

L'astronomie dans le monde

Une galaxie lointaine

D'après le HST News STSCI-92-26
du 13 novembre 1992

Des astronomes de plusieurs pays ont observé au moyen du Hubble Space Telescope la galaxie la plus lointaine que l'on connaisse, à quelque dix milliards d'années lumière.

Le HST révèle un chapelet de condensations lumineuses dans le noyau de la galaxie. « Ces condensations sont peut-être des amas d'étoiles géants en train de se former », déclare le Professeur George Miley de l'Université de Leiden. « Si c'est bien le cas, alors chaque amas contient une dizaine de milliards d'étoiles, et mesure 1.500 années lumière. »

Une autre hypothèse est qu'il s'agit de nuages de gaz et de poussières « éclairés » par les émissions énergétiques d'un trou noir massif situé au cœur de la galaxie.

Cette galaxie primordiale, appelée 4C41.17, existait donc il y a plus de dix milliards d'années, durant les premiers temps de l'univers, quelques milliards d'années après le Big Bang. La plupart des galaxies se sont peut-être formées à cette époque reculée.

L'image de 4C41.17 prise avec la caméra WF/PC (Wide Field and Planetary Camera) du Space Telescope donne des détails dix fois plus fins que les meilleurs images obtenues du sol auparavant.

Un résultat surprenant est l'extrême inhomogénéité de l'émission dans le visible, ce qui suggère que la galaxie est le siège de fortes perturbations.

Dans le domaine des ondes radiométriques, 4C41.17 n'est qu'une parmi plusieurs galaxies radio découvertes au cours de ces dernières années. La stratégie utilisée pour leur détection est basée sur l'énorme puissance des émissions radio et leur caractère très particulier.

On pense qu'un trou noir de grande masse occupe le centre de la galaxie et éjecte symé-

triquement deux faisceaux de particules. Ces jets sont sans doute à l'origine de l'émission radio.

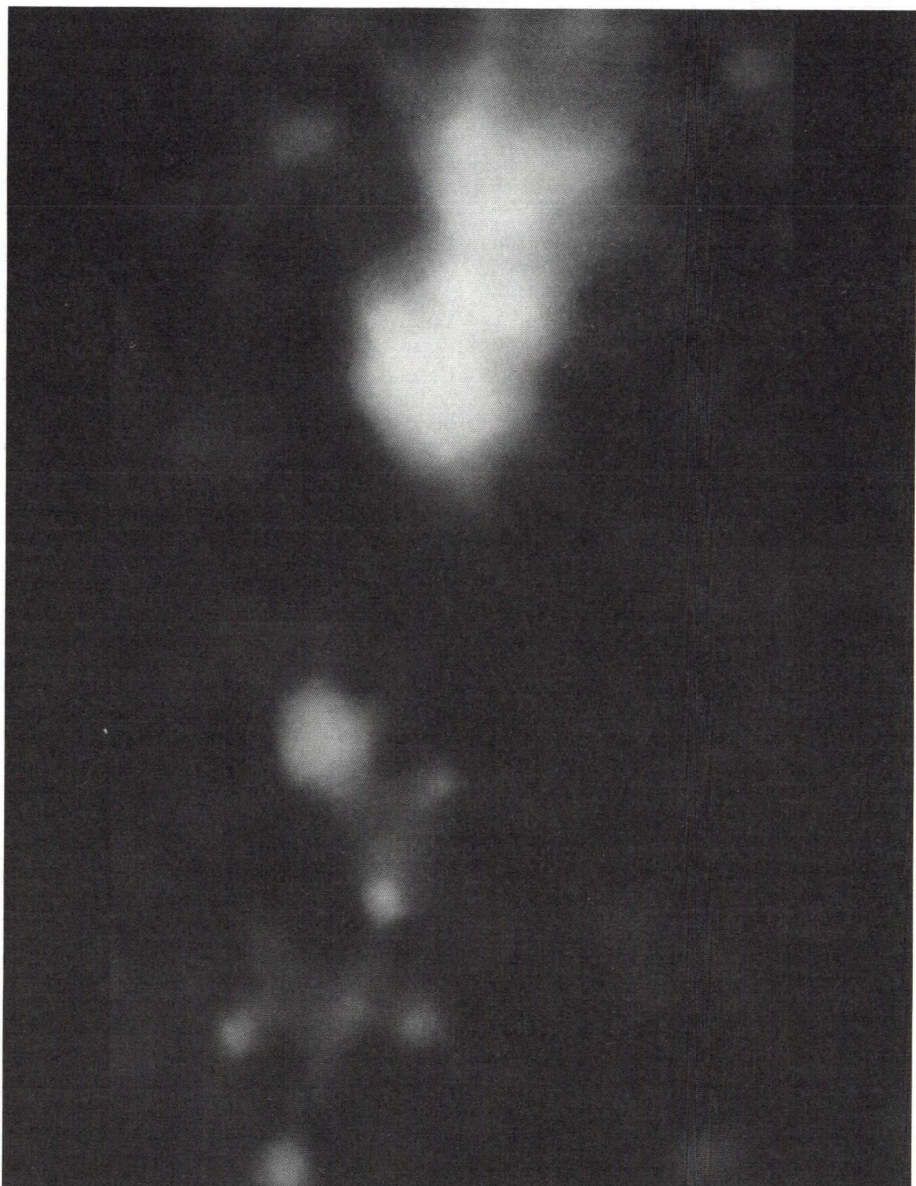
« Les images du Hubble Space Telescope sont remarquablement semblables aux images radio produites par le grand interféromètre VLA (Very Large Array) au Nouveau Mexique. », poursuit Miley. « On sait depuis quelques années que les jets interagissent fortement avec les régions périphériques des radio-galaxies. Cependant c'est la première fois que l'on constate la similarité des alignements radio et optiques. »

