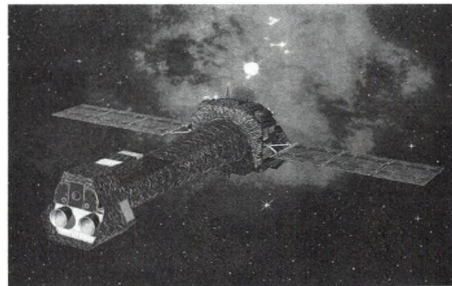


L'astronomie dans le monde

XMM-Newton à la recherche de la matière « exotique »

Dans la genèse de l'Univers, les constituants fondamentaux de la matière sont apparus une fraction de seconde après le « Big bang », issus de ce qu'on appelle « la soupe primordiale ». On a longtemps pensé qu'il ne subsistait aucune trace de cette soupe originelle. Aujourd'hui, certains astronomes estiment qu'il y a de fortes chances pour que cette « soupe exotique » de matière dissoute se retrouve au sein d'objets très denses appelés étoiles à neutrons et le télescope spatial XMM-Newton de l'ESA pourrait contribuer à vérifier cette théorie.

XMM-Newton a été capable de mesurer pour la première fois l'influence du champ gravitationnel d'une étoile à neutrons sur la lumière qu'elle émet. Cette mesure permet d'avoir une bien meilleure idée de ce qui se passe au sein de ces corps célestes.



XMM, vue d'artiste

Les étoiles à neutrons figurent parmi les objets les plus denses de l'univers. Elles concentrent une masse équivalente à celle du Soleil dans une sphère dont le diamètre est de l'ordre de 10 kilomètres. Un échantillon de la taille d'un morceau de sucre prélevé sur une telle étoile pèserait plus d'un milliard de ton-

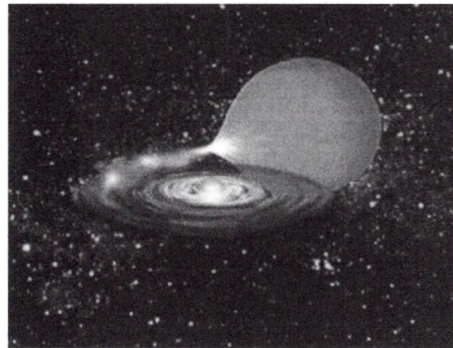
nes. Elles sont tout ce qui subsiste de l'explosion d'étoiles jusqu'à huit fois plus massives que le Soleil (supernovae), après que leur matière se soit effondrée sous l'influence de leur propre gravité. L'intérieur de ces étoiles pourrait contenir, de ce fait, une matière à caractère fortement « exotique ».

Les chercheurs pensent que la densité et la température rencontrées à l'intérieur d'une étoile à neutrons sont proches de celles qui régnaient une fraction de seconde après le Big bang. Ils supposent que la matière ainsi comprimée subit d'importants changements. Les protons, électrons et neutrons qui composent les atomes fusionnent. Il est même possible que les quarks, éléments constitutifs des protons et des neutrons, s'effondrent les uns sur les autres, donnant naissance à une sorte de plasma exotique, composé de matière « dissoute ».

Comment confirmer toutes ces hypothèses ? Les chercheurs tentent depuis de nombreuses années d'identifier la nature de la matière contenue dans les étoiles à neutrons. Ils ont besoin, pour cela, de connaître très précisément la valeur de certains paramètres : Mesurer la masse et le rayon d'une étoile, où établir un rapport entre ces deux grandeurs, permet de calculer sa densité. Avant le lancement d'XMM-Newton, aucun instrument n'était capable de fournir les mesures nécessaires. Grâce à l'observatoire de l'ESA, les astronomes ont pu mesurer, pour la première fois, le rapport entre la masse et le rayon d'une étoile à neutrons et obtenir ainsi une première série d'indications sur sa composition. Les mesures obtenues suggèrent, sans être concluantes, que la matière contenue dans cette étoile à neutrons n'est pas « exotique » mais normale. Les auteurs de la découverte soulignent qu'il s'agit là « d'un premier pas fondamental » et qu'ils vont poursuivre leurs recherches.

