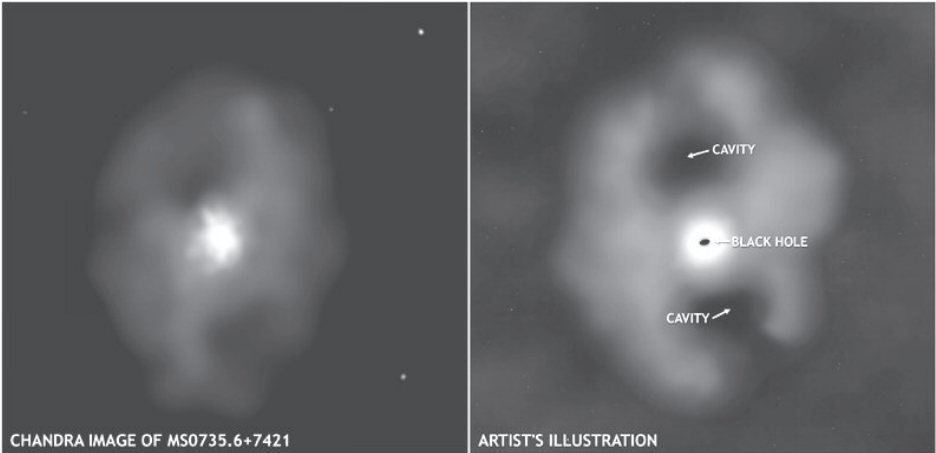


## L'astronomie dans le monde



*A gauche, l'image X de l'amas de galaxies MS 0735.6+7421. Les positions des deux cavités sont notées dans l'image de droite où les contrastes ont été accentués. Le trou noir supermassif, invisible par essence, a été représenté par une petite tache noire.*

*(NASA/CXC/Ohio U./B.McNamara et al.; Illustration: NASA/CXC/M.Weiss)*

### Trou noir glouton

Le télescope spatial Chandra travaillant dans le domaine des rayons X a mis en évidence d'énormes cavités dans l'amas de galaxies MS 0735.6+7421. Elles ont été créées lorsqu'un trou noir supermassif a englouti une masse équivalente à 300 millions de soleils en une centaine de millions d'années, un clin d'oeil à l'échelle de l'univers.

Une telle débauche d'énergie en un temps aussi bref a valu à cet événement d'être qualifié de « plus forte éruption » de l'univers depuis le Big Bang. De fait l'énergie libérée équivaut à celle de centaines de millions de sursauts gamma (GRB, Gamma Ray Burst).

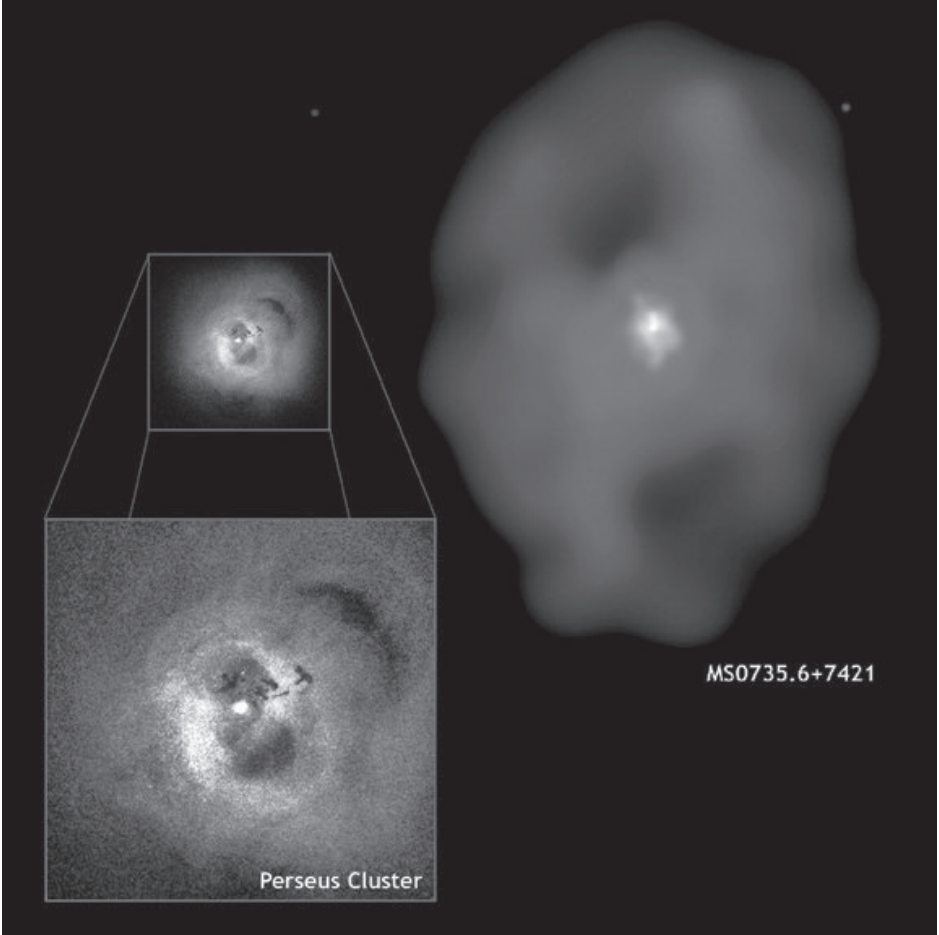
Les astronomes ne sont pas certains de l'origine de cet apport phénoménal de matière dans l'alimentation du trou noir. Une théorie veut que du gaz de la galaxie hôte se soit refroidi de façon abrupte et ait été avalé par le trou noir. L'observation des trous noirs supermassifs montre que, généralement, ceux-

