



L'astronomie dans le monde

La météorite d'Orgueil

Basé sur un communiqué du CNRS

On sait depuis 40 ans qu'une supernova a probablement explosé il y a 4,5 milliards d'années déclenchant la naissance du Soleil. C'est ce qu'indiquent les traces de l'existence passée d'aluminium 26 et de fer 60, deux isotopes radioactifs de courte durée de vie, trouvées dans les météorites de type chondrite mais pas sur Terre. Ces deux isotopes, dont les demi-vies sont respectivement de 0,73 et 2,6 millions d'années, sont constamment formés dans l'espace sous l'action des rayons cosmiques. Sur Terre, ils disparaissent rapidement.

Dans ce contexte, les scientifiques pensaient que l'isotope 54 du chrome (un isotope stable), tout comme les autres éléments chimiques et leurs isotopes, était réparti de manière homogène dans le nuage de gaz et de poussières qui s'est effondré pour donner notre système solaire. Or, dans les années 80, ils se sont aperçus que ce n'était pas le cas : les chondrites carbonées comportent un excès d'isotope 54 du chrome. Depuis cette découverte, les chercheurs tentent de comprendre comment cet excès de ^{54}Cr a été incorporé dans certaines météorites et pas sur Terre.

Les grains anormalement riches en ^{54}Cr sont tellement petits qu'il était impossible de les identifier, jusqu'à très récemment. Les avancées technologiques ont maintenant permis d'étudier ces nanoparticules. Après avoir mesuré près de 1 500 grains de la météorite d'Orgueil au moyen de la nanosonde NanoSIMS 50L du California Institute of Technology les scientifiques ont découvert un grain extrêmement riche en ^{54}Cr . Cette décou-



*Impression
d'artiste du
magnétar qui
aurait dû être un
trou noir dans
le riche amas de
Westerlund 1.
(ESO/L. Calçada)*

verte suggère que la supernova a disséminé de manière hétérogène de fines particules riches en isotope 54 du chrome dans le nuage de gaz et de poussières qui a donné naissance à notre système solaire. La dynamique du disque protosolaire a trié les grains en fonction de leur taille, conduisant à leur distribution non homogène dans les météorites et les planètes qui se sont formées autour du Soleil. Ces données ne permettent pas encore aujourd'hui de déterminer quel type de supernova a permis la formation de ces grains riches en chrome 54, mais l'étude d'autres isotopes, comme le calcium 48, pourrait donner une réponse à cette dernière question.

Étoile trop massive

Basé sur un communiqué ESO

En utilisant le VLT de l'ESO, des astronomes ont pu démontrer pour la première fois qu'un magnétar – un type rare d'étoile à neutrons – s'est formé à partir d'une étoile ayant une masse d'au moins 40 fois celle du Soleil. Ce résultat représente un véritable défi pour les théories en vigueur sur l'évolution des étoiles puisqu'une étoile aussi massive était supposée devenir un trou noir et non un magnétar. Ce résultat soulève donc une question fonda-

mentale : quelle masse doit réellement avoir une étoile pour devenir un trou noir ?

Pour obtenir leurs conclusions les astronomes ont observé en détail l'extraordinaire amas d'étoiles Westerlund 1 situé à 16000

années lumière de la Terre dans la constellation de l'Autel. Westerlund 1 est le plus proche des super amas d'étoiles connus, contenant des centaines d'étoiles massives, certaines brillant d'un éclat pratiquement équivalent à un million de soleils et certaines ayant un diamètre deux mille fois plus grand que le Soleil (aussi large que l'orbite de Saturne).

Westerlund 1 se trouve derrière un gigantesque nuage interstellaire de gaz et de poussière qui bloque la plus grande partie de la lumière visible. Le facteur d'absorption est de plus de 100 000 et c'est la raison pour laquelle il a fallu aussi longtemps pour dévoiler la véritable nature de cet amas particulier qui constitue un fantastique zoo stellaire avec une population très diversifiée d'étoiles. Celles-ci ont au moins un point commun : elles ont toutes le même âge, estimé entre 3,5 et 5 millions d'années, puisque l'amas a été formé au cours d'un épisode unique de formation stellaire.

On appelle magnétar un type d'étoile à neutrons dotée d'un champ magnétique incroyablement fort – un million de milliards de fois plus fort que celui de la Terre. Ces astres se forment quand certaines étoiles explosent en supernova. L'amas Westerlund 1 héberge l'un des rares magnétars connus dans la Voie Lactée.

Cette étoile a dû avoir une durée de vie plus courte que les autres étoiles toujours présentes dans l'amas. Puisque la durée de vie d'une étoile est directement liée à sa masse – plus une étoile est massive, plus sa vie est courte – celle qui est devenue un magnétar a dû être plus massive que celles qui sont encore présentes.

Les astronomes ont donc étudié les étoiles du système binaire à éclipses W13 dans Westerlund 1 en utilisant le fait que dans un tel système les masses peuvent être déterminées directement à partir du mouvement des étoiles.

Par comparaison avec ces étoiles ils ont trouvé que l'étoile devenue un magnétar devait avoir une masse d'au moins 40 fois celle du Soleil. Ce résultat prouve pour la première fois que les magnétars peuvent provenir d'étoiles si massives que l'on se serait normalement attendu à ce qu'elles forment des trous noirs. On supposait précédemment que les étoiles avec des masses initiales comprises entre 10 et 25 masses solaires formaient des étoiles à neutrons et que celles dont la masse était encore plus grande devaient produire des trous noirs.