La manière dont les chercheurs ont obtenu les mesures qu'ils souhaitent constitue en elle-même une « première » en matière d'astronomie et représente un grand succès. Leur méthode a consisté à déterminer la densité de l'étoile à neutrons de façon indirecte. L'attraction gravitationnelle d'une étoile à neutrons est considérable, de l'ordre d'un milliard de fois celle de la Terre. Du fait de ce phénomène, les particules de lumière émises par une étoile de ce type perdent de l'énergie. Cette perte d'énergie se traduit par ce que l'on appelle un décalage gravitationnel vers le rouge. La mesure de ce décalage effectuée par XMM-Newton a permis de calculer l'attraction gravitationnelle de l'étoile à neutrons et donc sa densité.

« Ces mesures extrêmement précises n'ont pu être obtenues que grâce à la très grande sensibilité d'XMM-Newton et à sa capacité à distinguer les détails » a souligné Fred Jansen, responsable scientifique de l'observatoire spatial de l'ESA.



Vue d'artiste de l'étoile à neutrons et de son compagnon

Le principal auteur de la découverte, Jean Cottam, du Centre spatial Goddard de la NASA, explique pour sa part que « les tentatives faites pour mesurer le phénomène de décalage gravitationnel vers le rouge ont débuté juste après la publication de la Théorie générale de la relativité d'Einstein. Mais aucune recherche n'avait permis jusqu'ici de mesurer ce phénomène dans une étoile à neu-

trons, où l'on supposait qu'il devait atteindre une ampleur considérable. Nous en avons désormais la confirmation. »

Les résultats mentionnés ont été obtenus par l'observation de l'étoile à neutrons EXO 0748-676. XMM-Newton a enregistré le rayonnement X émis par cet objet céleste. L'analyse de ce rayonnement a permis aux astronomes de dénoter la présence de fer dans les matériaux entourant l'étoile. En comparant le signal déformé émis par les atomes de fer de l'étoile à neutrons et celui produit par des atomes de fer en laboratoire, ils ont pu mesurer le degré précis de distorsion provoqué par la gravité d'EXO 0748-676.

Ancienne étoile

Notre Galaxie s'est formée à partir d'un immense nuage de gaz, alors que l'univers était encore très jeune et composé quasi exclusivement d'hydrogène et d'hélium produits par le Big Bang.



L'étoile HE 0107-5240, dans le Phénix, ne contient pratiquement que de l'hydrogène et de l'hélium. Elle représente une classe d'étoiles très anciens, mais pas encore la population III. (ESO)

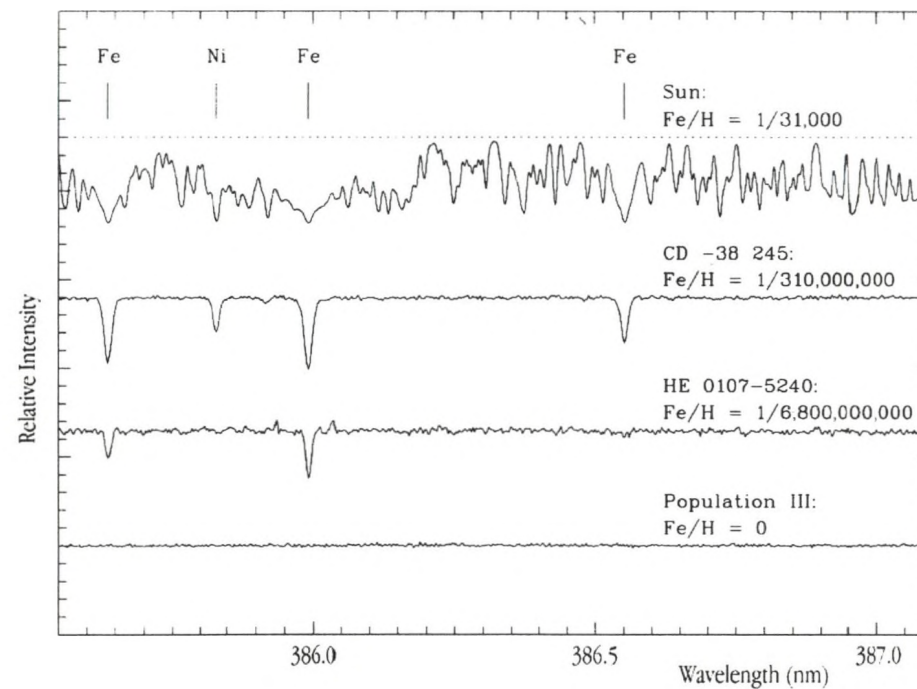
Dès la formation des premières étoiles, les réactions nucléaires y ont produit des éléments plus lourds. Les étoiles ont rejeté une partie de ces éléments lourds, soit dans les vents stellaires ou, plus violemment, lors de phénomènes de supernovae. Les générations successives d'étoiles se sont donc formées à

partir de gaz continuellement enrichi d'éléments lourds, ce qui se remarque lorsque l'on analyse leur composition chimique.