ci grossissent très lentement et non de la façon dramatique exhibée par MS 0735. Seuls les « petits » trous noirs grandissent encore rapidement.

Ce trou noir qui devrait donc jeûner se trouve en pleine orgie.

L'émission d'ondes radio depuis les cavités nous enseigne que celles-ci ont été créées par des jets provenant du trou noir. Le gaz est repoussé par les jets jusqu'à un million d'années lumière à des vitesses supersoniques. La masse ainsi déplacée est d'environ mille milliards de soleils, soit plus que la masse totale des étoiles de notre Galaxie.

La croissance rapide de trous noirs supermassifs est généralement détectée par l'intense rayonnement optique et X provenant de noyaux de galaxies, ou par les jets émettant intensément dans le domaine radio. Dans le cas de MS 0735, il n'y a pas de noyau brillant et les jets radio sont bien faibles. Seule l'observation X du gaz intergalactique révèle le phénomène.



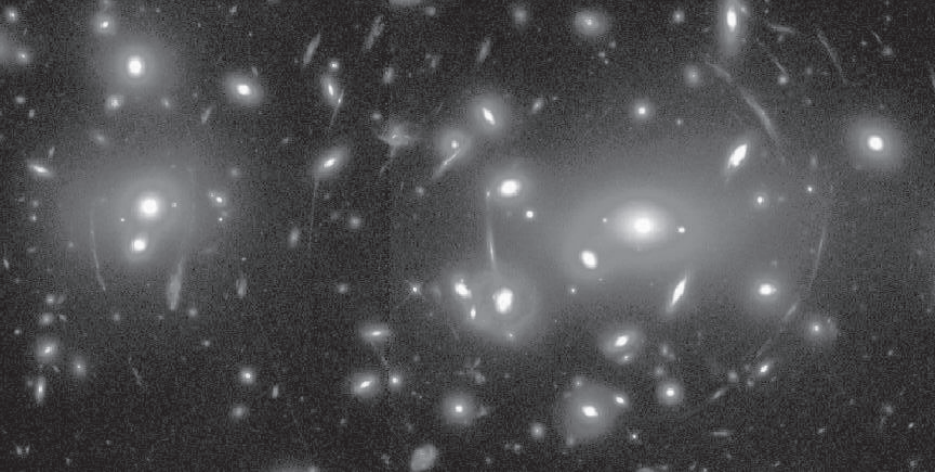
*Ce montage compare les dimensions réelles des cavités trouvées dans MS 0735 et celles de l'amas de galaxies de Persée, un autre amas bien connu qui en possède. Ces deux amas sont à des distances très différentes, 3 milliards d'années lumière pour MS 0735 et 250 millions pour l'amas de Persée. Afin de permettre la comparaison, l'amas de Persée a été ramené à la taille qu'il aurait à la distance de MS 0735.*

*(MS 0735: NASA/CXC/Ohio U./B.McNamara et al.; Perseus: NASA/CXC/IoA/A.Fabian et al.)*

En plus de créer les cavités, une partie de l'énergie générée par cette éruption à grande échelle doit entretenir la haute température du gaz à proximité du trou noir. Elle devrait aussi probablement engendrer d'immenses champs magnétiques dans l'amas de galaxies.

Le télescope spatial Chandra a découvert

des éruptions du même genre dans d'autres amas, mais celle-ci les dépasse toutes de loin. La figure ci-dessus illustre cette comparaison avec l'amas de galaxies de Persée. La formation des cavités a engendré des ondes "sonores" d'hyper-basses fréquences (voir *Le Ciel*, octobre 2003, p. 252) qui s'étendent bien plus loin qu'elles dans le gaz intergalactique.