Ces étoiles doivent se débarrasser de plus de neuf dixièmes de leur masse avant d'exploser en supernova, sinon elles formeraient un trou noir. Une telle perte de masse avant l'explosion constitue un réel défi pour les théories en vigueur sur l'évolution des étoiles. La question complexe de la masse que doit réellement avoir une étoile pour s'effondrer et former un trou noir se pose bel et bien.

Le processus de formation privilégié par les astronomes postule que l'étoile devenue un magnétar est née avec un compagnon stellaire. Au fur et à mesure de l'évolution des deux étoiles, elles ont dû commencer à interagir et l'énergie tirée de leur mouvement orbital a servi à éjecter de gigantesques quantités de matière de

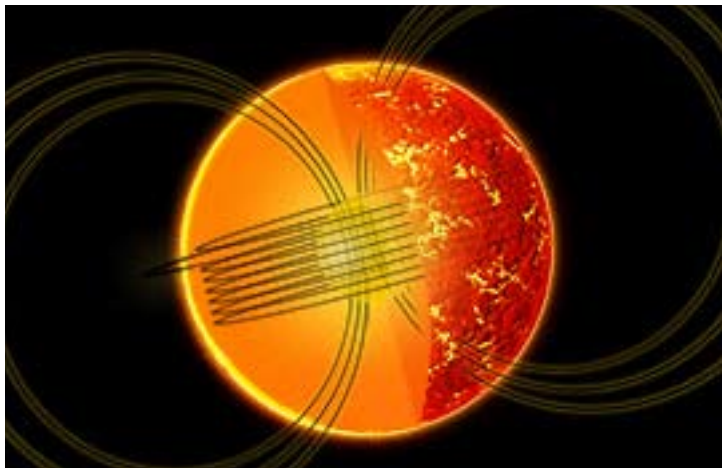
l'étoile génitrice. Comme aucun compagnon de ce type n'est actuellement visible à l'emplacement du magnétar, on peut supposer que la supernova qui a formé le magnétar a causé l'éclatement du système binaire, éjectant à grande vitesse les deux étoiles de l'amas.

Si tel est le cas, cela laisse penser que les systèmes binaires peuvent jouer un rôle clé dans l'évolution des étoiles en facilitant la perte de masse.

Magnétar caché

Les observations faites avec les observatoires spatiaux Chandra, Swift, Rossi, Fermi et XMM-Newton révèlent que SGR 0418+5729, une étoile à neutrons apparemment dotée d'un champ magnétique normal, émet des bouffées de rayons X et gamma, une caractéristique des magnétars qui sont pourtant connus pour leurs champs extrêmes. Le champ interne de SGR 0418+5729 est probablement très intense mais on ne comprend pas encore très bien ce déséquilibre entre les champs interne et externe.

***Magnétar vu par un autre artiste, pour la NASA cette fois.
(© NASA/CXC/M.Weiss)***

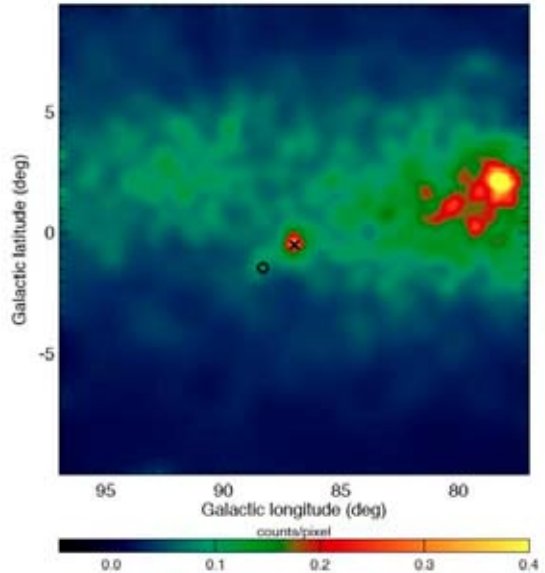


Première détection de rayonnement gamma provenant d'une nova

Actualités CNRS/INSU

En fin de nuit, le 11 mars 2010, des astronomes amateurs au Japon ont détecté une augmentation brutale de la luminosité d'une étoile dans la constellation du Cygne. Située à 9000 années-lumière, cette étoile, V407 Cyg, est devenue 10 fois plus brillante que ce qu'elle était. Les astronomes amateurs venaient de détecter une nova symbiotique. Une nova symbiotique est constituée par un ensemble de deux étoiles : une géante rouge et une naine blanche. C'est la matière de la géante rouge, attirée par la naine blanche, qui va déclencher une explosion thermonucléaire en s'accumulant sur la surface de la naine blanche. Quelques jours plus tard, l'analyse des données provenant du télescope LAT de l'observatoire Fermi (NASA) a mis en évidence la présence d'une source gamma dont la position correspondait exactement à l'emplacement de la nova V407 Cyg, ce rayonnement étant détecté pendant quinze jours. L'émission de rayons gamma est la signature d'événements extrêmement violents libérant une énergie considérable et les chercheurs ne s'attendaient pas à détecter un tel rayonnement produit par une explosion de nova, phénomène manquant de puissance a priori pour avoir une telle signature.

Les astronomes ont pu en déduire que la matière éjectée par l'explosion thermonucléaire était entrée en collision avec le vent dense produit par la géante rouge voisine. Des particules (protons ou électrons) sont accélérées à des vitesses relativistes (proches de celle de la lumière) lors de la collision de la matière éjectée avec le vent dense de la géante rouge. L'émission gamma serait due à l'interaction des protons relativistes avec le vent, produisant des particules appelées pions neutres qui en se désintégrant émettraient le rayonnement gamma. Toutefois, l'émission gamma pourrait aussi être due à l'interaction des électrons



La croix marque V407 Cyg dans cette image prise avec le télescope LAT de l'observatoire Fermi de la NASA dans le domaine gamma.