On peut expliquer cette similarité si l'on admet que les jets compressent des nuages de matière sur leur trajectoire. Ces nuages finissent par se transformer en amas d'étoiles qui sont alors distribués le long des jets.

Il est aussi possible que l'émission optique soit due, non pas à des étoiles, mais à la diffusion de lumière sur les poussières. Cette lumière proviendrait de l'environnement du trou noir (le disque d'accrétion) au centre de la galaxie. Cette région très active au centre de la galaxie nous serait cachée par un manchon de gaz et de poussières très opaque, canalisant la lumière le long de son axe, dans la direction même des jets.

Le HST pourra aider à faire un choix entre ces hypothèses par une étude plus détaillée des couleurs et d'autres propriétés de ces objets. Lorsque les améliorations prévues seront apportées à l'optique du télescope à la fin de cette année, de meilleures images pourront être obtenues beaucoup plus rapidement. L'instrument pourra alors s'attaquer à beaucoup d'autres galaxies de ce type (on en connaît une cinquantaine), et nous pourrions mieux comprendre les premiers moments de l'univers.

A la page suivante : la galaxie la plus lointaine connue, 4C41.17.
(Cliché G. Miley, K. Chambers, W. van Breugel, D. Macchetto. NASA/ESA)



Trou noir vu par Hubble

D'après le HST News STSCI-92-27
du 19 novembre 1992

Le Hubble Space Telescope a également permis d'observer ce qui est peut-être un gigantesque tourbillon de matière entraînée vers un trou noir. C'est au sein d'une galaxie de l'amas de la Vierge, à 45 millions d'années lumière, que se trouve ce trou noir potentiel, d'une masse estimée à dix millions de fois celle du Soleil. La galaxie, NGC 4261, est connue pour être active, c'est-à-dire émettant un rayonnement radio anormalement intense dont on attribue généralement la cause à un trou noir, tout comme dans le cas de la galaxie lointaine décrite dans l'article précédent. Elle exhibe aussi deux jets symétriques d'une longueur de 88.000 années lumière.