*On voit ici les images de galaxies lointaines déformées par la gravitation due à un amas plus proche. On a ajouté sur l'image les halos de matière noire tels qu'ils ont été déduits par le calcul. (HST/Yale Univ.)*

### ***Matière noire***

Grâce au phénomène de lentille gravitationnelle, on a pu mettre en évidence la structure détaillée de la matière noire au sein d'amas de galaxies. Les observations ont été réalisées avec le télescope spatial Hubble et montrent un excellent accord avec un modèle théorique de matière noire « froide », modèle dit de « concordance ».

Cette matière, comme la matière normale, se répartit de façon non uniforme, avec de fortes concentrations coïncidant avec les galaxies.

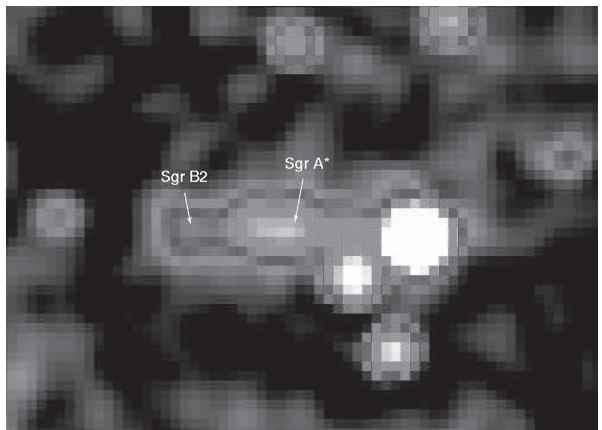
### ***Integral et le centre de notre Galaxie***

La plupart des galaxies contiennent un trou noir « supermassif » en leur centre. Ce trou noir peut peser des millions, voire des milliards de fois autant que le Soleil.

Notre Galaxie ne fait pas exception et son centre, situé dans la constellation australe du

Sagittaire, en contient bien un, Sgr A\*. Avec une masse de deux ou trois millions de soleils, il est dans la catégorie poids plumes des trous noirs supermassifs. Il semble en plus anormalement calme pour un trou noir, ce genre de bestiole avalant tout ce qui passe à portée et manifestant son contentement par une débâche de rayonnement.

*Région centrale de la Voie Lactée montrant le trou noir Sgr A\* et le nuage d'hydrogène voisin. (ESA, M. Revnivtsev; IKI/MPA)*



En fait, le satellite européen Integral a permis de découvrir que « notre » trou noir supermassif a été un million de fois plus actif par le passé, il y a 350 ans.

Les astronomes ont pu reconstituer l'histoire récente de Sgr A\* grâce à la présence d'un nuage d'hydrogène moléculaire, Sgr B2, situé à 350 années lumière de lui. Ce nuage reçoit seulement maintenant les rayons gamma émis par Sgr A\* il y a plus de trois siècles. Le rayonnement est si puissant que le nuage est devenu fluoresce et est une source brillante de rayons X, un « écho » de l'activité passée du trou noir.