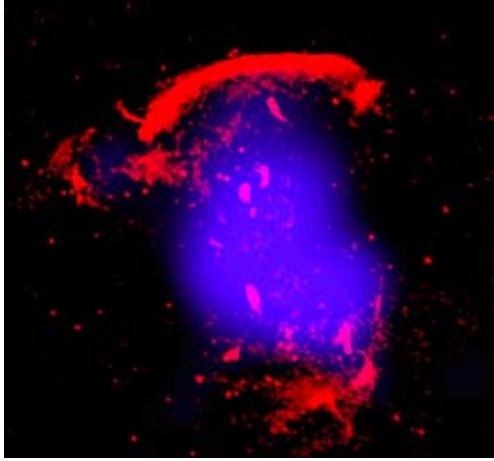
(© Collaboration Fermi. NASA)

relativistes avec le champ de radiation de la géante rouge (diffusion Compton inverse).

Les supernovæ en éjectant de la matière qui entre en collision avec le milieu interstellaire produisent également du rayonnement gamma, mais comparés aux novæ, les résidus de supernovæ évoluent très lentement et il est donc très intéressant que les chercheurs puissent disposer ainsi d'un nouveau type de source gamma évoluant rapidement et donc sujet à de nouvelles analyses concernant ces processus d'éjection de matière et d'accélération de particules.

Collision d'amas

Les structures en arc de l'amas de galaxies CIZA J2242.8+5301 observées en radio témoignent des ondes de choc engendrées par la collision d'amas. Les simulations numériques indiquent que ces ondes peuvent accélérer des particules à de très grandes vitesses et



*L'amas de galaxies CIZA J2242.8+5301 est en train de fusionner avec un autre. On voit ici les ondes de choc observées avec le « Giant Metrewave Radio Telescope » indien, un réseau d'antennes opérant à de grandes longueurs d'ondes (à partir de la raie 21 cm de l'hydrogène). La région diffuse est l'émission X du gaz très chaud, vue par le satellite ROSAT.
(© R.J. van Weeren, Leiden Observatory)*

confirment les collisions d'amas comme sources importantes de rayons cosmiques de très hautes énergies. Ces particules, principalement des protons, peuvent avoir assez d'énergie (un record de 50 J) pour perturber les systèmes électriques.

L'amas CIZA J2242.8+5301 se trouve à 2,5 milliards d'années-lumière. L'onde de choc vue en haut de l'image ne fait pas moins de 6 ou 7 millions d'années-lumière, soit plus de 50 fois notre Galaxie. Ces ondes peuvent vivre un milliard d'années, plus qu'il n'en faut pour accélérer des particules à des vitesses inimaginables.

Explosion en 3D

La supernova du Grand Nuage de Magellan SN 1987A fut l'une des attractions astronomiques des dernières décennies. Ce fut la première supernova observée à l'œil nu depuis 383 ans et du fait de sa relative proxi-

La région de SN 1987A avec son anneau de perles.

(© NASA, ESA, K. France, University of Colorado, P. Challis et R. Kirshner, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics)



mité, elle a permis aux astronomes d'analyser l'explosion d'une étoile massive et ses conséquences bien plus en détail que jamais auparavant. L'étude de son évolution s'est poursuivie sans relâche, tant au sol qu'en orbite, et l'on continue de publier des découvertes à son sujet. On a assisté à plusieurs grandes premières observationnelles comme la détection de neutrinos provenant de l'effondrement du cœur de l'étoile, l'identification de l'étoile sur des plaques photographiques d'archive, les signes d'une explosion asymétrique, l'observation directe d'éléments radioactifs produits pendant l'explosion, l'observation de la formation de poussière dans la supernova tout comme la détection de matière circumstellaire et interstellaire.

Les observations du télescope spatial Hubble ont été essentielles car une grande partie du spectre électromagnétique est absorbée par l'atmosphère terrestre. Le STIS (Space Telescope Imaging Spectrograph) installé en 1997 sur le HST lors d'une mission de la navette a contribué le plus à cette étude, montrant l'évolution du « collier de perles », un anneau de points lumineux créés par la rencontre de l'onde de choc avec une enveloppe de matière éjectée par l'étoile progénitrice des milliers d'années auparavant. Le STIS est tombé en panne en 2004 et il a fallu attendre six ans pour qu'il soit réparé lors d'une nouvelle mission spatiale. Les observations de SN1987A ont alors repris de plus belle et on a découvert que le collier compte maintenant une trentaine de perles. Une nouvelle onde de choc s'est formée au niveau de cet anneau et se propage vers le centre de l'explosion illuminant au passage les gaz présents dans les débris de l'étoile. Les astronomes ont pu y détecter de l'hydrogène, mais aussi peut-être de l'azote et du carbone. Les entrailles de l'étoile vont ainsi pouvoir être étudiées au fur et à mesure de cette progression.

Les observations au sol apportent aussi leur contribution à cette autopsie de SN1987A. De nouvelles observations avec un instrument unique, SINFONI, sur le VLT de l'ESO ont fourni des informations approfondies permet-

tant d'obtenir la toute première reconstruction en 3D de la partie centrale de l'explosion.

