

43

Décembre 2003

SPACE CONNECTION



DOSSIER Les petits habitants
de notre système solaire

Sommaire



Dossier: Les petits habitants de notre système solaire

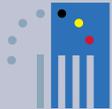
- 03** 1. Vestiges d'un édifice cosmique
- 06** 2. De Cérès à la Ceinture de Kuiper
- 12** 3. Témoins venus des régions extérieures du système solaire
- 19** 4. Explorateurs cosmiques à la découverte de comètes et astéroïdes
- 26** 5. Regard sur 4,6 milliards d'années d'histoire
- 32** 6. Les petits habitants du système solaire sur l'Internet

35 **Actualités**

Introduction

Space Connection est une lettre d'information sur l'espace et est éditée et diffusée gratuitement par le

**Service public fédéral
de programmation
"Politique scientifique"**

**Rédaction et gestion
des abonnements**

Cellule e-information
SPP Politique scientifique
Rue de la Science, 8
1000 Bruxelles
e-mail : dhae@belspo.be
Abonnez-vous via notre site internet:
<http://www.belspo.be>

Collaboration extérieure

Benny Audenaert (dossier),
Christian Du Brulle,
Théo Pirard, Steven Stroeykens

Coordination

Patrick Ribouville, Ria D'Haemers

Editeur responsable

Dr Ph. Mettens,
Président du Comité de Direction
du SPP Politique scientifique

Photo de couverture

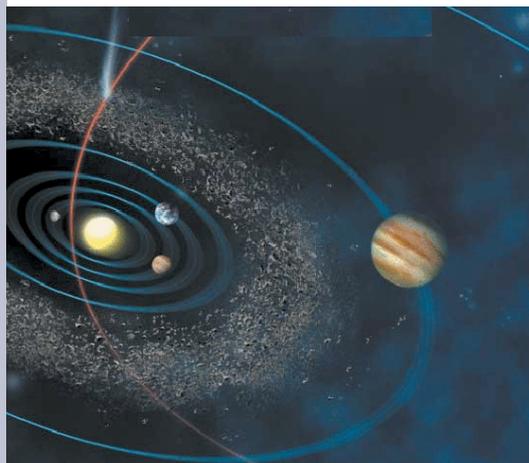
Rosetta rencontrera la comète
Churyumov-Gerasimenko en 2014.
(ESA)

Numéro 43 - Décembre 2003

Vestiges d'un édifice cosmique

En 1986, la sonde européenne Giotto était le vaisseau amiral d'une armada internationale de sondes spatiales dirigée vers la célèbre comète de Halley. Normalement, en janvier 2003, l'European Space Agency (ESA), l'agence spatiale européenne, aurait dû lancer une nouvelle sonde de reconnaissance.

Malheureusement, les problèmes du lanceur Ariane 5 ont cloué la sonde *Rosetta* au sol. Cet ajournement n'était cependant pas synonyme d'abandon, puisque si tout va bien, *Rosetta* partira en février 2004. Sa destination initiale vers la comète Wirtanen a été modifiée. En 2014, *Rosetta* devrait rencontrer la comète Churyumov-Gerasimenko et durant son parcours, le vaisseau spatial devrait encore survoler un ou plusieurs *astéroïdes*. (Suite en page 4)



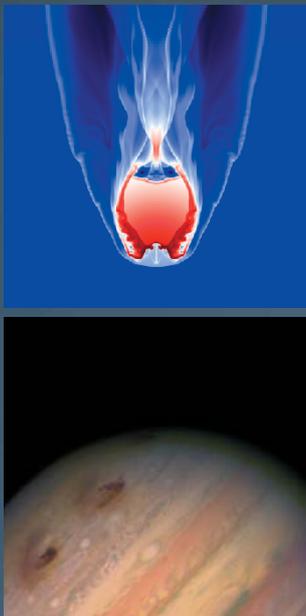
(NASA)

Dossier Les petits habitants de notre système solaire

Suite de la page 3

1. Un âge d'or

Vestiges d'un édifice cosmique



↑↑ L'histoire du système solaire est jalonnée de collisions. Voici une simulation de l'impact d'un fragment de la comète Shoemaker-Levy 9 sur la planète Jupiter en juillet 1994. (JPL)

↑ L'atmosphère de Jupiter révèle les "cicatrices" de l'impact du fragment G de la comète Shoemaker-Levy le 18 juillet 1994. (STScI)

On a longtemps sous-estimé l'importance de l'envoi de sondes spatiales vers les astéroïdes et comètes. Or, il apparaît de plus en plus clairement que ces petits corps célestes recèlent de précieuses informations sur l'histoire du système solaire et par conséquent sur celle de notre Terre. On peut comparer de ce point de vue les comètes et astéroïdes à la construction d'une maison qui produit son lot de déchets. *Astéroïdes* et *comètes* sont en quelque sorte les vestiges, témoins de la naissance d'un édifice cosmique...

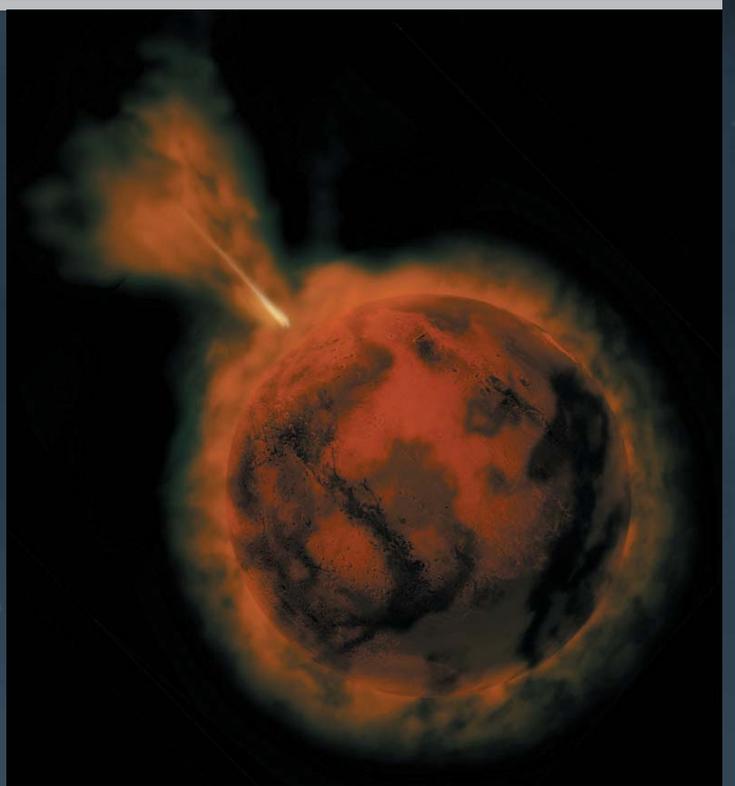
Le système solaire est né il y a 4,6 milliards d'années d'un *brouillard initial*, nuage de gaz et de matière interstellaires. C'est à partir de là que sont nés le Soleil et les planètes. La gravitation de la grande planète *Jupiter* a empêché les petites planètes coincées entre Mars et Jupiter de s'unir pour former une planète à part entière. Elles ont finalement constitué la *ceinture d'astéroïdes*. Mais tous les astéroïdes ne sont pas restés dans cette ceinture. Certains gravitent sur une orbite

autour du Soleil qui les rapproche de la Terre et ils représentent même parfois une menace pour notre planète.

Les *comètes* aussi sont des restes de l'époque où le système solaire est apparu. Certaines d'entre elles, à la chevelure spectaculaire, sont parfois visibles dans le ciel, spectacle impressionnant, annonciateur de désastre selon nos ancêtres.

On a longtemps ignoré la nature des comètes. Nous savons désormais qu'elles sont composées de roches, de matière et de glace. Elles sont peut-être même à l'origine de l'eau présente dans nos océans et nous-mêmes sommes peut-être faits de "poussière de comète"...

L'histoire des comètes et astéroïdes nous réserve régulièrement des surprises. Récemment, une toute nouvelle famille de corps célestes a été découverte dans le système solaire, les fameux objets trans-neptuniens présents dans la *ceinture de Kuiper*. *Pluton*,



↑ Mars a peut-être perdu un gros morceau de son atmosphère à la suite d'impacts de comètes, peu après la naissance de la planète. (ESA)

planète éloignée, appartient peut-être à cette famille. Manifestement, l'histoire du système solaire et de son évolution n'a pas encore livré tous ses secrets.

En 1957, les Soviétiques ont mis le premier Sputnik en orbite autour de la Terre. La conquête spatiale a permis d'étudier *in situ* les autres corps célestes du système solaire. Très rapidement, l'Union soviétique et les Etats-Unis ont envoyé des sondes vers la Lune, Mars et Vénus. Cibles idéales pour arriver en tête de la *course à la conquête spatiale*. Toutes les planètes du système solaire, à l'exception de la modeste Pluton, ont reçu la visite d'une sonde spatiale au moins. Désormais, l'astronautique accorde aux astéroïdes et comètes, éléments plus discrets du système solaire, l'attention qu'ils méritent.

Mais l'intérêt pour les comètes et astéroïdes n'est pas uniquement inspiré par leur qualité de témoins de la naissance du système solaire. Ils représentent également une *menace* pour notre planète. Ce thème a déjà

été abordé dans le dossier *Menace venue de l'espace dans le Space Connection 41*.