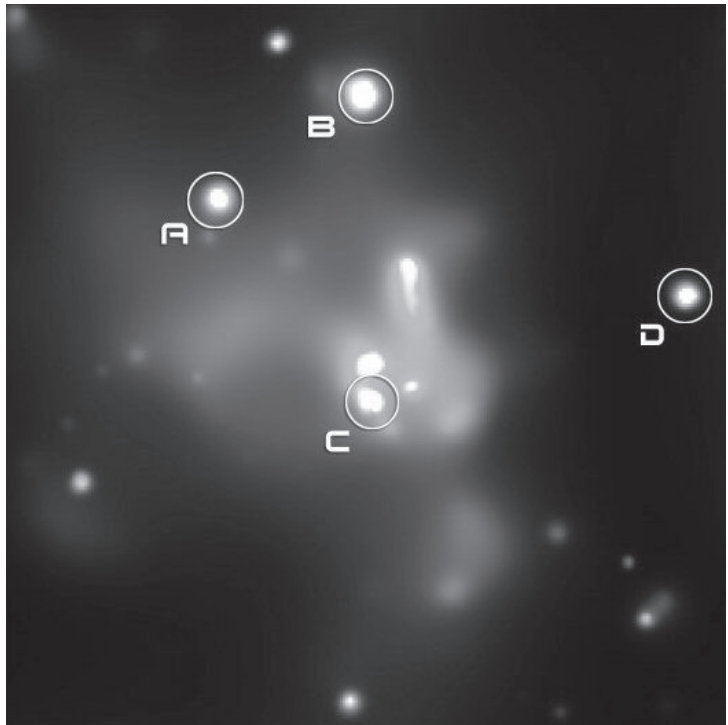
### *Essaim de trous noirs*

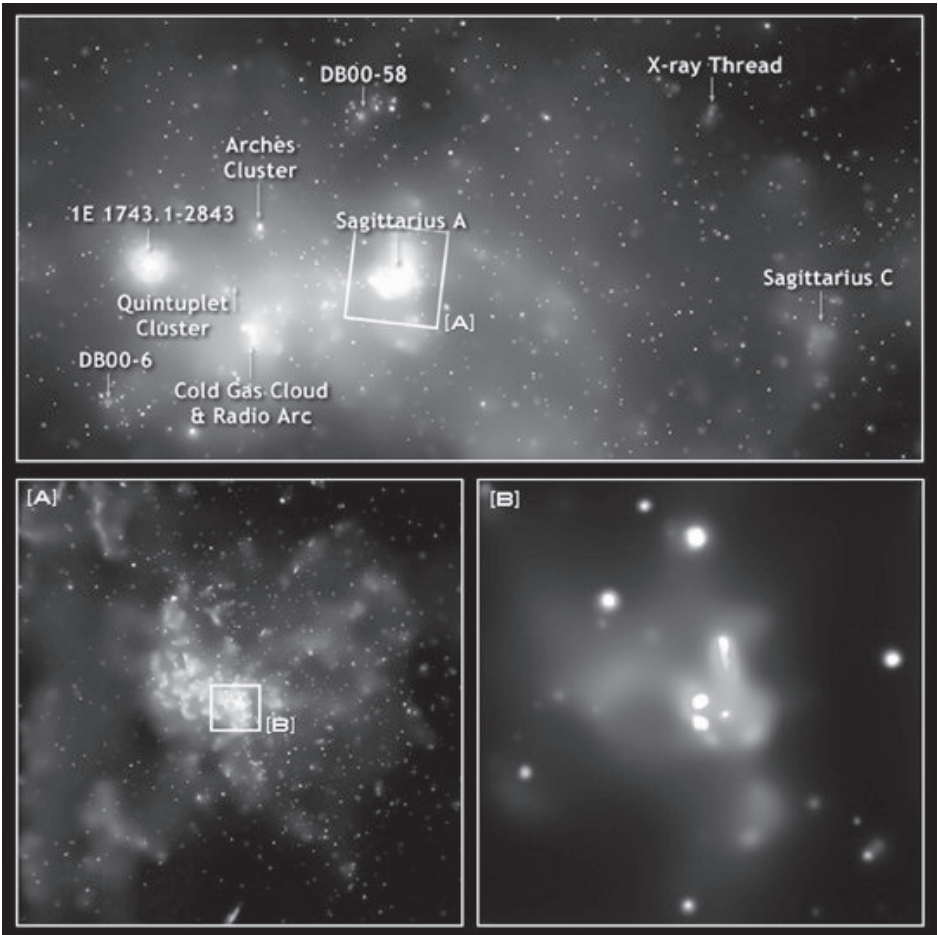
Le satellite Chandra a observé une concentration de binaires X dans le voisinage immédiat de ce même trou noir Sgr A\*. Cela pourrait indiquer que des milliers de trous noirs stellaires et d'étoiles à neutrons existent dans la région, attirés par le trou noir supermassif de la Voie Lactée.

Les figures ci-jointes montrent les quatre sources X variables découvertes à moins de 3 années lumière de Sgr A\* au centre de notre Galaxie. Dans l'image ci-contre, Sgr A\* se trouve juste au-dessus de la source C. La variabilité des quatre sources indique qu'il s'agit de binaires dont l'une des composantes est une étoile à neutrons ou un trou noir attirant à lui la matière de sa compagne.

La probabilité de trouver quatre binaires X dans une aussi petite région est très faible. On pense que de nombreux trous noirs se sont formés dans les régions centrales de la Galaxie. L'interaction gravifique avec les autres étoiles a eu pour effet de décélérer les objets les plus lourds, comme les trous noirs ayant une masse d'une dizaine de fois celle du Soleil, et d'accélérer les étoiles plus légères. Par suite de ce phénomène de « friction dynamique stellaire », les trous noirs se rassemblent alors vers le centre, tandis que les petites étoiles s'éloignent. Ce sont donc surtout les trous noirs qui se concentrent. Les étoiles à neutrons, moins massives, subissent le phénomène à une moindre échelle.

Les rencontres fortuites entre étoiles doubles et trous noirs peuvent conduire à un échange de partenaires, aboutissant ainsi à la formation de binaires X.