SINFONI atteint un niveau de détail inégalé. Les systèmes d'optique adaptative permettent de corriger les effets de la turbulence atmosphérique tandis que la technique de « spectroscopie intégrale de champ » fournit des informations sur la nature et la vitesse du gaz en chaque pixel. En plus de l'image normale, on peut connaître la vitesse le long de la ligne de visée et donc la distance parcourue depuis l'éjection. Cela donne donc une image des éjections internes comme si on les regardait de face et de côté.

L'image obtenue par SINFONI révèle que l'explosion a été plus forte et plus rapide dans certaines directions par rapport à d'autres, conduisant à une forme irrégulière, avec certaines parties qui s'étendent plus loin dans l'espace. Un tel comportement asymétrique était prédit par certains des modèles numériques les plus récents de supernovæ qui ont révélé des instabilités à grande échelle durant l'explosion. Cette image démontre également qu'une autre vague de matière voyage dix fois moins vite et est chauffée par les éléments radioactifs créés pendant l'explosion.

Exoplanètes furtives

Le système planétaire de la petite étoile rouge Gliese 581 fait à nouveau parler de lui. On lui connaît quatre planètes de 16, 5, 7 et 2 masses terrestres mais des astronomes lui en ont récemment attribué une quatrième et une sixième, cette dernière, Gliese 581g, se trouvant en plein dans la zone d'habitabilité, là où la température n'est ni trop faible ni trop élevée pour permettre l'existence d'eau à l'état liquide. Les planètes c et d du même système ne se trouvent que de part et d'autre de cette zone.

Cette découverte a reçu un fort battage médiatique. Gliese 581g était de type terrestre, 3 fois plus lourde que notre planète, avec une gravité un peu plus forte. Son année durait plus d'un mois et le jour ou la nuit y étaient éternels car la rotation de la planète s'était synchronisée avec son mouvement orbital. Ces résultats suggéraient que les planètes habitables sont

très nombreuses. Las, il faut bien déchanter. Des observations plus précises réalisées à l'aide du télescope de 3,6 m de diamètre de La Silla (ESO), équipé du spectrographe de précision Harps ne montrent aucune trace de Gliese 581g.

Gliese 581 est une étoile de type M3, une naine rouge trois fois moins massive que le Soleil et dont l'éclat intrinsèque dépasse à peine le centième de celui de notre étoile. À 20 années-lumière, dans la constellation de la Balance, Gliese 581 est une de nos proches voisines, mais elle est si terne qu'on ne peut même pas la voir aux jumelles.

La faible masse de l'étoile la rend très sensible aux mouvements de ses compagnons planétaires. L'étude des variations de sa vitesse radiale en est facilitée. Les planètes sont beaucoup plus proches de l'étoile que dans le système solaire. Les variations de vitesse sont donc rapides et cela aussi joue en faveur des observateurs. Enfin, toutes ces planètes, sont assez massives, sans quoi il n'aurait pas été possible de les remarquer avec les moyens actuels.

La longueur du jour

Basé sur un communiqué du CNRS

La longueur du jour (en moyenne 86400 secondes) n'est pas tout à fait constante et varie de quelques millisecondes ou fractions de milliseconde dans une vaste gamme de périodes allant de quelques mois (et moins) à plusieurs siècles (et plus à l'échelle des temps géologiques).

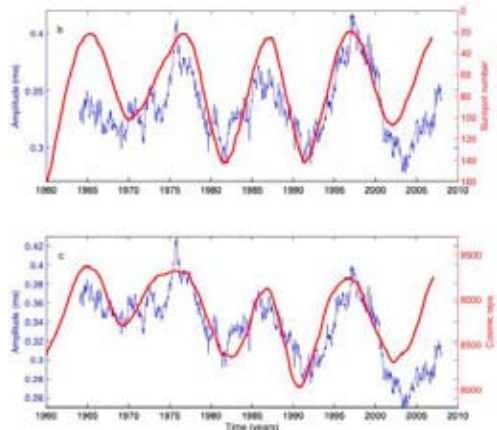
Les variations dont la pseudo-période est de quelques années à quelques dizaines d'années sont en général attribuées à des échanges de moment angulaire entre le manteau (quasi-rigide) et la partie fluide du noyau terrestre, là où est généré le champ magnétique. Les variations saisonnières, avec des périodes de 6 mois, un an et deux ans notamment, sont presque entièrement dues à des variations de la circulation atmosphérique, plus précisément les vents zonaux, c'est-à-dire les vents qui circulent en suivant les parallèles géographiques.

Certains scientifiques ont remarqué que l'amplitude de la composante semi-annuelle (de période 6 mois) de la longueur du jour et du moment angulaire de l'atmosphère était corrélée avec les variations de même période de la « constante solaire ».

L'analyse de la longueur du jour entre 1962 et 2009, telle que déterminée par le service international de la rotation de la Terre, a permis d'extraire la composante de période 6 mois. Cette composante montre de fortes variations d'amplitude, de l'ordre de 30%, que l'on peut corréliser au nombre de taches solaires (le nombre de Wolf, un indicateur traditionnel de l'activité solaire mesuré depuis plusieurs siècles). Il est établi par ailleurs que les variations des rayons cosmiques sont en opposition de phase avec les taches solaires et décalées d'environ un an (ceci est attribué au mécanisme de modulation des rayons cosmiques galactiques par le vent solaire et son champ magnétique). La longueur du jour est donc également corrélée au flux de rayons cosmiques galactiques.