Sur la Terre, l'érosion a largement atténué les cicatrices laissées par les impacts cosmiques, mais sur de nombreux autres corps célestes du système solaire, les traces des cratères creusés sont encore bien visibles. Des astres comme la Lune et la planète Mercure, troués de cratères confirment que l'histoire du système solaire est peuplée de collisions et d'impacts.

L'étude des comètes et des astéroïdes est en pleine effervescence. Presque chaque jour apporte son lot de nouvelles. Mais comme souvent dans le domaine des sciences, les réponses longtemps attendues soulèvent de nouvelles questions. Comme le dit *Colleen Hartman* du *Solar System Exploration Division* de l'agence spatiale américaine, la NASA à Washington "*L'homme observe les comètes depuis des siècles et bizarrement nous ne savons pas grand chose à leur sujet. Mais cela va changer. Nous entrons dans l'âge d'or de l'étude des comètes.*"

▣ La sonde européenne Rosetta sera la première à graviter autour du noyau d'une comète. La conquête spatiale permet à l'étude des comètes et des astéroïdes de vivre un âge d'or. (ESA)

Dossier Les petits habitants de notre système solaire

2. Les "petites planètes" du système solaire

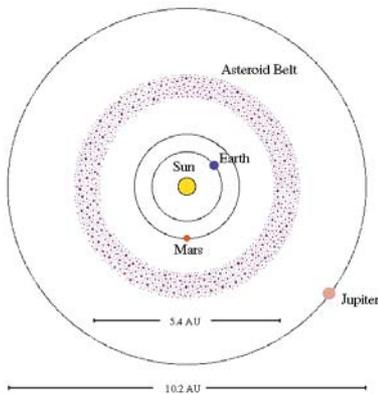
De **Cérès** à la Ceinture de **Kuiper**

Le 1^{er} janvier 1801, à Palerme, l'astronome italien *Giuseppe Piazzi* (1746-1826) découvrit un astre extrêmement surprenant entre les planètes Mars et Jupiter. A l'époque, la découverte de *Cérès* avait fait sensation parmi les astronomes car elle succédait à la découverte de la planète Uranus par *William Herschel* (1738-1822) vingt ans plus tôt. Elle semblait être la planète "manquante" qui, en vertu de la loi de *Titius-Bode* devait venir s'intercaler dans le 'trou' entre Mars et Jupiter. A partir des observations de Piazzi, le grand mathématicien *Karl Friedrich Gauss* réussit à calculer l'orbite de *Cérès*. L'astre semblait tourner autour du Soleil en 4,6 ans.

du Soleil entre Mars et Jupiter. Avec succès... *Pallas* fut découverte en 1802 (par Olbers), *Juno* en 1804 (Harding) et *Vesta* en 1807 (Olbers). Il apparaissait finalement que plusieurs milliers de ces blocs de roches cosmiques ou *petites planètes* gravitaient autour du Soleil. Elles furent baptisées *astéroïdes* ou *planétoïdes*. D'après les estimations, la *ceinture d'astéroïdes* contiendrait entre 100.000 et deux millions d'objets de la taille d'au moins un kilomètre. (cf. aussi *Le double d'astéroïdes ?*).

Plusieurs théories sont avancées pour expliquer l'absence d'une grande planète entre Mars et Jupiter. Les astéroïdes sont apparus il y a plus de 4 milliards d'années, à une époque chaotique où se sont constituées les planètes de notre système solaire. Une théorie affirme qu'il s'agit des *restes* d'une planète pulvérisée lors d'une énorme collision. Mais même s'ils sont nombreux, la

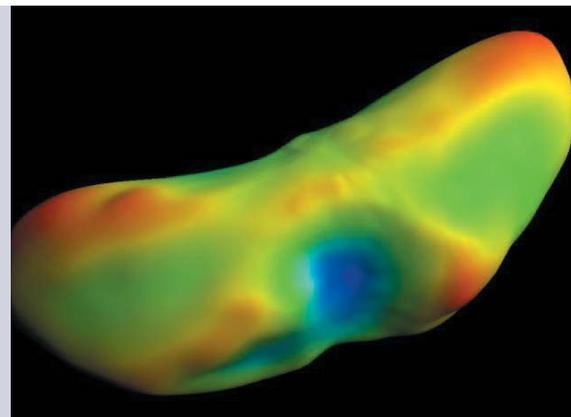
Mais le diamètre de *Cérès* n'atteignait pas 1000 kilomètres, trop petit pour être considéré comme une véritable planète. Après la découverte de *Cérès*, un groupe international d'astronomes se lança à la recherche d'autres "planètes hôtes" en orbite autour



↑ Dessin de la ceinture d'astéroïdes entre les planètes Mars et Jupiter. (UCLA)

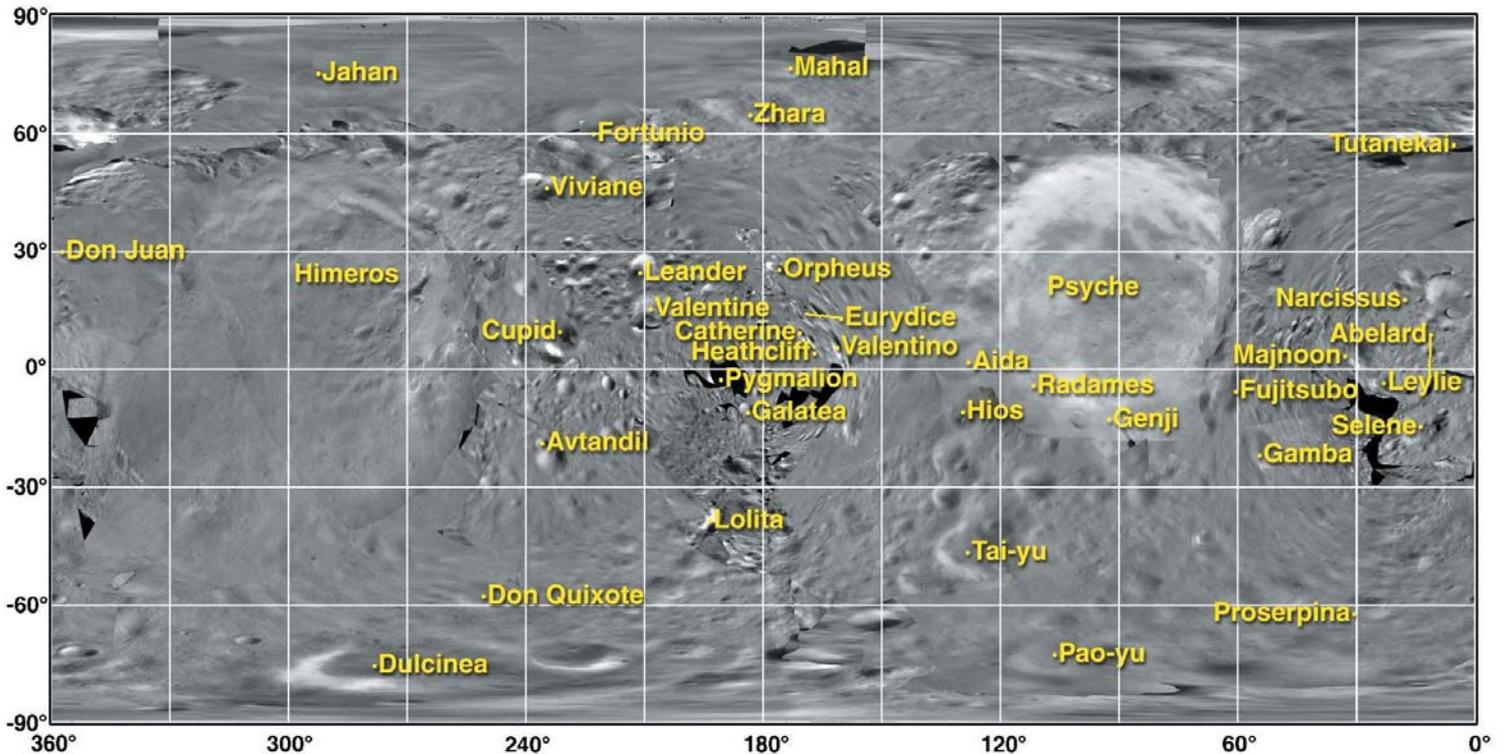
Le **double** d'astéroïdes ?

De récentes études semblent indiquer que les astéroïdes seraient deux fois plus nombreux qu'on ne le pensait. C'est le résultat d'observations réalisées par le satellite scientifique européen *Infrared Space Observatory (ISO)*. La ceinture principale entre Mars et Jupiter contiendrait entre 1,1 et 1,9 million d'astéroïdes d'un diamètre dépassant un kilomètre, le double des précédentes estimations. La mission *ISO Deep Asteroid Search (IDAS)* a été la première recherche systématique d'astéroïdes dans la ceinture principale. Les chiffres sont extraits d'un modèle théorique, basé sur des observations effectuées dans des zones sélectionnées de la ceinture d'astéroïdes. L'avantage des observations infrarouges comme celles d'ISO est la possibilité de détecter plus facilement des objets plus sombres, comme les astéroïdes, ce qui explique l'écart énorme avec les précédentes estimations.