*Zoom sur les parties centrales de la Voie Lactée en rayons X grâce au satellite Chandra. En haut, une région de 900 années lumière constituée de toute une mosaïque d'images. La zone centrale A, agrandie en bas à gauche, contient 2000 binaires X. Le dernier panneau qui reprend les 3 années lumière autour de Sgr A\* montre le même champ qu'à la page précédente.  
(NASA/CXC/UMass/MIT/UCLA)*

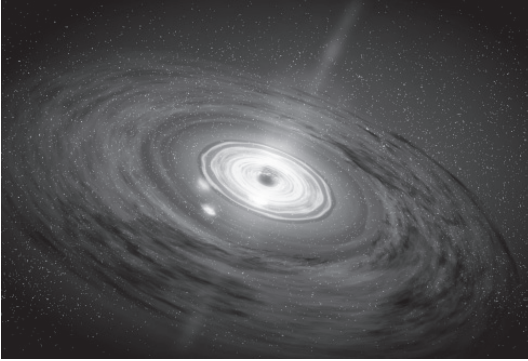
### **Carrousel autour de trous noirs**

Le satellite XMM a observé des nuages de gaz tournant à une vitesse vertigineuse autour d'un trou noir supermassif dans la galaxie Markarian 766.

C'est l'effet Doppler sur les raies d'émission qui a trahi trois concentrations de gaz au sein du disque d'accrétion entourant le

trou noir. Ce même effet est utilisé par la police pour mesurer la vitesse des véhicules, mais la comparaison s'arrête là. Au lieu de voitures, on a affaire à des nuages de fer ionisé; le rayonnement est émis dans le domaine X, et les vitesses sont de l'ordre du dixième de celle de la lumière, soit 30.000 kilomètres par seconde !



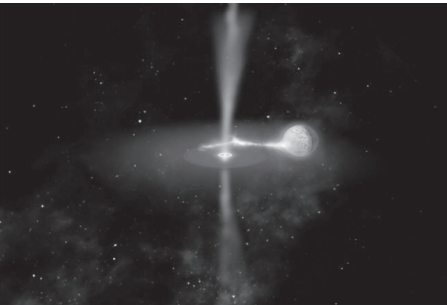


*Illustration du disque de matière entourant le trou noir central de la galaxie Markarian 766.  
(NASA/Dana Berry, SkyWorks Digital)*

Outre les vitesses, les dimensions des orbites ont pu être estimées puisque les nuages ont été suivis sur un tour complet — une première fort attendue! A partir de là des caractéristiques comme la masse du trou noir ont pu être calculées. Contrairement à la plupart des trous noirs supermassifs, celui-ci « ne fait que » quelques millions de masses solaires. En cela il rejoint celui de notre bonne vieille Voie Lactée. Ses dimensions modestes font qu'il tiendrait dans l'orbite de Mercure si on le plaçait à l'endroit du Soleil. Les nuages observés autour de lui se trouveraient alors à la distance de Jupiter.

Cette comparaison permet d'apprécier la gravité formidable du trou noir. Les nuages

*Vue d'artiste du trou noir GRS1915+105 et de son compagnon stellaire.  
(Dana Berry; CfA/NASA)*



tourment autour de lui en 27 heures, alors que Jupiter met 12 ans à accomplir un périple équivalent.

Le trou noir GRS1915+105, observé cette fois par le satellite Rossi X-ray Timing Explorer de la NASA, nous ramène dans des ordres de grandeur plus modestes. Ce trou noir est d'origine stellaire et sa masse n'est que d'une dizaine de fois celle du Soleil. Il attire à lui la matière d'un compagnon et l'échauffe au point d'émettre des rayons X. Le trou noir est si petit que le gaz proche du trou noir effectue des centaines de tours par seconde autour de lui. Les astronomes croient pouvoir détecter dans ce carrousel un effet relativiste bien

particulier, le « frame dragging » traduisant une déformation de l'espace-temps entraîné dans la ronde effrénée autour du trou noir.

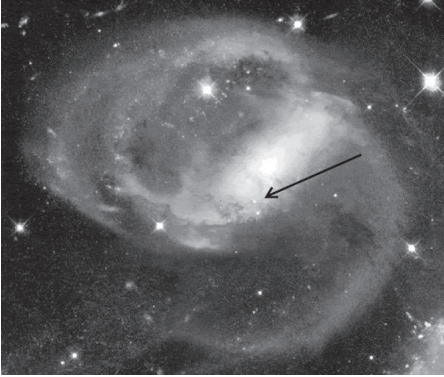
### *Un quasar dans NGC 7319 ?*

Une équipe internationale d'astrophysiciens a annoncé la découverte d'un quasar au coeur d'une galaxie proche. Le problème est que, si l'on en croit les idées communément admises sur les spectres de ces objets, le quasar semble être distant de plusieurs milliards d'années lumière alors que la galaxie n'est qu'à 300 millions d'années lumière. Cette contradiction soulève une question fondamentale : faut-il remettre en question l'interprétation usuelle selon laquelle les grands redshifts des quasars sont dus à l'effet Doppler extrême produit par la vitesse de récession aux confins de l'univers.