Comment la vitesse de rotation de la Terre peut-elle donc être sensible à la modu-

Variation de la longueur du jour comparée aux flux de rayons cosmiques et au nombre de taches solaires. (© Le Mouél et al. GRL 2010)



lation des rayons cosmiques ? La réponse est dans le système des vents. Ceux qui contribuent le plus aux variations saisonnières du moment angulaire sont les vents de relativement basse altitude, en dessous de 30 km. Prise en moyenne sur une année, la différence entre le rayonnement reçu du Soleil et celui qui est réémis par la Terre vers l'extérieur dans les grandes longueur d'onde (infra-rouge) est positif vers l'équateur et négatif au delà de 40° de latitude. Ce gradient en latitude doit être équilibré par un flux d'énergie de l'équateur vers les pôles : ce transport est assuré par les mouvements méridionaux (c'est-à-dire le long des méridiens géographiques) et les tourbillons. Les vents zonaux sont la conséquence de ce transport à cause de la conservation du moment angulaire : en allant vers les pôles on se rapproche de l'axe de rotation de la Terre et les changements de cette distance doivent être compensés par des changements de la vitesse. Les variations saisonnières d'insolation entraînent des variations de même période du transport le long des méridiens et, partant de là, de la moyenne des vents zonaux.

La variation semi-annuelle de la longueur du jour est donc reliée à un trait fondamental du climat : la distribution en latitude et le transport de l'énergie et de la quantité de mouvement dans l'atmosphère. On pense souvent que les variations solaires sont trop faibles pour pouvoir influencer le climat dans la troposphère : elles sont de l'ordre du millième de l'irradiance totale (c'est-à-dire sommée sur toutes les longueurs d'onde). Mais en fait, l'activité solaire peut modifier l'équilibre de la troposphère de manière indirecte. Ainsi, les rayons cosmiques galactiques sont des particules chargées, influencées par l'activité solaire, qui en entrant dans la partie de l'atmosphère où la teneur en vapeur d'eau est suffisante peuvent déclencher ou modifier la condensation des gouttes d'eau liquide ou des particules de glace (un peu comme dans la chambre de Wilson des physiciens des particules). Ceci affecte la micro-physique des nuages, domaine très complexe et encore mal compris. Et quand la couverture nuageuse change, les quantités

d'énergie solaire incidente réfléchie, absorbée et transmise vers le sol changent de conserve.

Il existe une autre voie par laquelle les nuages peuvent être affectés : l'atmosphère est en effet pénétrée par un courant électrique vertical de quelques nanoampères par mètre carré, qui fluctue au gré des courants ionosphériques et donc de l'activité solaire. Ces courants verticaux chargent électriquement les nuages et, là encore, modifient leur état micro-physique. Les deux mécanismes peuvent d'ailleurs coexister. Ce qui les caractérise, c'est que les variations induites par celles de l'activité solaire se mesurent en dizaines de pour cent et non en partie par millier. C'est là que se niche l'importante amplification du phénomène.

Ainsi, la Terre (et plus précisément le manteau terrestre) dont la rotation est accélérée ou freinée au gré des fluctuations des rayons cosmiques sous l'influence de l'activité solaire par l'intermédiaire des vents zonaux, fournit un magnifique dispositif d'intégration des variations du moment angulaire de l'atmosphère et de la circulation des vents zonaux qu'il est difficile de mesurer directement.

Si le Soleil peut ainsi influencer les vents zonaux, il pourrait affecter d'autres facteurs du climat global, comme les oscillations océaniques et son rôle dans les variations climatiques des dernières décennies ne doit pas être sous-estimé.

L'eau de la Lune

L'impact de la sonde LCROSS sur la Lune l'an dernier a soulevé un nuage de débris dans lesquels les astronomes ont trouvé une quantité importante de cristaux de glace pure ainsi que d'autres éléments volatils (méthane, ammoniac, monoxyde et dioxyde de carbone, hydrogène), le tout constituant jusqu'à 20 pour cent des matériaux éjectés. L'eau ne serait pas distribuée uniformément mais dans des poches éparpillées à la surface de la Lune. Ces résultats prouvent la complexité de l'environnement lunaire et des processus chimiques qui s'y déroulent, lesquels pourraient aussi affecter les lunes des planètes géantes. Des traces de sodium, de mercure et peut-être d'argent ont aussi été décelées.

Découverte d'un superamas de galaxies grâce au rayonnement fossile

Basé sur un communiqué CNRS/CNES/CEA

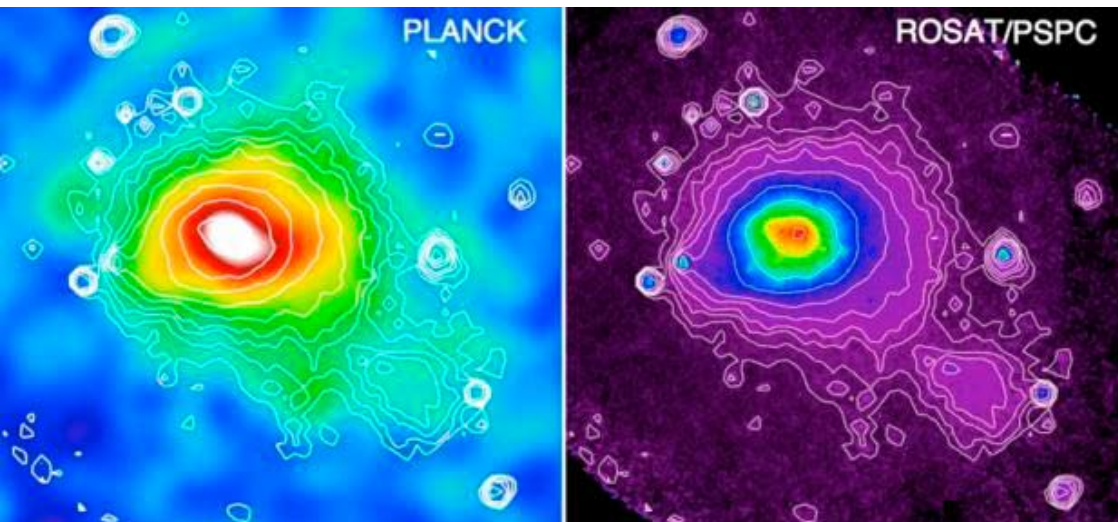
Le satellite Planck vient de découvrir un superamas de galaxies grâce à son empreinte sur le rayonnement fossile, témoin des premiers instants de l'univers. Il s'agit d'une première pour le satellite qui a également révélé, avec une extrême précision, de nouveaux amas de galaxies. Grâce à ces données, les scientifiques espèrent mieux comprendre comment la matière noire et la matière visible se rassemblent sous la forme de telles structures.