Durant les dernières décennies, les astronomes ont cherché désespérément des étoiles des toutes premières générations de la Voie Lactée, étoiles qui ne doivent montrer qu'une concentration négligeable en éléments lourds. On appelle ces astres des étoiles de population III. La population I est constituée des étoiles

qui, comme le Soleil, contiennent beaucoup d'éléments lourds. La population II en contient nettement moins.

Un grand pas dans cette recherche vient d'être franchi par les astronomes de l'ESO qui ont découvert une étoile dont la concentration en éléments lourds est 200.000 fois plus faible que celle du Soleil, soit vingt fois inférieure au précédent record.



Comparaison des spectres d'étoiles montrant des abondances de plus en plus faibles en éléments lourds comme le fer et le nickel. On voit que les étoiles de population III présentent un spectre plat, tandis que HE 0107-5240 contient encore des raies du fer très nettes. (ESO)

Stardust et Annefrank

La sonde spatiale Stardust, en route vers la comète Wild 2, fonctionne parfaitement. En guise de répétition de ses futurs travaux de reconnaissance elle a observé un petit astéroïde, Annefrank (n° 5535 dans le catalogue général des petites planètes), qui se trouvait à 3.300 km de son chemin. Tout s'est passé parfaitement.



L'astéroïde 5535 Annefrank vu par Stardust. Ses dimensions atteignent 8 km. On y devine cratères et zones d'albédo variable.

Magnétar

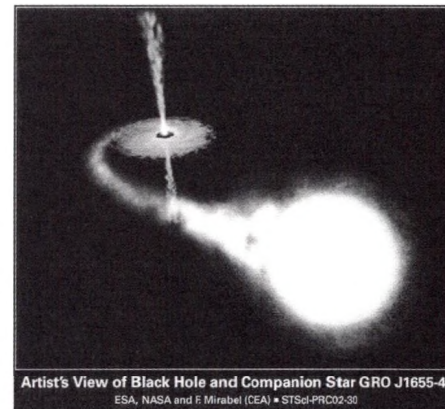
Les astronomes ont mesuré le champ magnétique le plus intense connu dans l'univers auprès de l'étoile à neutrons SGR 1806-20. Cette étoile spéciale est l'une des dix reconnues dans la catégorie des « magnétars ». Ce sont des étoiles à neutrons montrant des champs magnétiques des milliers de fois plus puissants que ceux des étoiles à neutrons ordinaires, et des milliards de fois plus forts que ceux des meilleurs aimants que les ingénieurs savent construire.

Si l'on se souvient que le champ du Soleil n'est que de quelques Gauss, et celui de la Terre moins d'un Gauss, on appréciera l'intensité de celui de SGR 1806-20 qui atteint 10^{15} Gauss (un million de milliards de Gauss).

La valeur du champ peut s'estimer de deux manières différentes. L'une consiste à mesurer le ralentissement que le champ impose à la rotation de l'étoile; la seconde se base sur l'observation de l'excitation des protons dans le champ.

Le trou noir volant

Le télescope spatial Hubble a permis la découverte d'un trou noir fonçant parmi les étoiles de la galaxie à la vitesse de 400.000 kilomètres à l'heure. On a ainsi une preuve assez directe que des trous noirs de masse stellaire (quelques fois la masse de notre Soleil) sont créés lorsqu'une étoile massive explose en supernova. C'est la violence de l'explosion qui a projeté le trou noir à cette vitesse. Le trou noir n'est pas seul, il est accompagné d'une étoile normale qui tourne autour de lui en 2 jours et demi et qui lui sert de garde-manger. Le trop-plein des repas est expulsé sous forme de deux jets symétriques atteignant des vitesses de l'ordre de 90 % de celle de la lumière.