Le célèbre astronome Geoffrey Burbidge pense que trop de quasars semblent associés à des galaxies actives proches pour que cela soit une simple coïncidence.

Selon lui, s'il n'y avait pas eu cette possibilité de redshifts d'origine cosmologique, on aurait sans hésitation imaginé que les quasars étaient éjectés à grande vitesse de galaxies proches.

Il y a en effet un assez grand nombre de cas intrigants où un quasar de grand redshift



**La spirale NGC 7319 et un quasar problématique.**  
(NASA/Hubble Space Telescope)

se trouve apparemment au sein d'une galaxie proche. La plupart des astronomes considèrent qu'il s'agit d'alignements fortuits et les statistiques qui montrent une prédilection pour ce genre d'association sont peut-être biaisées par le fait qu'on examine avec plus d'attention les environs d'une belle galaxie que des zones plus anonymes.

Le cas de NGC 7319 est particulier en ce sens qu'il est l'exemple le plus extrême trouvé à ce jour. Le quasar montre un redshift de 2.11 et ne se trouve qu'à 8 secondes d'arc du noyau de la galaxie. Des spectres pris avec le télescope Keck I de 10 m à Hawaï semblent montrer une interaction entre la galaxie et le quasar, ce qui serait évidemment une preuve indiscutable de l'association.

Si ces redshifts phénoménaux ne sont pas dus à un effet Doppler — et on imagine mal toutes les galaxies n'éjectant des quasars que loin de nous et jamais vers nous —, il resterait naturellement à en expliquer l'origine. Un champ gravifique intense est le plus souvent invoqué.

Les télescopes actuels montrent de plus en plus claire-

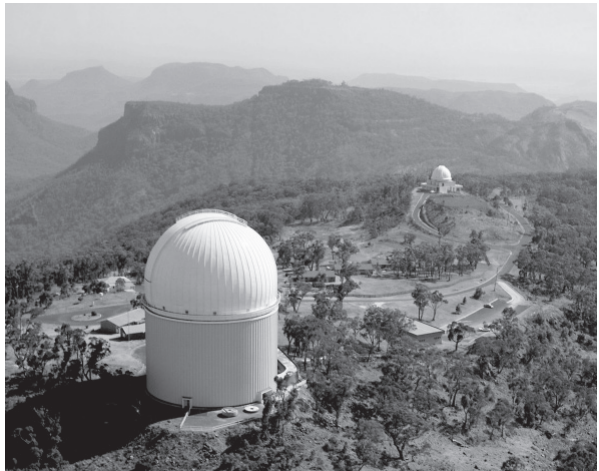
ment que les quasars sont en réalité au coeur de galaxies extrêmement lointaines, si faibles qu'on ne pouvait généralement pas les distinguer avec des moyens moins sophistiqués. Leur aspect ponctuel leur avait d'ailleurs valu la qualification de « quasi-stellaire ». Il y a fort à parier que ce nouveau quasar est lui aussi le noyau actif d'une galaxie très lointaine qui se trouve par hasard sur la ligne de visée de NGC 7319.

### **Distance de T Tauri**

La parallaxe de l'étoile T Tauri a été déterminée avec une bonne précision grâce à des observations radio interférométriques. Cet objet est le prototype d'une classe d'étoiles en formation qui terminent seulement l'étape de la contraction gravitationnelle. La connaissance exacte de la distance permet de mieux évaluer les paramètres physiques et de comprendre les mécanismes de formation et l'évolution de ces astres.