Un trou noir possède un champ gravitationnel si puissant que même la lumière ne peut s'en échapper. On ne peut donc le voir directement. Mais les mouvements de la matière autour du trou noir peuvent être décelés, et c'est ce que l'on observe dans le noyau de NGC4261. On voit un disque de matière obscure, chargée de poussières, de 300 années lumière de diamètre. Ce disque « nourrit » le trou noir. Avant d'avalier la matière, celui-ci la porte à une température de plusieurs dizaines de millions de degrés. Une partie de la matière est éjectée, constituant les deux jets opposés, comme dans certains arroseurs de jardins.

Le fait de trouver du gaz et des poussières dans NGC4261 est assez curieux. Il s'agit en effet d'une galaxie elliptique, et les galaxies de ce type n'en contiennent généralement pas. Mais NGC4261 est une des plus grosses elliptiques de l'amas de la Vierge, la sorte de galaxie cannibale qui gobe l'une après l'autre les galaxies passant imprudemment à sa portée. Sans doute NGC4261 a-t-elle avalé récemment une galaxie spirale? Le gaz qui alimente le trou noir est-il un résidu de cette spirale?

L'étude plus détaillée de ce trou noir potentiel se fera aussi lorsque le télescope spatial sera réparé. On analysera alors les caractéristiques exactes du disque.

A la page suivante : la galaxie NGC4261.

A gauche : vue composite optique et radio. La partie centrale est ce que l'on voit en lumière blanche, c'est-à-dire une galaxie elliptique contenant des centaines de milliards d'étoiles. Les deux jets verticaux sont observés en ondes radio. Ils partent du noyau et s'étendent sur 88.000 années lumière

A droite : Image HST du centre de NGC4261. Le Hubble Space Telescope révèle un disque géant, obscur, de gaz froid et de poussières, alimentant probablement un trou noir. L'inclinaison du disque vers nous (60°) permet d'avoir une vue non obstruée du cœur où se trouverait le trou noir et un disque d'accrétion extrêmement chaud. C'est à partir de ce disque intérieur que le trou noir extrait sa substance. Au cours de ce processus très violent, une partie de la matière est éjectée dans les jets. Ces derniers sont disposés symétriquement et perpendiculairement au disque. Tous ces phénomènes seraient difficilement explicables en l'absence de trou noir. Nous avons donc ici un argument très fort en faveur de l'existence de ces astres mystérieux.

(Cliché W. Jaffe, H. Ford. NASA/NRAO)

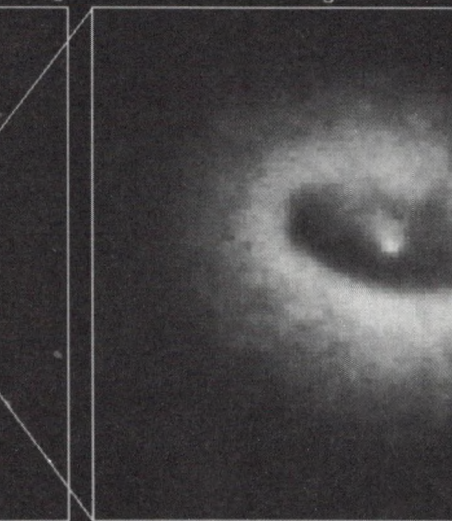
e of Galaxy NGC 4

Hubble Space Telescope

Wide Field / Planetary Camera

o Image

HST Image of a Gas



17 Arc Sec
400 LIGHT-YE

L'origine du fluor

L'origine des éléments chimiques est l'objet de nombreuses études, mais il reste encore bien des mystères. Les éléments plus lourds que l'hélium sont produits à l'intérieur des étoiles. Ainsi les étoiles massives fabriquent de grandes quantités d'atomes d'oxygène et de néon. Lorsqu'elles explosent en supernova, elles en profitent pour synthétiser d'autres encore plus lourds, et éjectent le tout dans l'espace. Les étoiles moins massives produisent des éléments plus légers, comme le carbone et l'azote. Elles n'explosent pas à la fin de leur existence. Elles libèrent cependant une fraction de leur matière et contribuent ainsi à l'enrichissement progressif — au « vieillissement » — de la matière interstellaire en éléments lourds.