↑ Une carte "gravitation-topographie" de l'astéroïde Eros. Une balle tombant sur une zone rouge tenterait de rouler vers la zone verte la plus proche et ensuite vers la zone bleue la plus proche. (NASA)

↓ Carte de l'astéroïde Eros, sur la base des clichés effectués par la sonde NEAR. (NASA)



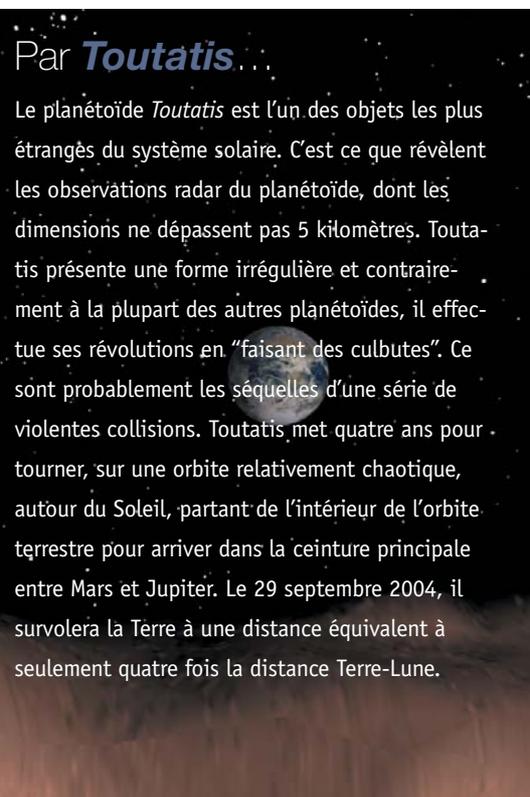
masse totale des astéroïdes est inférieure à celle de la Lune, insuffisante pour former une grande planète. Il est désormais assez largement admis que la planète géante Jupiter a précisément *généré* la formation d'une planète dans le "trou" entre Mars et Jupiter. Sous l'influence de Jupiter, beaucoup des petites planètes déjà formées sont entrées en collision dans cette zone. Victimes d'innombrables collisions, la plupart des astéroïdes ne sont dès lors que les débris des astres d'origine.

Il est évidemment difficile, même si cela fonctionne parfois, de déterminer quels sont les astéroïdes issus d'un même astre. On a récemment réussi à identifier plusieurs dizaines d'astéroïdes, restes d'une récente collision, remontant "à peine" à 5,8 millions d'années. Le groupe porte le nom de son plus grand exemplaire, *Karin*, atteignant près de 20 kilomètres. La collision a probablement généré des centaines, voire des milliers de débris d'un diamètre supérieur à un kilomètre. Ce groupe va être étudié de très près et pourrait être une destination

intéressante pour une sonde spatiale. Il est considéré comme un laboratoire naturel pour l'étude des collisions entre astéroïdes.

Des précisions peuvent être apportées à propos de la *composition* de ces astéroïdes, grâce au pouvoir réfléchissant de leur surface. Les astéroïdes sombres du *type C* réfléchissent moins de 5% de la lumière solaire et contiennent du carbone. Leur composition est identique à celle du Soleil et ils représentent environ 75% du total des astéroïdes. Nous les trouvons essentiellement dans les zones extérieures de la ceinture principale. Environ 20% des astéroïdes sont du *type S*. Ils sont plus lumineux, réfléchissent entre 15 et 25% de la lumière solaire et sont pierreux. Ils sont présents surtout à l'intérieur de la ceinture. Les autres sont principalement du *type M*, riches en métaux et peuplent le centre de la ceinture.

Les astéroïdes occupent des régions extrêmement diverses du système solaire. La plupart gravitent sur une orbite relativement stable dans la ceinture principale (*main belt*) entre



Par *Toutatis*

Le planétoïde *Toutatis* est l'un des objets les plus étranges du système solaire. C'est ce que révèlent les observations radar du planétoïde, dont les dimensions ne dépassent pas 5 kilomètres. *Toutatis* présente une forme irrégulière et contrairement à la plupart des autres planétoïdes, il effectue ses révolutions en "faisant des culbutes". Ce sont probablement les séquelles d'une série de violentes collisions. *Toutatis* met quatre ans pour tourner, sur une orbite relativement chaotique, autour du Soleil, partant de l'intérieur de l'orbite terrestre pour arriver dans la ceinture principale entre Mars et Jupiter. Le 29 septembre 2004, il survolera la Terre à une distance équivalente à seulement quatre fois la distance Terre-Lune.

↑ Une image générée par ordinateur de la Terre, vue depuis l'astéroïde *Toutatis*. Le 29 septembre 2004, *Toutatis* se trouvera à moins de 1,6 million de kilomètres de la Terre, à peine quatre fois plus loin que la Lune. (JPL)



↑ Mosaïque de quatre photos d'Eros prises par la sonde spatiale américaine NEAR, à 100 kilomètres de distance, le 21 septembre 2000. La zone représentée de haut en bas atteint 11 kilomètres et révèle une partie de l'hémisphère sud d'Eros (NASA)



← Voici à quoi ressemble peut-être l'objet de Kuiper LM60, découvert en 2002, également appelé Quaoar par ceux qui l'ont découvert. Ce dessin représente Quaoar, moitié aussi grand que la planète Pluton et plus grand objet découvert dans le système solaire depuis la découverte de Pluton en 1930. Il se situe à 6,5 milliards de kilomètres du soleil, un milliard de kilomètres plus loin que Pluton. (NASA-STScI)

les planètes Mars et Jupiter, autour du Soleil. Leur cycle de gravitation autour du Soleil varie entre trois et six ans. D'autres sont plus éloignés, comme les *Troyens*, situés sur la même orbite que Jupiter autour du Soleil (aux points Lagrange 60° avant ou après Jupiter).

Certains astéroïdes apparaissent dans les régions intérieures du système solaire. Ce sont les *Near Earth Asteroids* ou *NEA*. Ils ont probablement été "poussés" hors de la ceinture principale après des collisions avec d'autres astéroïdes et sous l'influence de Jupiter. Certains de ces *rose-mottes* pourraient s'écraser sur notre planète. Près de 500 NEA sont aujourd'hui connus. Il y a peut-être un millier ou plus de ces NEA de plus d'un kilomètre, assez nombreux pour représenter une sérieuse menace pour la Terre.

Ces groupes d'astéroïdes suscitent dès lors un vif intérêt. Les NEA représentent le gros des *NEO* ou *Near Earth Objects*, dont les *NEC*

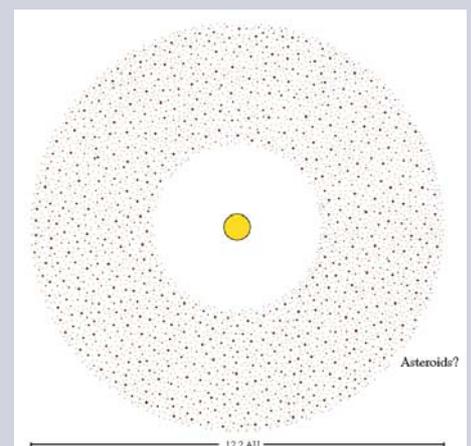
ou *Near Earth Comets* font également partie. Les NEA sont encore subdivisés en trois catégories, en fonction de leur orbite autour du Soleil. Les astéroïdes du type *Amor* croisent l'orbite de Mars, mais ne font qu'effleurer l'orbite de la Terre. L'astéroïde *Eros*, sur lequel a atterri la sonde américaine NEAR en est un exemple typique. Les astéroïdes *Apollo* et *Aten* croisent quant à eux l'orbite de la Terre.

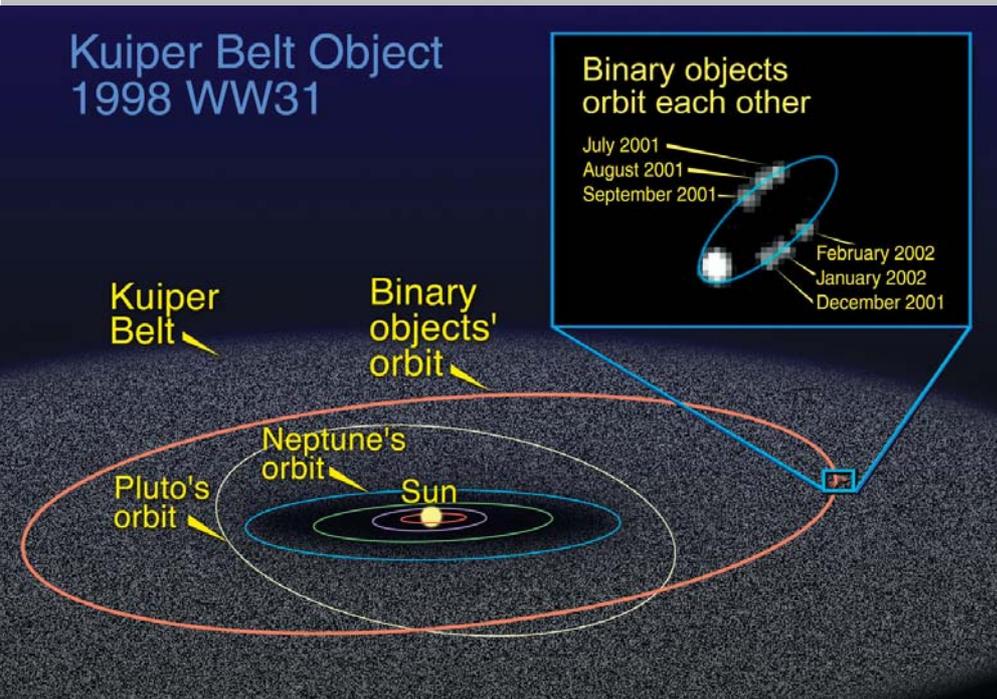
D'après certaines estimations, au moins 100.000 autres astéroïdes de plus de 100 kilomètres gravitent en orbite autour du Soleil, au-delà de la planète *Neptune* dans une zone s'étendant de Neptune (30 UA) à 100 UA. Une UA ou *Unité astronomique* équivaut à la distance entre la Terre et le Soleil, environ 150 millions de kilomètres. Ces *Objets Transneptuniens* dont l'existence avait été annoncée depuis des dizaines d'années, sont observés depuis 1992 et sont localisés essentiellement dans une épaisse "ceinture" autour du Soleil.

