimentales provenant d'autres études en conjonction avec leurs modèles thermiques et, sur cette base, il a été estimé que, lorsque l'astéroïde passe au plus près du Soleil, du gaz est libéré de la structure minérale de l'astéroïde, ce qui peut désagréger la roche. De plus, la pression produite par le dioxyde de carbone et la vapeur d'eau est suffisamment élevée pour soulever les poussières de la surface.

L'émission de sodium peut expliquer la faible queue que nous observons près du Soleil, et la décomposition thermique peut expliquer comment la poussière et le gravier sont libérés par Phaethon.

Images radar de l'astéroïde géocroiseur 3200 Phaethon générées par l'observatoire d'Arecibo en décembre 2017 lorsque l'objet se trouvait à environ 10 millions de kilomètres de la Terre. Phaethon ne passera plus aussi près de nous avant 2093. (Arecibo Observatory/NASA/NSF)



EROs et BluDOGs

Basé sur un communiqué NAOJ

En examinant les données du JWST, les astronomes ont identifié un groupe d'objets extrêmement rouges (les « EROs ») comme étant des quasars passant par une phase de transition. La théorie dominante est que les quasars se forment dans des galaxies où des nuages de gaz et de poussière les obscurcissent pendant leur croissance. Après un certain temps, la luminosité des quasars est telle qu'elle dissipe les nuages. Si tel est le cas, il devrait être possible de capturer le court laps de temps pendant lequel un quasar sort de son nuage. La période de transition étant courte, il est nécessaire d'observer un grand nombre de candidats quasars pour espérer avoir la chance d'attraper une galaxie au moment où le quasar commence à se manifester.

Cependant, des astronomes travaillant avec le télescope japonais Subaru à Hawaii ont remarqué que, même s'ils sont qualifiés de « rouges », les EROs ont également une composante bleue importante, semblable aux galaxies bleues obscurcies par un excès de poussières, les « BluDOGs » (blue-excess dust obscured galaxies), répertoriées dans leur catalogue « Big Data ».

L'analyse a montré que les EROs et les BluDOGs sont probablement la même classe d'objets, mais des différences importantes existent. Une possibilité est que les EROs soient à un stade d'évolution plus précoce que les BluDOGs. Pour déterminer la véritable relation entre les EROs, les BluDOGs et les quasars, un plus grand échantillon de candidats doit être collecté. Les chercheurs comptent pour cela sur la prochaine génération de télescopes, notamment le projet de télescope spatial infrarouge GREX-PLUS du Japon.

*Un BluDOG
(blue-excess dust
obscured galaxy)
photographié
par le télescope
Subaru.
(NAOJ/HSC
Collaboration)*