Le scénario précis n'est cependant pas connu de façon parfaite. Il reste encore bien des mystères. L'un d'eux concerne l'abondance du fluor, l'un des éléments les plus légers (à la neuvième place dans le tableau périodique, et comportant donc 9 protons). C'est à ce problème que se sont attaqués avec succès Alain Jorissen, de l'Université Libre de Bruxelles (actuellement au European Southern Observatory) et ses collègues Verne Smith et David Lambert de l'Université du Texas à Austin.

Alain Jorissen et ses collègues ont pu mesurer l'abondance de la molécule HF (fluorure d'hydrogène, ou acide fluorhydrique) dans 65 étoiles géantes froides, grâce à des spectres obtenus au télescope de 4 mètres de l'observatoire de Kitt Peak (Arizona). Ils ont découvert que l'abondance de fluor est d'autant plus élevée que l'étoile contient plus de carbone. Ces éléments sont synthétisés au cœur de l'étoile, là où les conditions de température et de pression sont réunies, et où le combustible nucléaire est disponible (parfois le combustible au centre même de l'étoile est épuisé, et les réactions se passent dans une zone concentrique).

Ce que l'on observe, c'est évidemment la surface de l'étoile, et non le centre. Des mouvements de brassage plus ou moins rapides assurent le transport d'une partie des éléments, conçus au centre, vers la périphérie. On pense

donc que le fluor, tout comme le carbone, est produit au centre et est ensuite conduit à la surface par convection.

Le fluor est probablement fabriqué au cours d'un cycle de réactions nucléaires commençant par la fusion d'hélium-4 (le nombre 4 indique qu'il y a quatre particules dans le noyau, ici 2 protons et 2 neutrons) et d'azote-14 (7 neutrons et 7 protons). Le fluor-18 (9 n et 9 p) ainsi produit est radioactif et il se transmute en oxygène-18 (10 n et 8 p). Ce dernier n'attend que la première collision avec un proton (c'est-à-dire un simple noyau d'hydrogène, très abondant) pour se désintégrer en azote-15 (8 n et 7 p) et hélium-4. Mais, l'azote 15 ne s'est séparé de ce noyau d'hélium qu'à titre provisoire car, dès qu'il en a l'occasion, il refusionne avec lui (ou l'un de ses semblables) pour fabriquer du fluor-19 (10 n et 9 p) qui, lui, est stable... cqfd.

Les étoiles géantes étudiées par Jorissen et ses collaborateurs sont trop peu massives pour exploser en supernova (moins de 8 masses solaires). A la fin de leur vie elles expulsent leur atmosphère pour former des nébuleuses planétaires qui peu à peu se dissipent dans l'espace interstellaire. Le fluor est ainsi finalement mélangé au gaz de la Galaxie.

Jusqu'à présent, la théorie la plus populaire expliquait la formation de fluor dans les explosions de supernovae, précisément, c'est-à-dire lors de la mort d'étoiles massives. Ces étoiles éjectent une énorme quantité de néon-20 qu'elles ont laborieusement fabriqué au cours de leur existence. L'explosion libère une quantité faramineuse de neutrinos (petites particules de masse faible ou nulle, se déplaçant quasiment à la vitesse de la lumière). Les neutrinos pourraient pousser certains noyaux de néon-20 à se transformer en fluor-19 par l'éjection d'un proton. Cette théorie a été proposée en 1988 par Stan Woosley (le grand gourou californien des supernovae) et Wick Haxton.

Des observations supplémentaires semblent requises pour pouvoir décider de la suprématie de l'un des deux mécanismes. Peut-être sont-ils à l'œuvre tous les deux?

Le point sur l'astronomie spatiale européenne

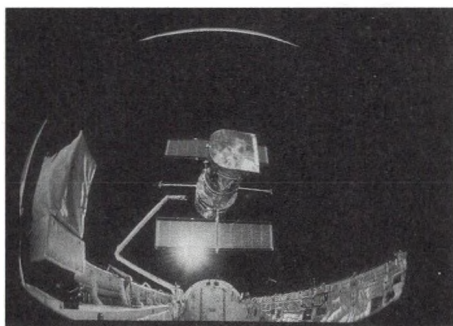
Dans la feuille d'information *Space Science* de l'Agence Spatiale Européenne, Roger Bonnet, directeur du programme scientifique, dresse un bilan des principales missions astronomiques auxquelles l'ESA a participé en 1992. Ceci nous donne l'occasion d'en résumer quelques aspects.