Astéroïdes autour d'autres étoiles

En juin 2001, des astronomes de la *University of California à Los Angeles (UCLA)* ont annoncé qu'à l'image du Soleil, l'étoile proche *Zeta Leporis*, située à 70 années-lumière, avait peut-être elle aussi une ceinture de planétoïdes. Leurs recherches font apparaître que les particules de l'anneau de poussière entourant *Zeta Leporis*, connue depuis 1983, sont la conséquence de collisions entre de gigantesques quantités de planétoïdes. Cette déduction est établie sur base de la température, de la masse et de la distance les séparant de l'étoile, dont l'âge varie entre 50 et 400 millions d'années à peine (pour 4,5 milliards d'années pour le Soleil). S'il s'avère que *Zeta Leporis* a une ceinture d'astéroïdes, la situation pourrait être comparable à l'époque où est apparu notre propre système solaire. Les chercheurs voudraient désormais vérifier si les éventuels planétoïdes entourant *Zeta Leporis* sont composés des mêmes matières que celles de notre système solaire.

→ Voilà à quoi pourrait ressembler la ceinture d'astéroïdes autour de *Zeta Leporis*. (UCLA)





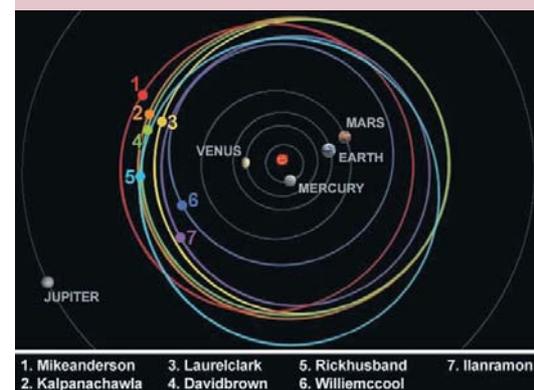
← Représentation de la ceinture de Kuiper et des orbites des planètes Neptune et Pluton ainsi que du double objet de Kuiper 1998 WW31. (NASA)

Astéroïdes baptisés du nom des membres de l'équipage de **Columbia**

Tout comme les sept membres d'équipage de la navette Challenger, qui explosa le 28 janvier 1986, lors de son lancement, leurs collègues de *Columbia* ont également été immortalisés dans le ciel. Le commandant Rick Husband, le pilote William McCool, les spécialistes de vol Michael Anderson, Kalpana Chawla, David Brown, Laurel Clark et le spécialiste israélien de la charge utile Ilan Ramon ont perdu la vie le 1er février, lors du retour sur Terre de la navette spatiale *Columbia*.

L'Union internationale d'Astronomie (UIA), vient d'adopter une proposition du Jet Propulsion Laboratory (JPL) de la NASA à Pasadena, Californie, visant à baptiser sept astéroïdes du nom des astronautes. Ils ont été découverts par le *Palomar Observatory* près de San Diego entre les 18 et 21 juillet 2001. Ils ont entre cinq et sept kilomètres et se sont vus attribuer les numéros 51823 à 51829. Ils portent désormais les noms *Rickhusband*, *Williemccool*, *Mikeanderson*, *Kalpanachawla*, *Davidbrown*, *Laurelclark* et *Ilanramon*.

↓ Les orbites des astéroïdes portant le nom des membres de l'équipage de *Columbia*. (NASA)



Cette *ceinture de Kuiper* est considérée comme le berceau de comètes à période courte. A l'instar du *nuage de Oort* pour les comètes à période longue, elle constitue probablement un réservoir pour ces corps célestes. La ceinture de Kuiper semble être une pièce importante du *puzzle* pour percer l'origine et l'évolution de notre système solaire et des systèmes solaires entourant les autres étoiles. Il est possible que des disques de matière entourant d'autres étoiles puissent être "complétés" par des collisions d'objets similaires à ceux présents dans la ceinture de Kuiper. Ces collisions peuvent fournir de précieuses indications sur la naissance des systèmes solaires. Très éloignée de la Terre, la ceinture de Kuiper n'a encore livré que peu d'informations. Les objets de la ceinture de Kuiper présentent probablement à la fois les caractéristiques des astéroïdes, essentiellement composés de roche et de métal et celles des comètes, faites de glace et de poussière.

La découverte des objets de la ceinture de Kuiper a également modifié notre vision de la lointaine *Pluton* (diamètre 2370 kilomètres) et de *Charon* (1250 kilomètres), son satellite, découvert en 1978. Même si *Pluton* conserve provisoirement son statut de "planète", il est possible que le système *Pluton-Charon* ne soit finalement qu'un

objet de Kuiper (de grande dimension, il est vrai, mais normal) plutôt qu'un phénomène planétaire. Les récentes découvertes d'objets toujours plus grands dans la ceinture de Kuiper viennent conforter cette hypothèse. *Triton*, la mystérieuse lune de Neptune, n'est peut-être qu'un objet de Kuiper, capturé par sa planète mère. Certains chercheurs affirment qu'outre *Charon*, *Pluton* pourrait avoir d'autres satellites. Ils voudraient le vérifier, avant le départ, en janvier 2006, de la mission américaine *New Horizon*, à destination de *Pluton* et de la ceinture de Kuiper. *Alan Stern*, responsable de la réussite scientifique de la mission, déclare : *Nous voulons savoir si Charon est le seul et unique à tourner autour de Pluton.*

Planétoïde ou astéroïde ?

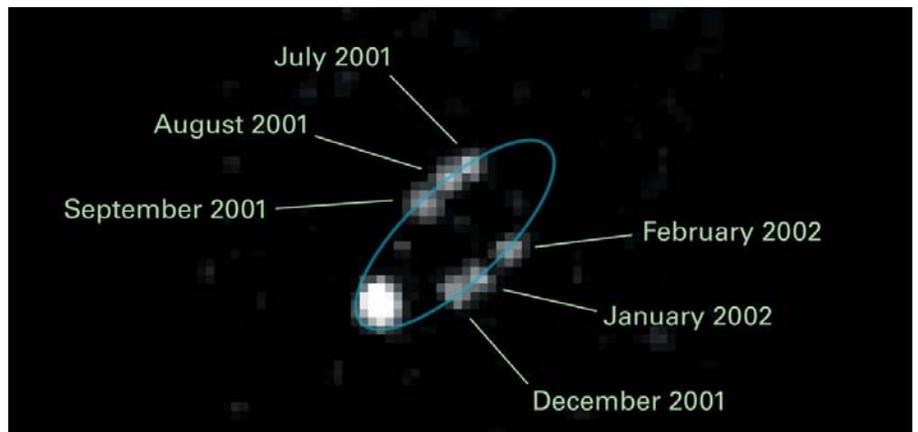
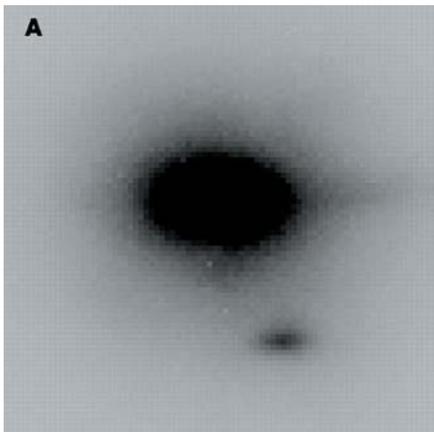
En Anglais et en Français, ces corps célestes s'appellent "asteroid" ou astéroïde. Ce nom se dit *asteroid* et renvoie en réalité à tort à la notion d'étoile. Le terme *planétoïde* ou *planétaire* conviendrait davantage pour les blocs de pierre qui gravitent autour du Soleil. Les astéroïdes n'émettent pas de lumière et ne sont visibles que parce qu'ils réfléchissent la lumière du Soleil et ne doivent donc pas être confondus avec des étoiles.