### **Chaînon manquant**

**Les télescope anglo-australien se trouve dans l'observatoire de Siding Spring.**  
(Copyright Anglo-Australian Observatory.  
Photo by David Malin)



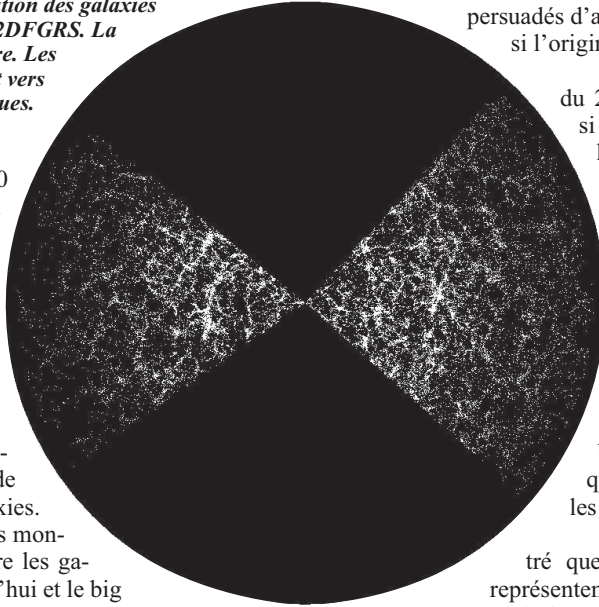
***Cônes de distribution des galaxies observées par le 2DFGRS. La Terre est au centre. Les deux nappes vont vers les pôles galactiques.***

Après 10 ans d'efforts, au moyen d'observations assidues au télescope anglo-australien de 3.9 mètres, les astronomes ont trouvé la distribution spatiale (en 3D) de 220.000 galaxies.

Ces observations montrent le lien entre les galaxies d'aujourd'hui et le big bang originel.

Les théoriciens avaient prédit dès les années 60 que les « graines » primordiales qui devaient donner naissance aux galaxies devraient se voir comme des ondulations dans le fond de radiation cosmique (CMB, Cosmic Microwave Background) laissé par le big bang. Le CMB montre l'univers lorsqu'il n'avait que 350 mille ans. Ces ondulations ont été décelées en 1992 par le satellite COBE de la NASA, puis analysées par divers autres instruments avec de plus en plus de détails. Mais jusqu'à présent, on n'avait jamais pu connecter directement ces résultats avec la formation des galaxies.

Les astronomes utilisent une méthode statistique dite du « spectre de puissance » pour analyser la distribution des inhomogénéités du CMB. Les observations faites sur les galaxies avec le télescope anglo-australien dans le cadre du « 2-degree Field Galaxy Redshift Survey » (2dFGRS) ont été analysées d'une façon analogue et elles ont produit un spectre de puissance identique à celui du CMB. Il est donc clair que ce sont les mêmes structures que l'on voit, mais simplement à des âges différents. Les astronomes sont donc



persuadés d'avoir identifié ainsi l'origine des galaxies.

Les observations du 2dFGRS ont aussi permis de peser l'univers avec précision. Les particularités du spectre de puissance donnent des indications sur la quantité de matière normale (les « baryons ») qui constitue aussi bien les étoiles que les planètes ou les gens.

On a ainsi montré que les baryons ne représentent qu'une petite fraction de la masse de l'univers, peut-être 18 %. Les 82 pour cent restants sont de la matière « noire ».

Qui plus est, toute cette masse visible ou cachée, ne représente qu'un cinquième du contenu de l'univers. La plus grosse partie est l'énergie « noire » dont la nature est encore plus mystérieuse.

Ces résultats sont confirmés par une étude menée par l'équipe du SDSS, et basée sur un nombre cinq fois plus petit de galaxies.

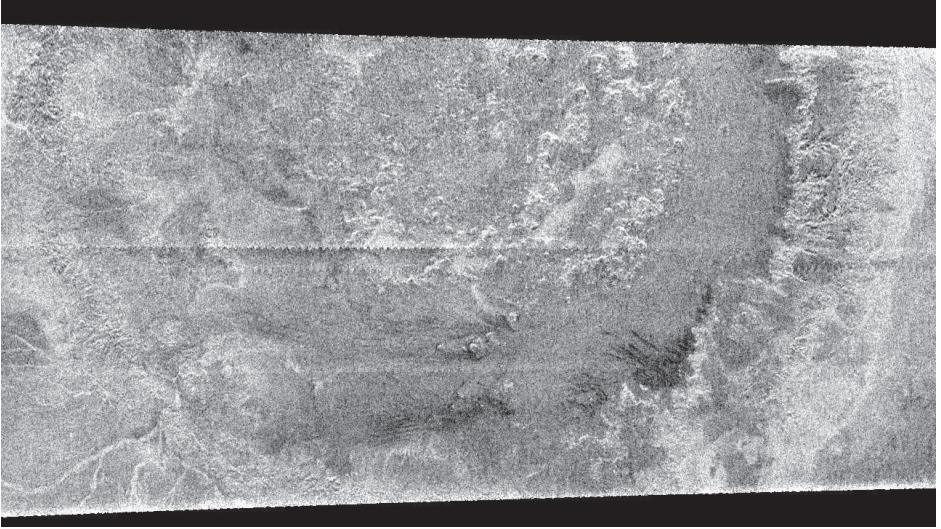
### ***Des planètes autour d'une naine brune?***

Le télescope spatial infrarouge Spitzer a montré l'existence d'un disque protoplanétaire autour d'une naine brune n'ayant qu'une quinzaine de fois la masse de Jupiter, battant ainsi le précédent record parmi les systèmes planétaires nains.