Le plus grand succès de l'ESA a certainement été le passage de la sonde *Giotto* en juillet, à moins de 200 kilomètres du noyau de la comète Grigg-Skjellerup. La comète était détectée dès douze heures avant la rencontre par l'analyseur de plasma. Rappelons que *Giotto* avait fait la une des journaux lors de son survol de la comète de Halley en 1986. Les instruments ont bien fonctionné et les premiers résultats pouvaient être présentés à la communauté scientifique fin août, soit moins de deux mois après la rencontre.

La sonde a été mise en « hibernation » le 23 juillet après quelques corrections de trajectoire qui l'amèneront à repasser au voisinage de la Terre (à 219.000 km) en juillet 1999. Il est cependant peu probable qu'une nouvelle mission puisse être assignée à *Giotto* en raison de la faible quantité de carburant dont elle dispose encore.

Le *Hubble Space Telescope* a fait l'objet d'une attention particulière en raison des problèmes techniques qu'il a rencontrés. La première mission d'entretien et de réparation est prévue pour la navette *Endeavour* le 7 décembre 1993. Un astronaute — et astronome — européen, Claude Nicollier a été désigné comme spécialiste de mission. C'est un expert dans l'utilisation du bras de la navette. L'ESA contribue aussi au remplacement d'une caméra et des panneaux solaires du HST.

Un workshop sur les découvertes du HST s'est tenu en Sardaigne en été. Parmi les faits marquants, citons la découverte d'un effet de lentille gravitationnelle donnant des images de quasars séparées de 50 secondes d'arc (un record!); une détermination de la constante de Hubble (45 km/s/Mpc) à partir de l'observation de céphéïdes dans une galaxie lointaine, et l'étude des aurores polaires de Jupiter.

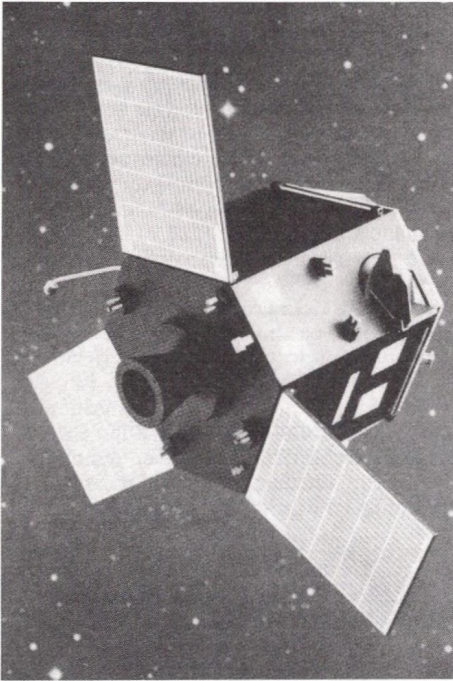


Le Hubble Space Telescope libéré de la soute de la navette *Discovery*, le 25 avril 1990. (Cliché NASA)

Le satellite *Hipparcos*, quant à lui, a connu quelques déboires, principalement à cause de gyroscopes récalcitrants, et du contrôle thermique. Les observations ont pu redémarrer en automne à un rythme moins soutenu.

Les résultats scientifiques dépassent les prévisions les plus optimistes. Après avoir réduit 18 des 32 mois de données, la position de plus de 300.000 étoiles a pu être mesurée avec une précision de l'ordre de 1 à 1,5 millièmes de seconde d'arc.

Les parallaxes sont déterminées avec une erreur de deux millièmes de seconde, tandis que pour la moitié des étoiles, les mouvements propres annuels sont maintenant connus avec moins de 4 millièmes de seconde d'arc d'erreur. Pour plus d'un million d'étoiles, les positions sont établies à mieux d'un dixième de seconde. Ces progrès ont déjà permis d'améliorer de façon sensible les mesures astrométriques de plaques photographiques obtenues par les télescopes de Schmidt.