- 1. Mikeanderson
- 2. Kalpanachawla
- 3. Laurelclark
- 4. Davidbrown
- 5. Rickhusband
- 6. Williemccool
- 7. Ilanramon

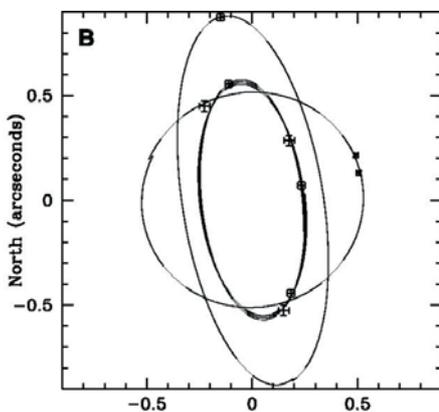
Dossier Les petits habitants de notre système solaire

Parfois, lorsqu'ils regardent le ciel, les astronomes voient "double". Des images radar de l'astéroïde NEA 2000DP107 révèlent qu'il est en réalité constitué de deux éléments d'environ 800 et 300 mètres, gravitant autour de leur centre de masse commun. La distance les séparant ne dépasse pas trois kilomètres. Ce phénomène est probablement très fréquent parmi les planétoïdes croisant l'orbite de la Terre. Selon les estimations, un Near Earth Asteroids sur six dont le diamètre est supérieur à 200 mètres est double.

Les *astronomes* voient "double"



↑ L'objet double de Kuiper 1998 WW31, photographié par le télescope spatial Hubble en 2001 et 2002. (NASA-STScI)



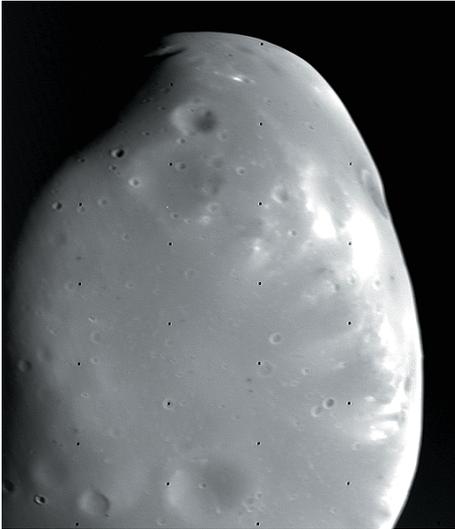
↑ L'astéroïde Calliope et son compagnon, photographiés par le télescope W. M. Keck II, le 29 août 2001.

D'autres indices avaient déjà laissé supposer que les planétoïdes doubles étaient un phénomène relativement répandu. De nombreux cratères sur la Lune et la Terre apparaissent par paire et ont le même âge. En outre, certains astéroïdes n'ont pas la même luminosité, ce qui suggère qu'un élément masque parfois l'autre. Les astéroïdes doubles sont peut-être nés lors de *close encounters* (rencontres rapprochées) avec la Terre, Mercure, Vénus ou Mars au cours desquelles ils ont perdu des morceaux.

2000 DP107 est le premier NEA double connu. Il a été détecté en septembre 2000,

en Californie, grâce au télescope de 70 mètres *Goldstone* de la NASA. Il a ensuite également été observé depuis le célèbre *Arecibo Observatory* à Puerto Rico. À l'image de ce qui se passe entre la Terre et le Soleil, c'est l'élément le plus petit qui tourne toujours la même face vers l'élément le plus grand. Depuis, plusieurs astéroïdes doubles ont été découverts. La découverte de planétoïdes doubles et leur probable grand nombre constituent une donnée importante. Les doubles impacts ont peut-être autrefois provoqué la disparition en masse d'espèces animales et végétales sur notre planète. Les astéroïdes doubles peuvent donner des indi-

Phobos et Deimos, les petits satellites de Mars : un duo surprenant



↑ Vues de Deimos prises par le vaisseau spatial américain Viking 2 (1977). Viking 2 se trouvait à 500 kilomètres à peine du petit satellite martien.(NASA)

Il est probable que dans notre système solaire, de nombreux satellites de planètes soient des débris d'anciens astéroïdes. C'est peut-être le cas des deux petits satellites de Mars, *Phobos et Deimos*, découverts en 1877, même si le débat n'est pas clos à ce sujet.

D'après les théories conventionnelles sur la naissance des petits satellites martiens, ils sont soit une violation des lois de la gravitation.

Une nouvelle théorie affirme que le duo serait né de l'éclatement d'un grand satellite tournant autrefois autour de la Planète rouge. Ce satellite aurait été capté par Mars au moment ou peu de temps après la naissance de la planète. Dans cette hypothèse, la composition de Phobos et de Deimos devrait être similaire et ce n'est pas confirmé.

Nombreux sont les chercheurs qui considèrent que les petits satellites martiens pourraient être une destination intéressante pour de futures missions spatiales habitées vers Mars.

Certains scénarios retiennent Deimos, comme point de départ idéal, une sorte de port spatial, pour l'exploration de Mars. En moyenne, Phobos survole la surface de Mars toutes les 7 heures et 39 minutes à une altitude de 5989 kilomètres et ses dimensions sont de 27 x 22 x 18 kilomètres. Il devrait s'écraser sur Mars dans 50 millions d'années ou être disloqué

sous l'effet de la force gravitationnelle de Mars et peut-être former un anneau autour de la planète. Il présente un grand cratère de 10 kilomètres, appelé *Stickney* et est recouvert d'une épaisse couche de poussière. Ce constat surprend les chercheurs qui se demandent comment un corps céleste presque totalement dépourvu de pesanteur est capable de retenir cette matière. Deimos mesure 15 x 12 x 11 kilomètres et se situe en moyenne à 20.062 kilomètres de Mars. Il effectue une révolution autour de la planète en 30 heures et 18 minutes. Plusieurs sondes spatiales ont déjà photographié Phobos et Deimos de près. La sonde européenne *Mars Express*, lancée le 2 juin 2003 doit survoler Phobos plusieurs centaines de fois à moins de 3000 kilomètres. Une carte complète de Phobos pourra ainsi être établie pour la première fois.

cations sur leurs propriétés physiques. Si un astéroïde est composé de deux éléments, il est possible d'en déterminer la masse. La masse et les dimensions, permettent de calculer la densité, qui, à son tour, livre des informations sur la composition et la structure. Des objets 'doubles' ont déjà été observés dans la ceinture de Kuiper. Par exemple, le duo 1998 WW31 tourne autour du Soleil en 301 ans. A titre de comparaison : *Pluton*, la planète la plus éloignée et qui constitue avec son satellite *Charon* un objet double met 248 ans pour effectuer une révolution autour du Soleil. 1998WW31 a notamment été observé par le *Hubble Space Telescope* en

orbite autour de la Terre. Ses éléments tournent autour d'eux-mêmes en 570 jours sur une orbite très étirée. On ignore comment le couple s'est formé. Soit, ils sont nés en couple, soit ils sont le produit d'un objet plus grand, brisé en deux. Il est possible, mais sans aucune certitude que l'un des objets ait un diamètre de 100 à 120 kilomètres et l'autre de 120 à 150 kilomètres. La découverte du premier objet double dans la ceinture de Kuiper a été annoncée le 16 avril 2001. Depuis lors, d'autres objets doubles ont été trouvés dans la ceinture de Kuiper, grâce surtout au télescope spatial Hubble.

Dossier Les petits habitants de notre système solaire

3. Les comètes demeurent encore largement "terra incognita"

Témoins venus des régions extérieures du système solaire

Les comètes aussi sont des vestiges de l'époque où le système solaire vit le jour, il y a 4,6 milliards d'années et où les planètes prirent forme. Elles sont dès lors les témoins des phénomènes chimiques et physiques de l'époque. Elles ont peut-être acheminé sur Terre une partie de l'eau de nos océans, une série de gaz présents dans l'atmosphère et peut-être même les molécules dont nous sommes issus. Les comètes doivent encore faire l'objet d'une étude approfondie pour pouvoir corroborer ces diverses hypothèses.

En novembre 1997, Fred Whipple, auteur de la théorie de la *boule de neige sale* concernant les comètes, écrivait à propos du projet américain *Stardust* : *Longtemps les comètes sont restées inviolées et inexplorées. Nous savons désormais qu'elles sont sombres et glacées et qu'elles sont composées de glace et de poussière, provenant du nuage interstellaire dont est issu le système solaire. Mais nous ignorons encore pratiquement tout de leur composition et elles demeurent encore terra incognita. Certains astronomes prétendent que la densité de certaines comètes pourrait être inférieure à la moitié de celle de l'eau. Le matériau dont elles sont composées pourrait être pulvérisé entre nos mains. Des incertitudes subsistent quant aux quantités de glace et de poussière qu'elles contiennent. J'espère que les comètes deviendront terra cognita et qu'elles révéleront leur structure et leur composition !*

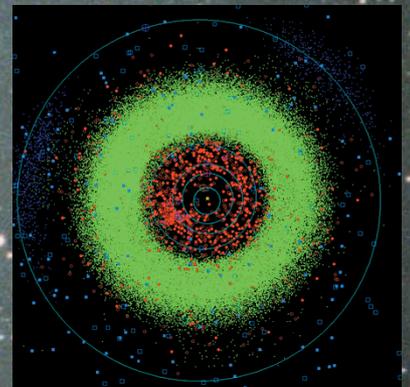
Contrairement aux planétoïdes, les comètes sont connues depuis l'antiquité. Elles sont parfois visibles dans le ciel à l'œil nu. Elles apparaissent soudainement, se déplacent quelque temps dans le ciel pour disparaître à nouveau. Nos ancêtres les assimilaient à de mauvais présages. Peu de temps après l'apparition d'une *étoile chevelue*, l'une ou l'autre catastrophe survenait - peste, guerre, inondation, incendie. Très longtemps, on a pensé que les comètes étaient un phénomène *sublunaire*. Une énorme comète est apparue dans le ciel en 1577 et partout en Europe, des observateurs ont noté les évolutions de sa position. *Tycho Brahe* (1544-1601) estimait que la comète devait au moins être quatre fois plus éloignée de la Terre que la Lune. Même si tous ne partageaient pas son avis, l'idée selon laquelle les comètes étaient des corps célestes et non pas des phénomènes météorologiques, commença à dominer dans les cercles d'érudits.