Trou noir stellaire en action (vision d'artiste).

diminution de cette distance, et finalement à leur fusion en un gigantesque feu d'artifice de rayonnements et d'ondes gravitationnelles.

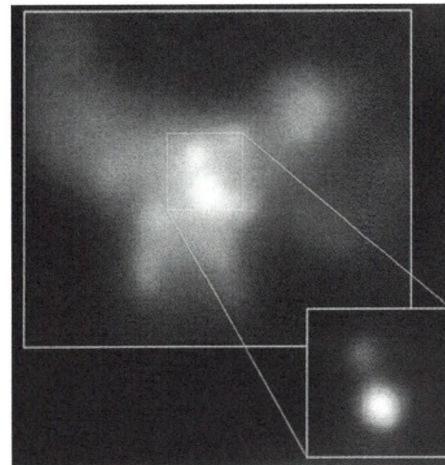


Un trou noir est en train de dévorer cette étoile photographiée par le HST.

Deux trous noirs supermassifs dans la même galaxie

Avec Arp 220, nous avons déjà évoqué la possibilité pour une galaxie venant de subir une collision d'avoir deux noyaux et donc deux trous noirs supermassifs. La preuve en est apportée par les observations de la galaxie NGC 6240 par le satellite X Chandra. Cette galaxie était connue pour ses deux noyaux observés dans les domaines visible, infrarouge et radio. Les rayons X produits lorsque les trous noirs absorbent la matière qui les entourent peuvent traverser l'enveloppe poussiéreuse des noyaux et révéler leur présence.

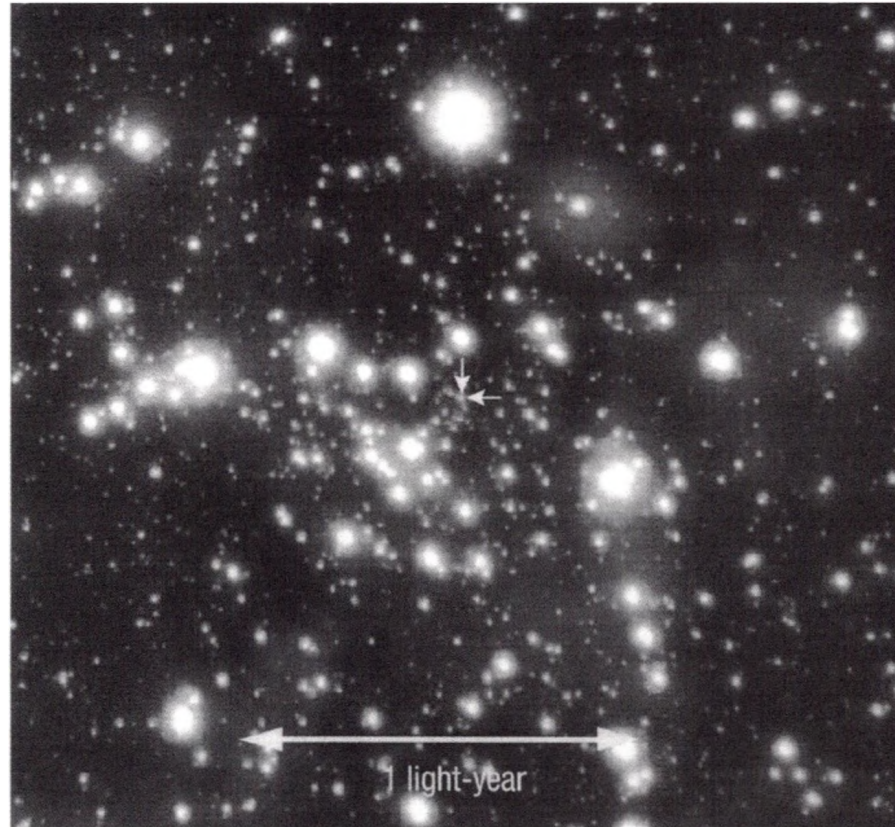
Les deux trous noirs ainsi découverts sont distants de 3.000 années lumière l'un de l'autre. Leur interaction gravitationnelle avec les étoiles voisines conduira à une lente



Les deux trous noirs de NGC 6420, vus en rayons X (NASA/Chandra)

Le centre de la Galaxie

Le trou noir situé dans le noyau de notre Galaxie se manifeste par les mouvements rapides qu'effectuent les étoiles qui en sont les plus proches. Grâce au télescope VLT de 8 m, les astronomes de l'ESO ont pu mesurer le déplacement d'une étoile si proche du trou noir qu'elle en fait le tour en une quinzaine d'années. Il n'y plus maintenant aucun doute quant à la nature de la masse centrale de la Galaxie. Seul un trou noir peut susciter une telle attraction en un si petit espace.