Depuis son lancement le 14 mai 2009 le satellite Planck délivre des images exceptionnelles de la totalité du ciel. On peut y découvrir les plus grandes structures connues de l'univers avec une précision inégalée dans le domaine des ondes millimétriques : les amas et les superamas de galaxies qui abritent des centaines voire des milliers de galaxies. Pourtant, ces structures géantes n'émettent pas de rayonnement directement observable par Planck. Elles sont trahies par leur interaction avec les photons du rayonnement fossile (l'écho lumineux du Big-Bang). C'est notamment le cas de l'effet Sunyaev-Zel'dovich, produit

par interaction des photons avec le gaz chaud présent à l'intérieur des amas de galaxies, et qui change légèrement la fréquence des photons issus du fond cosmologique. Cet effet SZ se manifeste par une zone donnée du ciel plus sombre que la moyenne aux fréquences plus basses que 217 GHz (soit 1,3 mm de longueur d'onde) et plus brillant aux plus hautes fréquences.

Par sa capacité à produire des images du ciel en 9 « couleurs » dans le domaine des ondes millimétriques, le satellite Planck est idéal pour observer l'effet SZ dans sa version sombre et brillante. Cette technique permettra à terme de détecter plus d'un millier d'amas de galaxies sur l'intégralité du ciel et de retracer ainsi l'évolution de l'univers et de mieux comprendre comment la matière noire et la matière visible s'organisent et se structurent.

L'amas proche Coma, bien étudié, est très chaud. Il présente une émission forte dans le domaine des rayons X (image de droite) obtenue avec le satellite ROSAT, ainsi qu'un effet SZ fort et étendu (image composite multi-fréquences de gauche) obtenue avec Planck. (©ESA, Planck HFI & LFI consortia, ROSAT)



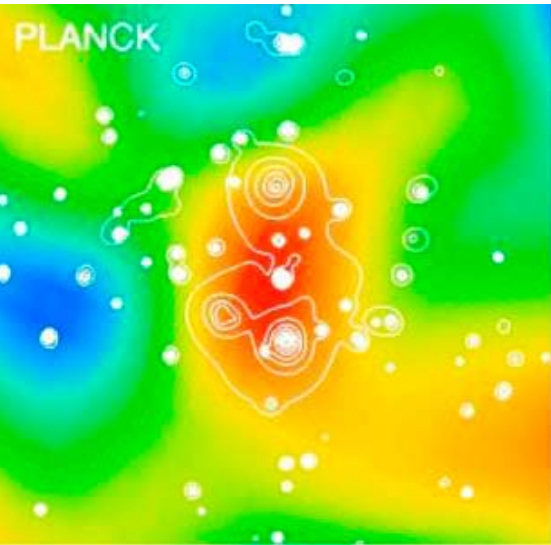


Image composite multi-fréquences d'un superamas de galaxies découvert par Planck (à gauche) comparée à l'image dans le domaine des rayons X obtenue avec le satellite XMM-Newton (à droite). Les contours indiquent les régions où l'émission en rayons X est de même intensité. La taille de l'image est d'environ 15 minutes d'arc sur le ciel, la moitié de la taille de la Lune. (© ESA, Planck HFI & LFI consortia, XMM-Newton).

L'autre atout essentiel de Planck réside dans le fait que c'est la seule expérience capable d'observer le ciel entier et donc d'imager les grandes échelles angulaires en plusieurs couleurs dans les ondes millimétriques. Ainsi, les astronomes sont maintenant en mesure de comparer une image composite multi-fréquences de l'amas Coma obtenue avec Planck avec l'émission dans le domaine des rayons X du gaz chaud obtenue grâce au satellite ROSAT. Les premières observations de l'intégralité du ciel ont déjà permis de découvrir de nouveaux amas de galaxies mais également des

structures encore plus grandes, et dans ce cas précis, un superamas de galaxies (cf. figures ci-jointes). Les observations faites avec XMM-Newton ont révélé que l'un des candidats amas était en réalité un superamas constitué d'au moins trois amas de galaxies. C'est la toute première fois que l'on découvre un superamas de galaxies grâce à l'effet Sunyaev-Zel'dovich. Là encore, l'étude détaillée de ces objets rares permettra de lever le voile sur l'organisation de la matière en galaxies, gaz et matière noire.

Poussières circumsolaires

Si les planètes du système solaire sont trop faibles pour être détectées par des astronomes extraterrestres, peut-être n'en est-il pas de même de la poussière de la ceinture de Kuiper. La présence de Neptune pourrait même être inférée à partir de la zone que la planète a nettoyée comme un aspirateur.