↑ *Isti mirant stella*. L'apparition de la comète de Halley en 1066, représentée sur la célèbre tapisserie de Bayeux.

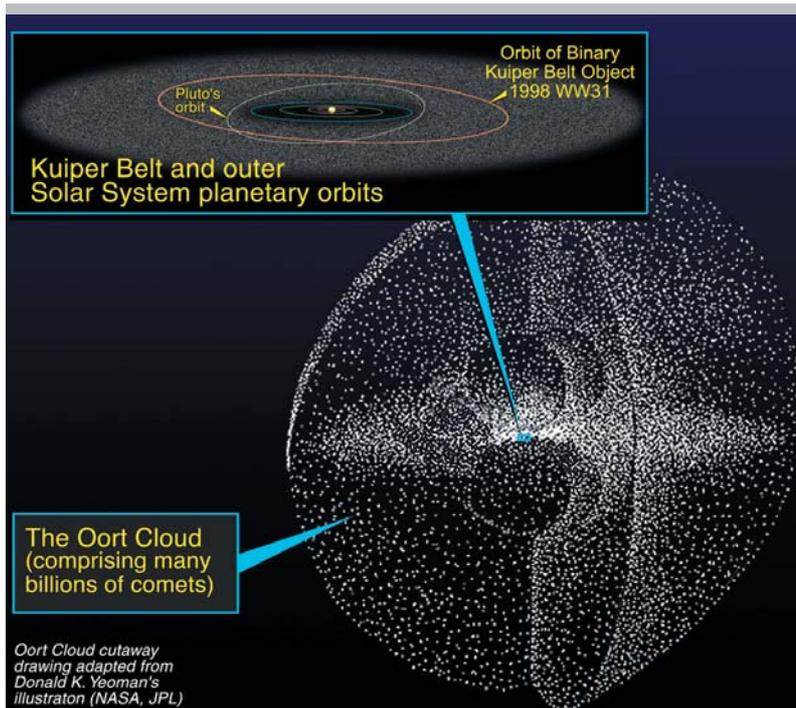
De nombreuses questions subsistaient néanmoins. Quel était l'itinéraire des comètes ? De quelle nature étaient-elles ? Au 17ème siècle, les spéculations allèrent bon train. En 1623, *Galilée* (1564-1642) affirmait que les comètes étaient un phénomène optique. *René Descartes* (1596-1650) pensait que les comètes étaient des astres transitant entre un système solaire et l'autre. Dans *Principia* (1687), *Isaac Newton* (1642-1727) s'appuie sur sa nouvelle théorie de la gravitation pour démontrer que la comète de 1680 gravitait sur une orbite elliptique autour du Soleil.

↓ Le système solaire est assez agité. Le MPC surveille astéroïdes et comètes. Sur le dessin, le soleil est au centre, les cercles bleu clair représentent les orbites des planètes Mercure, Vénus, la Terre, Mars et Jupiter. En vert, les astéroïdes de la ceinture principale entre Mars et Jupiter, les traits bleus représentent les Troyens et les rouges les NEO. Les petits carrés bleus sont des comètes. (MPC)



Le Minor Planet Center

Le *Minor Planet Center (MPC)* travaille sous les auspices de l'*International Astronomical Union (IAU)*. Sa principale mission consiste à rassembler, calculer, assurer le suivi et la diffusion des observations astrométriques et des données orbitales des *astéroïdes* et *comètes*. Le MPC a été créé en 1947 à l'Université de Cincinnati. En 1978, le MPC a trouvé un nouveau foyer au *Smithsonian Astrophysical Observatory (SAO)* à Cambridge (Massachusetts), à un kilomètre et demi à peine du cœur du campus de la Harvard University. Chaque mois, le MPC publie les *Minor Planet Circulars* sur internet, reprenant les observations de comètes et de planétoïdes et annonçant les nouveaux numéros et noms d'astéroïdes. Le cas échéant, les *Minor Planet Electronic Circulars* sont publiées et contiennent des informations relatives aux nouvelles découvertes d'astéroïdes, aux objets se rapprochant de la Terre ou concernant les astéroïdes passant au large de Neptune. Lors d'une journée chargée, le MPC traite plus de 70.000 observations. Pour certains astéroïdes, les observations doivent être poursuivies pendant des années pour pouvoir déterminer leur orbite avec précision. Ce n'est qu'à ce moment qu'ils reçoivent un numéro officiel.



← Représentation du nuage de Oort et de la ceinture de Kuiper. A l'instar de la ceinture de Kuiper, considérée comme la source des comètes à période courte, le nuage de Oort produit des comètes à période longue. (NASA)

L'astronome britannique *Edmond Halley* (1656-1742) remarqua que les comètes de 1531, 1607 et 1682 étaient les mêmes et que par conséquent, il s'agissait probablement du même astre. Halley annonçait le retour de "sa" comète pour 1758. Elle était au rendez-vous, mais il ne vécut pas l'événement. La comète de *Halley* est mentionnée dans des écrits chinois de 240 avant Jésus-Christ et est représentée sur la fameuse tapisserie de Bayeux décrivant la bataille de Normandie de 1066.

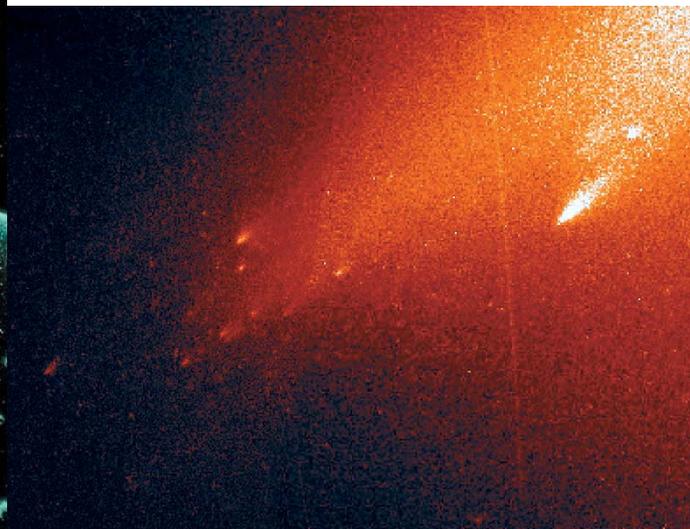
Jusqu'au début du 19^e siècle, la curiosité portait principalement sur l'orbite des comètes. Certaines semblaient se déplacer sur des orbites presque paraboliques, d'autres demeuraient dans les régions intérieures du système solaire et atteignaient tout au plus l'orbite de Jupiter. L'attention s'est ensuite portée sur la nature physique de ces astres. Au milieu du vingtième siècle émergea l'image des comètes, astres très anciens du système solaire. En 1950, *Fred Whipple* (°1906) présentait les comètes comme des boules de neige sale.

↓ Une splendide image du télescope spatial Hubble datant de 2000, montre que le noyau de la comète LINEAR n'est rien d'autre qu'une pluie de mini comètes, dont la taille ne dépasse pas quelques dizaines de mètres. La comète s'est disloquée vers le 26 juillet 2000. (NASA-STScI)

Présence d'eau dans un autre système solaire

Une ceinture de peut-être des centaines de milliards de comètes est probablement à l'origine des grandes quantités de *vapeur* observées autour de la vieille étoile *CW Leonis*. La vapeur provient de l'évaporation de la glace présente à la surface des comètes entourant l'astre et a été détectée grâce à un spectromètre embarqué à bord du satellite de la NASA *SWAS (Submillimeter Wave Astronomy Satellite)*. La découverte, pour la première fois, d'eau dans un éventuel autre système solaire, vient étayer l'idée selon laquelle des formes de vie peuvent exister en dehors de notre propre système solaire. De l'eau avait déjà été détectée ailleurs dans l'univers, mais pas autour d'une étoile. Le système de *CW Leonis* nous fournira peut-être un aperçu de ce qui attend notre système solaire, puisque dans environ cinq milliards d'années, tout comme *CW Leonis*, notre Soleil se transformera en une étoile géante.

↑ Des océans existent peut-être dans les mondes entourant d'autres étoiles. L'étoile *CW Leonis* est peut-être entourée d'un nuage de comètes comme la ceinture de Kuiper dans notre propre système solaire dont l'eau sous forme de glace s'évapore. (NASA)



A peu près à la même époque, *Jan Hendrik Oort* (1900-1992) pensait qu'aux confins du système solaire, 50.000 à 100.000 fois plus loin du Soleil que la Terre, devait se trouver un "réservoir" de comètes, le *Nuage de Oort*. Les corps célestes contenus dans ce réservoir sont tellement éloignés du Soleil, que le simple passage d'une étoile suffit pour perturber leur orbite. De temps à autre, l'une de ces lointaines comètes reçoit un "coup" qui la pousse vers l'intérieur du système solaire. Certaines s'écrasent sur le Soleil, d'autres effectuent une révolution unique autour du Soleil et ne reviennent jamais. Les comètes restantes poursuivent leur ronde autour du Soleil à un rythme variant entre 20 et un million d'années, en fonction de leur nouvelle orbite. Le Nuage de Oort est considéré comme la source de comètes à période longue (dont la révolution dépasse 200 ans) et de quelques comètes à période courte (dont la révolution est inférieure à 200 ans).