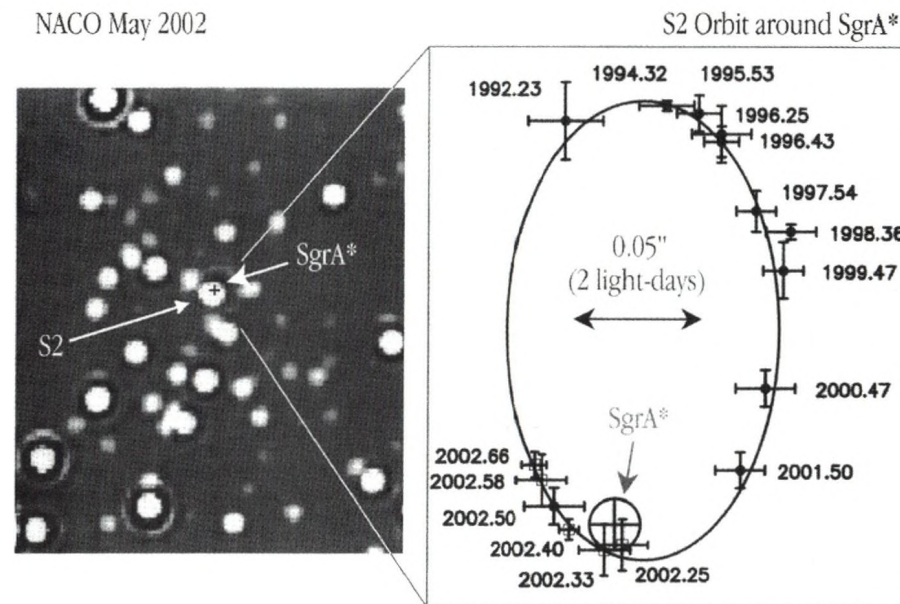
The Centre of the Milky Way
(VLT YEPUN + NACO)

ESO PR Photo 23a/02 (9 October 2002)

© European Southern Observatory



Le centre de la Galaxie



The Motion of a Star around the Central Black Hole in the Milky Way

ESO PR Photo 23c/02 (9 October 2002)

© European Southern Observatory

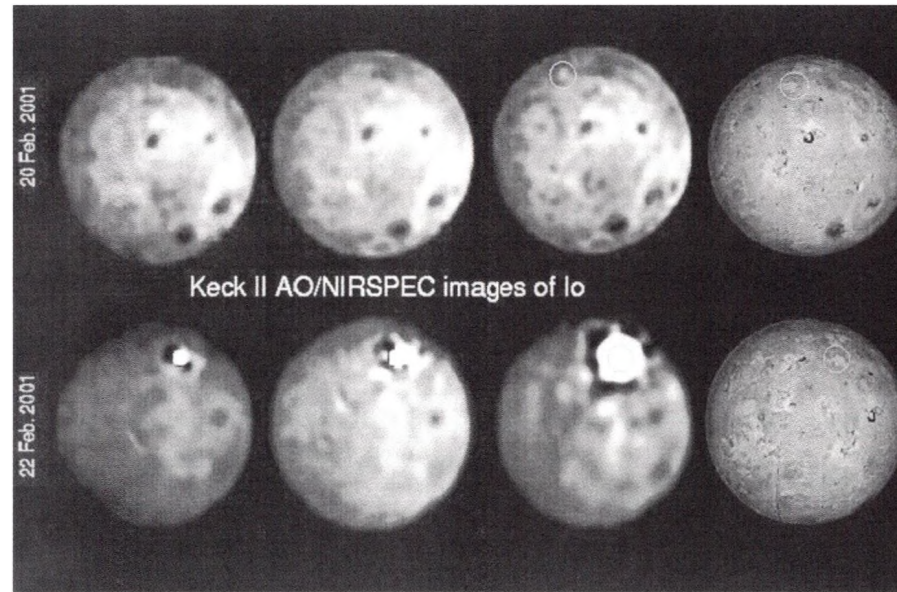


L'orbite de l'étoile autour du trou noir central

Eruption géante sur Io

Le télescope Keck II de 10m a observé la plus forte éruption jamais vue sur Terre ou dans

l'espace. Elle a eu lieu en février 2001 sur le satellite Europe, mais les données viennent seulement d'être analysées.