### ***Titan***

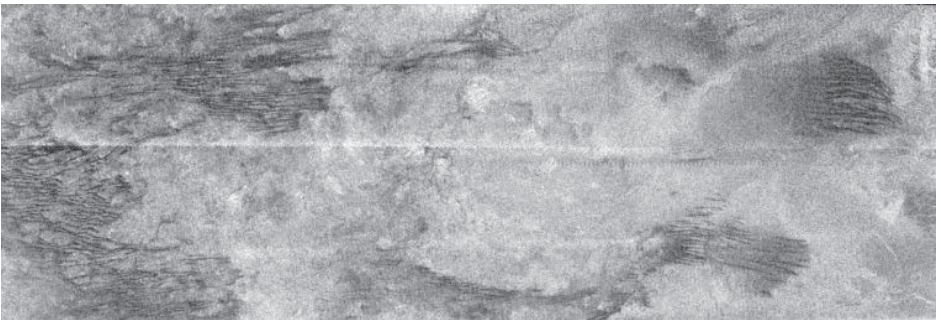
La sonde Cassini a découvert un cratère d'impact géant (440 km de diamètre) sur Titan, lors de son survol de février. Il est probablement le fait d'une comète ou d'un astéroïde de plusieurs dizaines de kilomètres. Elle





*Le cratère géant Circus Maximus, sur Titan a été «photographié» par le radar de Cassini le 15 février, une technique qui perce les brumes du satellite.. (NASA/JPL)*

*La région de Xanadu sur Titan est striée de traînées sombres, alignées dans la direction est-ouest, comme laissées par les griffes d'un animal géant. (NASA/JPL)*



a également trouvé des « griffures », structures parallèles probablement formées à cause du vent.

La surface de Titan semble jeune comparée à celles des autres satellites de Saturne. Elle est sans cesse remodelée par des pluies de matériaux divers et des processus géologi-

ques qu'il reste encore à interpréter.

### ***Une quatrième planète pour le pulsar PSR B1257+12***

Une quatrième planète a été détectée dans le système de PSR B1257+12, siège de la première planète extrasolaire jamais décou-

verte (1992). Avec une masse cinq fois plus petite que celle de Pluton, il s'agit de la plus petite exoplanète connue. C'est donc encore un objet bien différent de la Terre.

Coïncidence ou non, les trois premières planètes de ce pulsar ont des orbites dont les dimensions sont en proportions analogues à celles de Mercure, de Vénus et de la Terre. La dernière venue est nettement plus éloignée et pourrait constituer le plus gros objet d'une ceinture de débris interplanétaires, résidus du nuage qui a formé les planètes internes. Ce serait un peu le Pluton de ce système.

Il est curieux de voir comme ce système

si particulier, évoluant autour d'une étoile à neutrons, ressemble à notre système solaire. Aucun des systèmes d'exoplanètes « classiques » ne montre autant de similitudes.

### ***Smart-1***

La sonde européenne Smart-1 a pris ses premiers clichés rapprochés de la lune. Sa trajectoire se situait entre les altitudes de 1000 et 5000 km, permettant ainsi d'effectuer un survey à moyenne résolution.

***Image prise par Smart le 29 décembre et montrant la région du cratère Mouchez. (ESA/Space-X, Space Exploration Institute)***



Durant le mois de février, le moteur ionique de la sonde devait être remis en marche pour amener l'orbite encore plus près de la Lune, entre 300 et 3000 kilomètres. Des images à haute résolution pourront alors être intégrées au survey.

### **Aurores de Saturne**

Combinant les observations du télescope spatial Hubble et de la sonde Cassini, des planétologues (dont une équipe de l'Université de

Liège) ont étudié les aurores de Saturne. Ils ont montré que le phénomène auroral est d'un autre type que sur Terre et sur Jupiter.

Bien que la magnétosphère de Saturne soit aussi sensible au vent solaire que ne l'est le bouclier terrestre, la manière dont se produit l'interaction n'est pas identique. Cette différence résulterait à la fois de magnétosphères différentes sur les deux planètes et du vent solaire différent au voisinage des deux planètes.

*Saturne par le HST en janvier.  
(NASA/ESA/J. Clarke; Boston University).*