Les estimations évaluent le nombre de ces comètes à près d'un trillion. Mais pourquoi

aussi peu d'entre elles sont-elles visibles ? Une explication avancée veut que les comètes, une fois leurs gaz volatils épuisés, se transforment en astéroïdes. Mais dans ce cas, le nombre d'astéroïdes découverts n'est pas assez élevé. Une nouvelle étude suggère que 99% des comètes se brisent, comme ce fut par exemple le cas de la comète *LINEAR* en 2000. Les comètes apparaissant dans la ceinture de Kuiper plus proche, se disloqueraient moins fréquemment. Leur composition diffère peut-être de celles issues du Nuage de Oort.

La sonde spatiale *ICE*, qui étudia la comète *Giacobini-Zinner* en 1985, mais surtout l'armada européenne-japonaise-russe de sondes spatiales envoyées vers la comète de Halley en 1986 ont livré les premières observations *in situ*. Elles ont ouvert de nouveaux horizons, tout en soulevant de nouvelles interrogations. Le modèle de la *boule de neige sale* de Whipple décrivait relativement fidèlement les comètes. Elles sont composées d'un mélange de glace et de poussière, provenant de la naissance du système solaire.



↑ Cette photo appartient à l'histoire de l'astronautique: le noyau de la célèbre comète de Halley, photographié le 14 mars 1986 par la sonde spatiale européenne Giotto. (ESA)

Météoroïdes, météorites et *météores*

Outre le Soleil, les planètes, les satellites, les comètes et les planétoïdes, notre système solaire est encore peuplé d'autres petits habitants : *météoroïdes* et *particules de matière*. La majorité des météoroïdes sont extrêmement petits et sont probablement issus de collisions entre astéroïdes, mais le débat est loin d'être terminé en la matière. La frontière entre météoroïde et astéroïde est relativement floue. Quand un petit astéroïde devient-il un météoroïde ou quand un grand météoroïde devient-il un astéroïde ? Certains météoroïdes sont en tout cas suffisamment grands pour atteindre la surface de la Terre lorsqu'ils débarquent dans notre atmosphère. Les débris retrouvés s'appellent des *météorites*. Ils sont regroupés en trois catégories, en fonction de leur composition : *météorites rocheux*, *météorites de glace* et *météorites fossiles*. Il est possible de déterminer l'origine de la plupart des météorites. La composition très spéciale de certains permet d'affirmer, sans trop de risque de se tromper, qu'ils ont un jour fait partie de l'astéroïde *Vesta*.

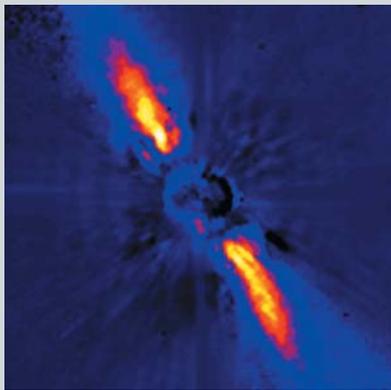
Un *météore*, *étoile filante* dans le langage populaire (même si le phénomène n'a rien à voir avec les étoiles) apparaît lorsqu'une minuscule particule de matière plonge dans l'atmosphère en laissant derrière elle une traînée lumineuse. D'après les estimations, chaque jour près de 25 millions de météores visibles à l'œil nu pénètrent dans l'atmosphère. Lorsque la Terre traverse l'orbite d'une comète, nous observons parfois une abondante *pluie de météores*, provenant de particules de matière qui se sont détachées d'une comète. Certaines pluies de météores reviennent chaque année à peu près à la même période. Les *Perséides* vers le 11 août sont les plus célèbres d'entre elles. A ce moment, la Terre traverse l'orbite de la comète *Swift-Tuttle*.



↑ Ce météoroïde provient de l'astéroïde *Vesta*. (NEMS)

↓ Le disque de matière entourant Beta Pictoris livre des indices sur un système de planètes autour de l'étoile. (ESO)

Comètes entourant d'autres *étoiles*



En 2001, des chercheurs ont annoncé qu'ils détenaient des preuves de la "naissance" récente de millions de comètes autour de la très jeune étoile proche *Beta Pictoris*, située à 60 années-lumière de la Terre. Auparavant, ils avaient déjà repéré des indices de la naissance de planètes autour de *Beta Pictoris*. L'étude a été réalisée par une équipe internationale d'astronomes sur la base d'observations du satellite *Far Ultraviolet Spectroscopic Explorer (FUSE)* de la NASA.

Les *comètes* évoluent ?

Un récent rapport semble indiquer que les comètes ne sont pas uniquement les témoins primitifs et inviolés de la naissance du système solaire. Selon *Alan Stern* du *Southwest Research Institute* de Boulder, Colorado aux Etats-Unis, les comètes subissent une série de modifications, certes modestes, mais néanmoins importantes. Les étoiles qui les survolent, la poussière interstellaire et même les explosions d'étoiles éloignées modifieraient la surface d'une comète et sa structure interne jusqu'à une profondeur de 20 mètres. Cela fait environ trente ans que l'idée de l'évolution des comètes a fleuri, mais, grâce aux progrès de nos connaissances à propos de ces astres, cette théorie trouve un écho de plus en plus large.

Astéroïdes ressemblant à des comètes et *comètes* ressemblant à des astéroïdes

La frontière entre *comète* et *astéroïde* n'est pas toujours facile à établir et elle ne cesse de s'estomper au fur et à mesure des progrès de nos connaissances. La comète *Shoemaker-Levy 9* qui heurta Jupiter a peut-être été jadis un astéroïde. Même si comètes et astéroïdes ont des origines différentes, ils présentent pour le reste des similitudes, comme leur pouvoir réfléchissant et leurs dimensions.

La chevelure est l'élément caractéristique de la comète, mais beaucoup en sont dépourvues. De plus, certains astéroïdes se comportent comme des comètes. Même l'orbite n'est pas une référence. Autrefois, comètes et orbites elliptiques étaient régulièrement associées, mais il existe désormais des objets ressemblant à des astéroïdes (tel que *Pholus*) qui gravitent sur une orbite de ce type.

Chiron, découvert le 1^{er} novembre 1977 par *Charles Kowal*, est un astre particulièrement mystérieux. D'une part, à l'instar d'une comète, *Chiron* est entouré de gaz et de poussière, mais ses dimensions atteignant près de 200 kilomètres l'assimilent davantage à un astéroïde. De plus, cela ne ferait tout au plus que quelques millions d'années qu'il gravite sur son orbite actuelle fortement elliptique - en gros entre les planètes Saturne et Uranus. Des petits frères de *Chiron* ont été détectés depuis. On les appelle *Centaures*, du nom de ces êtres mi-homme, mi-cheval de la mythologie grecque. Les *Centaures* sont peut-être des objets "échappés" de la ceinture de Kuiper.

Certains astéroïdes sont probablement des comètes "éteintes". L'astéroïde *Phaethon* par exemple était peut-être jadis une comète. Il est à l'origine des pluies de météores des *Géminides*. Cela semble bizarre pour un astéroïde. Quant à savoir précisément si *Phaethon* est une comète ou un astéroïde, il faudra attendre qu'une sonde spatiale vienne étudier de plus près cet astre très particulier.

Certains exemplaires ressemblent toutefois davantage à une boule glaciale de poussière plutôt qu'à une boule de neige sale. *Horst Uwe Keller* du *Max Planck Institut für Aeronomie* à Katlenburg-Lindau (Allemagne) déclare : "Nous nous sommes aperçus qu'une comète n'est pas véritablement une boule de neige sale, puisqu'elle contient plus de poussière que de glace. Plutôt que rond comme une boule de neige chaude, le noyau d'une comète est ovale. La structure interne d'une comète contient dès lors plus de poussière que de glace".

Lorsqu'elles se rapprochent du Soleil, les comètes deviennent actives et revêtent leur forme particulière d'*astre chevelu*. La comète en tant que telle est composée d'un *noyau* de matière solide, essentiellement de la glace et de la poussière. Elle échappe à

notre œil, dissimulée par un épais nuage d'eau, de dioxyde de carbone et d'autres gaz, baptisé *la chevelure* et par un *nuage d'hydrogène* particulièrement dense d'un diamètre de millions de kilomètres. La chevelure de la comète est typique. Elle peut atteindre 10 millions de kilomètres et est constituée de particules de poussière expulsées du noyau par les gaz. Dans le cas des comètes lumineuses, cette queue est parfaitement visible à l'œil nu. Il y a par ailleurs une *queue gazeuse* de plasma, longue de près de 100 millions de kilomètres. A chaque passage d'une comète à proximité du Soleil, une partie de la glace s'évapore. A la fin, il reste un objet ressemblant à un planétoïde. Un grand nombre des planétoïdes qui se rapprochent de la Terre appartiennent probablement à cette catégorie de comètes "mortes". Parfois les comètes dis-

paraissent de manière dramatique en percutant le Soleil, à l'image d'un kamikaze. La comète *Shoemaker-Levy 9* s'est ainsi écrasée sur la planète Jupiter en 1994. Cela donna des images spectaculaires.