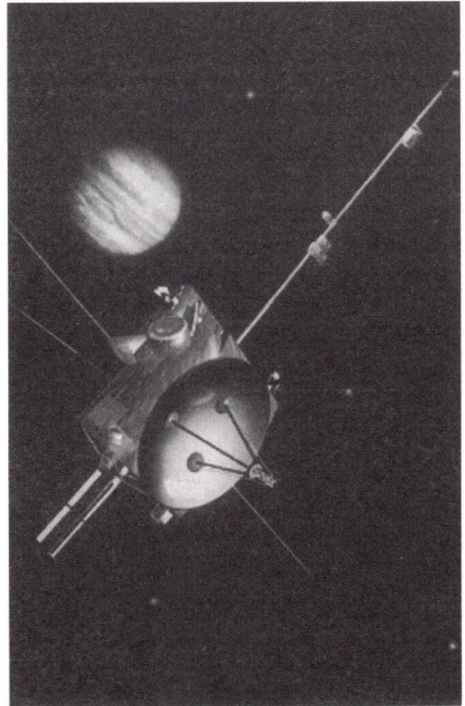
Hipparcos. (Cliché ESA)

Le vétéran *IUE* (International Ultraviolet Explorer) continue son travail de routine. Il a participé à l'observation de la comète Grigg-Skjellerup, en support de la mission Giotto. Il a ainsi pu déceler la présence d'une coma de poussières, et mesurer le taux d'éjection d'eau par la comète. *IUE* a aussi permis de déterminer le rapport des taux de production d'eau et d'ammoniac dans une douzaine de comètes et montrer qu'il était compris dans une fourchette de 0,4 à 0,9%.

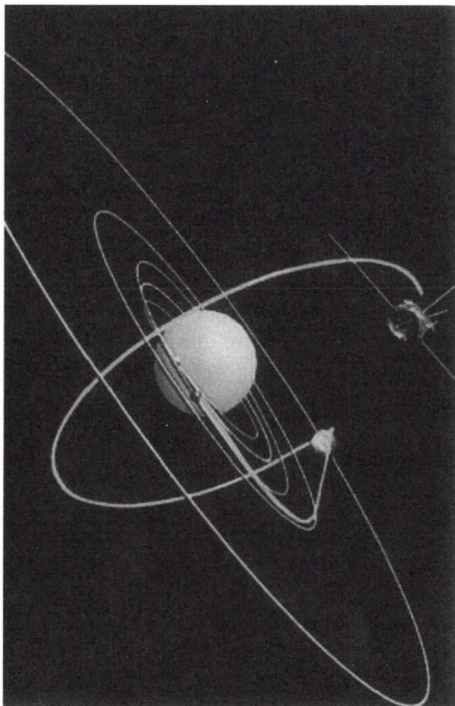
La mission hors-écliptique *Ulysses* se poursuit avec succès. A la fin août, la sonde se trouvait à la plus grande distance de la Terre (940 millions de kilomètres, soit 6,3 unités astronomiques). C'est un record pour une sonde de l'ESA. *Ulysses* continue à s'écarter

du plan de l'écliptique, suivant ainsi la trajectoire qui l'amènera à survoler le pôle sud du Soleil.

Des résultats scientifiques de la première phase de la mission (dans le plan de l'écliptique, jusqu'à la rencontre avec Jupiter et la traversée de la magnétosphère de la planète géante) ont déjà été publiés. Dans son odyssee, la sonde a détecté des ions d'hydrogène et d'oxygène en provenance de l'espace interstellaire; elle a aussi mesuré directement, in situ, la vitesse des atomes interstellaires d'hélium (26 km/s) ainsi que leur température (6700K). *Ulysses* a aussi découvert cinq courants de poussières sur des orbites très inclinées autour du Soleil.