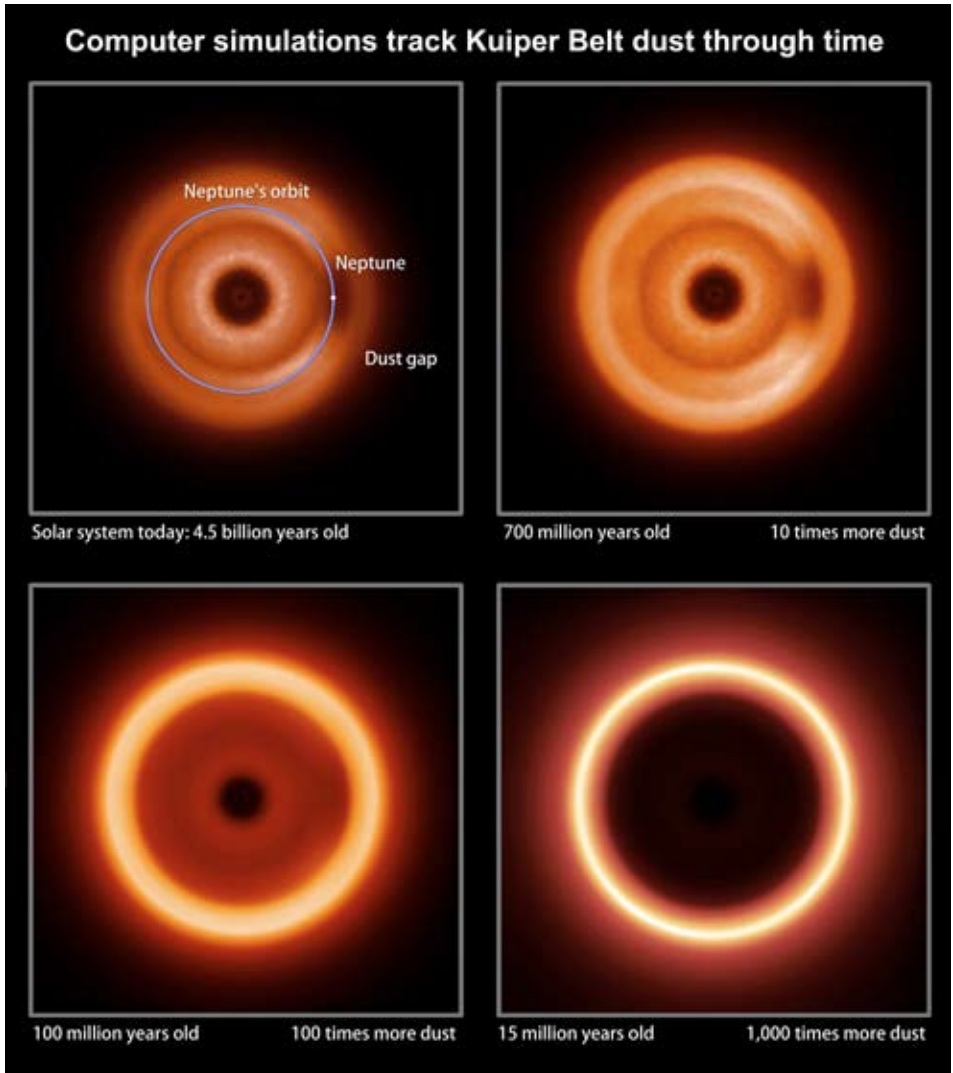
La ceinture de Kuiper fabrique de la poussière par suite des collisions entre les astéroïdes qui la composent. Ces grains peuvent s'entrechoquer. Ils sont soumis à la gravité du Soleil et des planètes ainsi qu'au vent et au rayonnement solaires qui peuvent les repousser au loin ou les attirer vers le Soleil selon leur taille. Décrire l'évolution d'un tel système

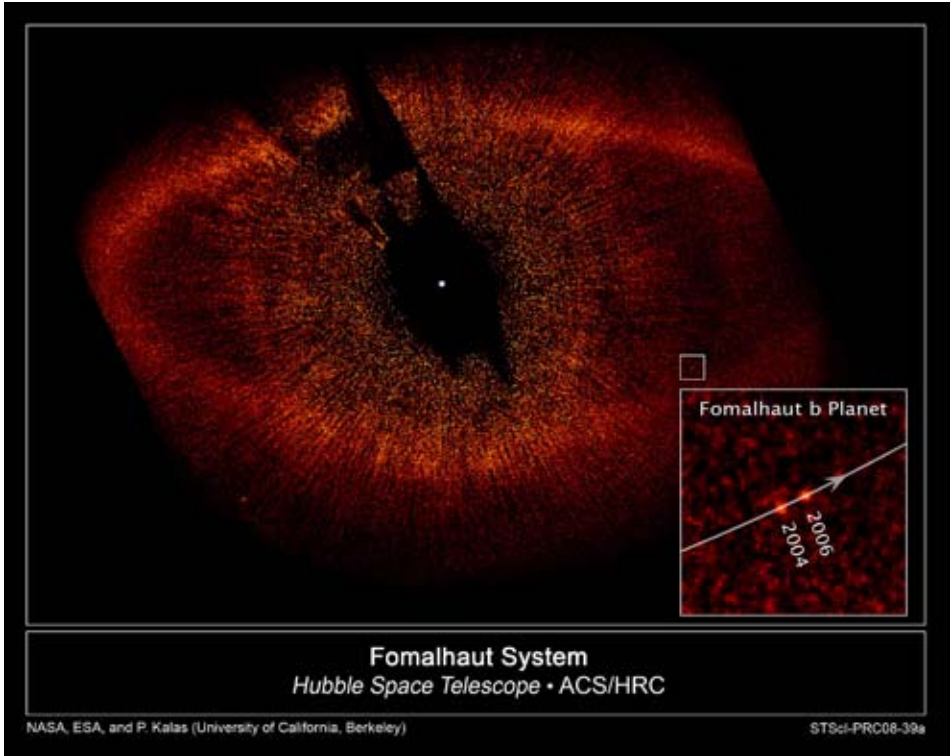
n'est pas chose facile, mais c'est ce qu'ont réalisé les astronomes à l'aide du superordinateur Discover de la NASA.