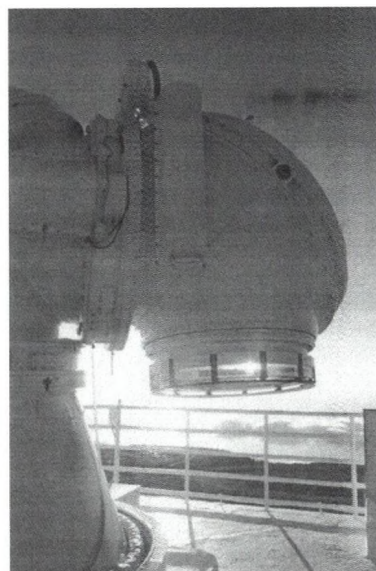
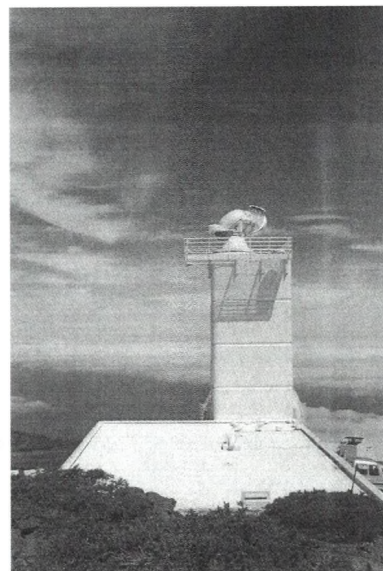


Différentes phases de l'éruption sur Io. Les images de droite montrent le disque du satellite vu à haute résolution lors de passages de la sonde Galileo près du satellite.

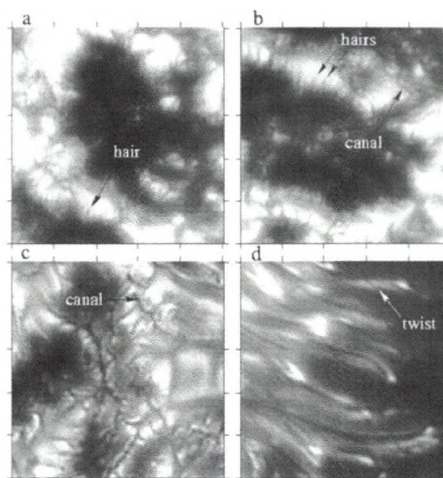
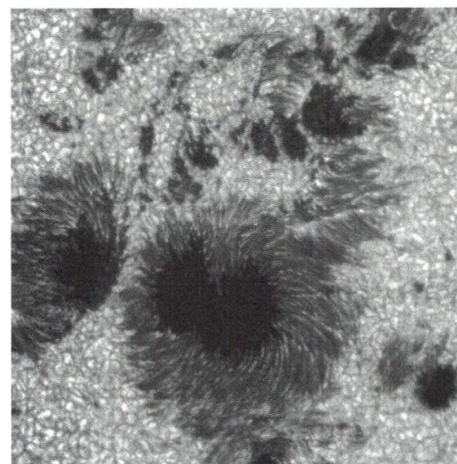
Soleil

Un nouveau télescope muni des derniers perfectionnements de l'optique adaptative a été érigé sur le volcan de l'île de La Palma, aux Canaries. Les premières images ont déjà permis l'observation de structures jusqu'ici inconnues : des tempêtes magnétiques dans les filaments qui entourent les taches solaires.

Avec un miroir d'un mètre de diamètre changeant de forme mille fois par seconde pour compenser la turbulence atmosphérique, le télescope arrive à une meilleure définition spatiale que tous les autres télescope solaires, y compris celui de la sonde spatiale SOHO, dont l'ouverture est bien moindre.



Vues du télescope solaire suédois de La Palma



Taches solaires vues par le nouveau télescope