Ulysses aux abords de Jupiter. (Illustration ESA)



La trajectoire complexe d'Ulysse lui a fait quitter le plan de l'écliptique après sa rencontre avec la planète géante. *(Illustration ESA)

NB : Monsieur Roger Bonnet nous présentera le 26 mars prochain, à l'Institut de Zoologie, une conférence exceptionnelle intitulée « L'espace, un rêve européen ».

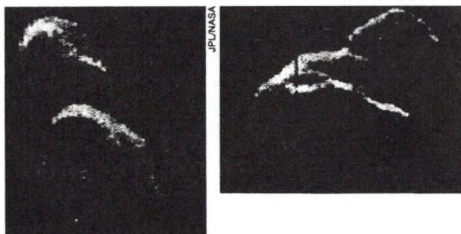
Encore Toutatis

Après l'effroi irraisonné suscité par les passages de cet astéroïde dans la proche banlieue terrestre, et l'intérêt médiatique que cela n'a pas manqué de provoquer (voir *Le Ciel* décembre 1992, page 349), Toutatis vient de prouver qu'il est digne de l'attention que lui portent les astronomes. Pourquoi cette attention pour un petit objet de quelques kilomètres de diamètre? Tout simplement parce que c'est la première fois que l'on avait pu calculer à l'avance le passage d'un astéroïde aussi près de nous. La trajectoire étant connue, on avait

pu mettre en batterie les moyens d'observation les plus sophistiqués et programmer une étude approfondie de l'objet.

Ces précautions se sont révélées payantes. S'il est bien une chose qui ne s'est jamais démentie dans l'étude in situ (par sondes spatiales) des astres du système solaire, c'est que chacun d'eux est très différent des autres. Tous montrent des particularités remarquables et, au grand émerveillement des astronomes, tout à fait inattendues.

Ce n'est pas une sonde spatiale qui est allée à la rencontre de Toutatis, mais c'est lui qui est venu à nous. Cela ne change rien au fait que Toutatis n'a pas fait exception à la règle mentionnée ci-dessus. Comme le montre la photo de couverture de ce bulletin, la forme de l'astéroïde est très curieuse. Il est constitué de deux gros rochers de 4 et 2,5 kilomètres de diamètre, accolés l'un à l'autre et, semble-t-il, uniquement retenus par la faible attraction gravitationnelle qu'ils exercent entre eux.



L'image de Toutatis a été obtenue non pas avec un télescope normal, mais par un radiotélescope. Bien sûr Toutatis n'émet pas d'ondes radio. Il s'agit en fait d'une image radar, l'astéroïde étant illuminé par un faisceau en provenance de la Terre.

Il y avait déjà eu des rumeurs concernant l'existence d'astéroïdes binaires, rumeurs souvent dues à la présence d'événements doubles dans des enregistrements d'occultations stellaires. Les variations d'éclat de l'astéroïde Hector au cours de sa rotation sur lui-même semblent indiquer qu'il est constitué de deux sphères accolées (voir *Le Ciel*, septembre 1990, page 226). De même des échos radar avaient déjà laissé penser que certains de ces astres pouvaient avoir une forme d'haltère ou de diabolos. Tel est le cas de 1989PB, étudié

lorsqu'il était passé à 11 fois la distance de la Lune. L'image radar de Toutatis constitue ainsi une éclatante confirmation.

Mais ce n'est pas tout. Au moment même où les observations de Toutatis s'effectuaient, des astronomes américains annonçaient des observations radar, qui montrent que l'astéroïde Castalia est double. Et dans ce même meeting, on soutenait l'hypothèse que Gaspra, l'astéroïde photographié en chemin par la sonde Galileo, est composé de l'assemblage de

deux gros rochers.

Si l'on pense que ce sont là les trois astéroïdes étudiés le plus en détail, la statistique est extraordinaire : 3 astéroïdes sur 3 sont probablement doubles. De là à conclure que beaucoup d'astéroïdes le sont, il n'y a qu'un pas. Un pas que l'on franchit d'autant plus aisément que cela permet d'expliquer pourquoi beaucoup de cratères lunaires (et aussi sur Mars et sur Terre) sont doubles, comme résultant d'impacts groupés.