Les comètes recèlent encore de nombreux secrets. D'après *Joseph Veverka*, directeur de la recherche pour le projet américain *Contour*, "Pour ce qui est des comètes, les théories sont plus nombreuses que les connaissances réelles." En survolant la comète

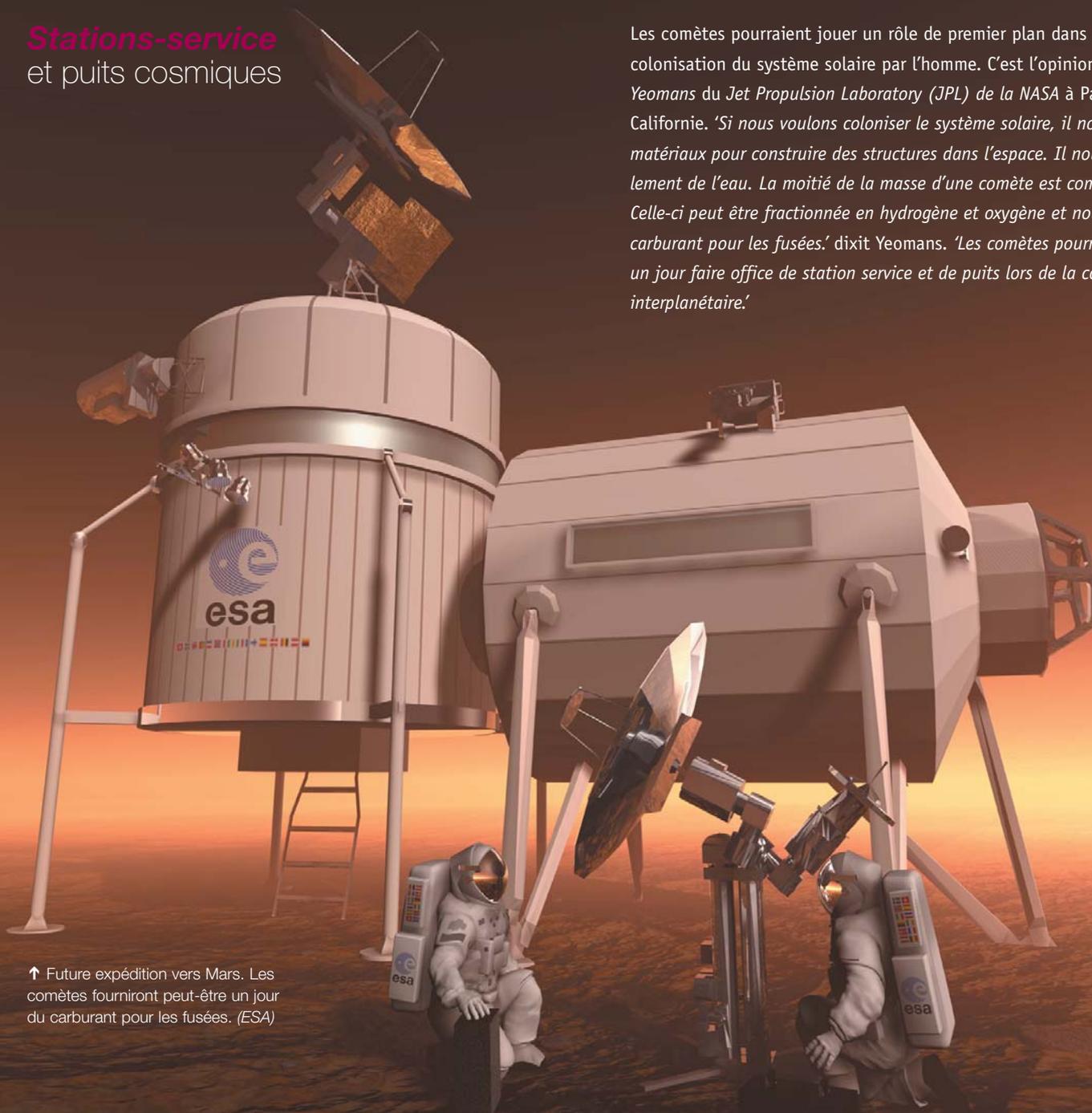
Borrelly, la sonde spatiale américaine *Deep Space 1* a démontré que la surface de cette comète était brûlante et aride. *Deep Space 1* n'a pas observé la moindre trace d'eau gelée sur la comète. *Laurence Soderblom* de la U.S. Geological Survey se déclare "surpris de ne pas avoir décelé de traces d'eau gelée à la surface. Nous savons que la glace existe, mais elle est dissimulée sous la surface."

L'étude de la comète *Borrelly* n'est que l'un des exemples des surprises que nous réserve probablement encore l'étude des comètes.

Stations-service et puits cosmiques

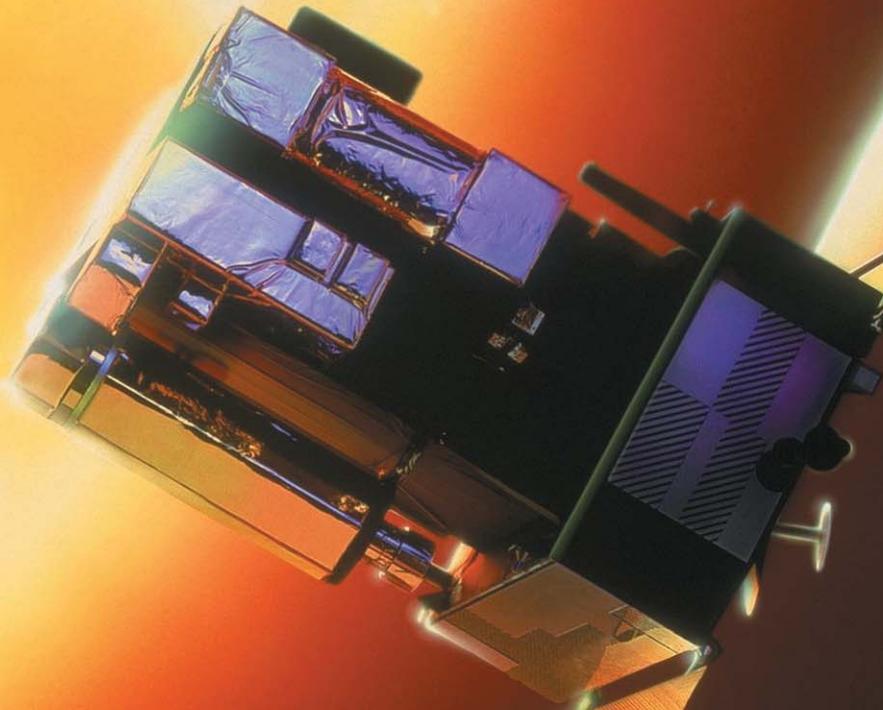
Les comètes pourraient jouer un rôle de premier plan dans la future colonisation du système solaire par l'homme. C'est l'opinion de *Donald Yeomans* du *Jet Propulsion Laboratory (JPL)* de la *NASA* à Pasadena en Californie. 'Si nous voulons coloniser le système solaire, il nous faut des matériaux pour construire des structures dans l'espace. Il nous faudra également de l'eau. La moitié de la masse d'une comète est composée d'eau. Celle-ci peut être fractionnée en hydrogène et oxygène et nous fournir du carburant pour les fusées.' dit *Yeomans*. 'Les comètes pourraient dès lors un jour faire office de station service et de puits lors de la colonisation interplanétaire.'

↑ Future expédition vers Mars. Les comètes fourniront peut-être un jour du carburant pour les fusées. (ESA)



Comètes **kamikazes** : comètes sungrazers et sunstrickers

Les comètes *sungrazers* sont des comètes qui viennent frôler le Soleil. Des satellites d'observation du Soleil comme *SOHO* (*Solar and Heliospheric Observatory*) ont déjà découvert des centaines de sungrazers. De temps en temps, ils observent une comète *sunstriker* lorsqu'elle s'écrase sur le Soleil. Parfois, les comètes éclatent avant l'impact. L'Allemand *Carl Heinrich Friedrich Kreutz* (1854-1907) avait noté que plusieurs comètes se rapprochant du Soleil avaient des éléments orbitaux similaires. Ce fameux groupe de sungrazers de *Kreutz* est probablement issu d'une gigantesque comète mère, peut-être la comète qui, d'après l'astronome grec *Ephorus* avait éclaté en deux morceaux en 372 avant Jésus-Christ, morceaux qui allaient poursuivre leur fragmentation. Cette comète mère atteignait peut-être 100 kilomètres, soit 10 à 20 fois plus qu'une comète ordinaire et faisant d'elle une géante parmi ses semblables. En 1965, la comète lumineuse *Ikeya-Seki* appartenait à cette même catégorie. La plupart des comètes de *Kreutz* ont été découvertes par *SOHO*.



↑ *SOHO* se trouve à 1,5 million de kilomètres de la Terre et observe le soleil en permanence. Le projet est une coopération entre l'ESA et la NASA, l'agence spatiale américaine. Le satellite a été construit en Europe. (ESA)