Ils ont suivi l'évolution d'un système de 75 000 grains de dimensions s'étalant d'un micron à un millimètre et placés sur des orbites similaires à celles observées dans la ceinture de Kuiper. À partir de ces calculs ils ont

construit l'image infrarouge du système solaire vue de l'extérieur à différents moments de son évolution en variant le taux de production de la

Ces images produites par ordinateur montrent l'aspect infrarouge de la ceinture de Kuiper vue par un astronome extraterrestre. (@ NASA/Goddard/Marc Kuchner, Christopher Stark)





Le disque de poussières de Fomalhaut vu par le télescope Spatial Hubble. En 2008, Hubble y a observé une planète. (@ NASA/ESA/P. Kalas, Univ. of California, Berkeley) et al.)

poussière. En multipliant ce taux par dix, cent ou mille par rapport au taux actuel correspondant à un âge de 4,5 milliards d'années, ils ont pu simuler le disque aux âges de 700, 100 et 15 millions d'années.

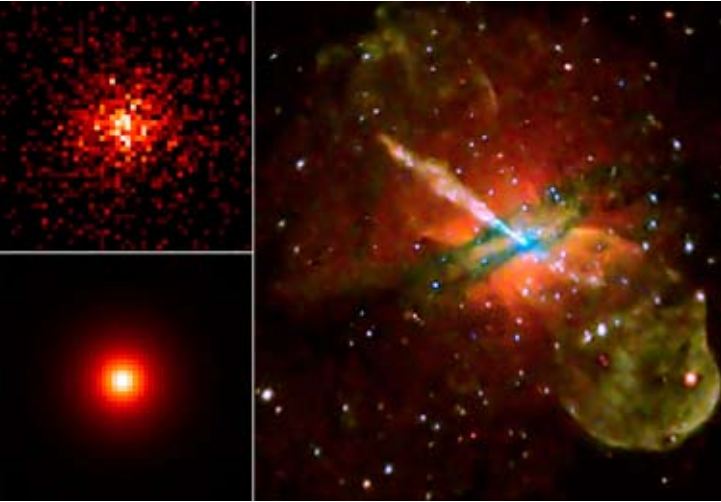
Lorsque le disque est jeune, comme ceux que l'on observe autour d'étoiles comme Véga ou Fomalhaut, les collisions sont très nombreuses, de sorte que les gros grains ne survivent pas longtemps et n'ont guère la possibilité de migrer loin de leur lieu d'origine. Au lieu de disques diffus, on voit donc des anneaux denses.

Une planète comme Neptune produit par résonance des zones de densité plus ou moins grande. Une modélisation spécifique des disques observés pourrait donc nous renseigner sur la présence de planètes.

L'ajout d'autres sources de poussières comme, dans le cas du système solaire, la ceinture principale des astéroïdes entre Mars et Jupiter, et les astéroïdes troyens, pourrait donner une image infrarouge plus réaliste.

Champ magnétique intergalactique

L'observation par le satellite gamma Fermi des jets émis par les trous noirs supermassifs a permis de déceler un champ magnétique intergalactique de très faible intensité. Baignant tout l'univers, ce champ pourrait être une relique du Big Bang ou être



L'image composite de 170 trous noirs supermassifs (en haut à gauche) est plus floue que celle que prédisent les modèles (en bas à gauche). À droite l'image simple d'un trou noir. (@ NASA, S. Ando et A. Kusenko, The Astrophysical Journal Letters)

produit par ces mêmes jets qui ont conduit à sa détection.

Les astronomes suspectent depuis longtemps l'existence d'un champ magnétique intergalactique primordial, vestige au même titre que le rayonnement fossile des premiers instants de l'univers, mais sa détection leur avait jusqu'ici échappé.

Un tel champ pourrait diffuser les photons émis par les jets des trous noirs supermassifs et affecter d'un léger flou les images qu'en obtient le satellite Fermi. L'effet est si minime qu'il ne peut se voir à partir d'une seule image. C'est pourquoi les astronomes ont combiné les données de 170 trous noirs et ont comparé le résultat à une simulation numérique. Les observations gamma montrent un halo qui n'existe pas dans le modèle. Pour arriver à une concordance, il a fallu introduire dans les simulations une diffusion par un champ magnétique d'une intensité minuscule.

Il reste maintenant à comprendre l'origine de ce champ. Il peut être primordial, et on le retrouve amplifié au sein des galaxies par

les mouvements des nuages de gaz. Il peut aussi être le fait des jets de haute énergie émis par les trous noirs supermassifs eux-mêmes.

Cocons lumineux

L'observatoire spatial Spitzer a permis de détecter de grosses poussières au cœur de nuages interstellaires denses, ces cocons où doivent se former étoiles et planètes. La taille des poussières dépendrait du degré de développement de ces cocons. Ces observations fournissent un nouveau moyen d'étude des zones de formation stellaire.



La « brillance de cœur » de l'un des cocons observés par le satellite infrarouge Spitzer. (© JPL/NASA/Spitzer)