

43

Décembre 2003

SPACE CONNECTION



DOSSIER Les petits habitants
de notre système solaire

Sommaire



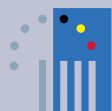
Dossier: Les petits habitants de notre système solaire

- 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**

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)

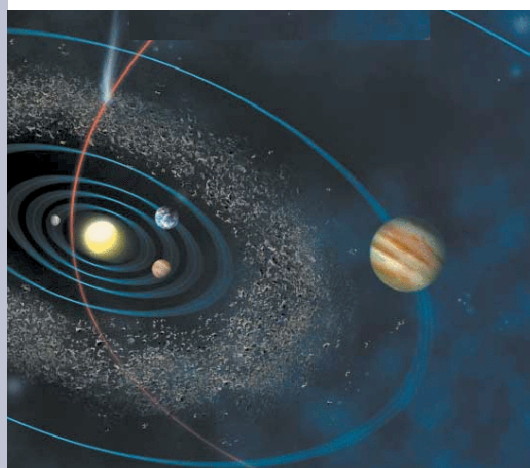
Numéro 43 - Décembre 2003

Introduction

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)



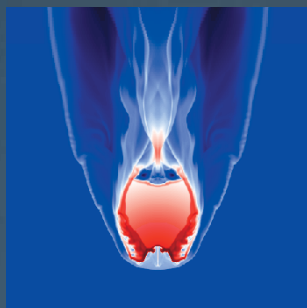
(NASA)

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...

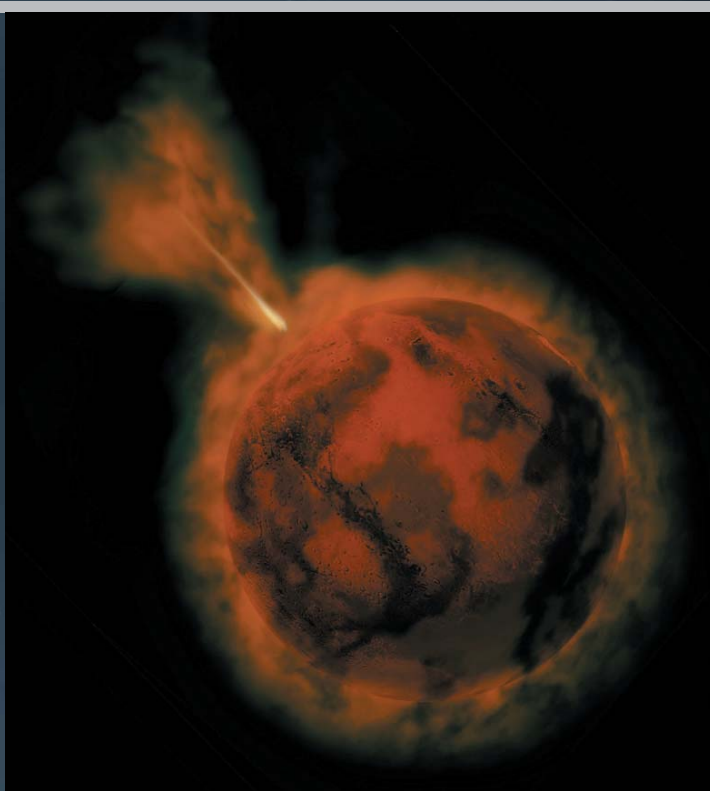
Le *système solaire* est né il y a 4,6 milliards d'années d'un *brouillard initial*, nuage de gaz et de matière interstellaires. C'est à partir de là que sont nés le Soleil et les planètes. La gravitation de la grande planète *Jupiter* a empêché les petites planètes coincées entre Mars et Jupiter de 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 Spoutnik 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.

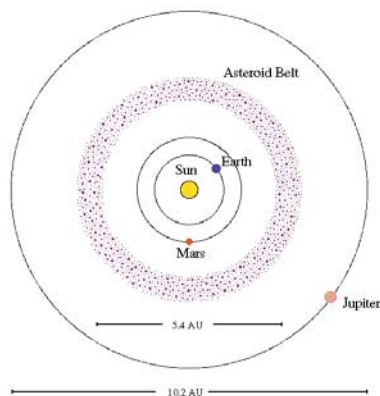
L'étude des comètes et des astéroïdes est en pleine effervescence. Presque chaque jour apporte son lot de nouvelles. Mais comme souvent dans le domaine des sciences, les réponses longtemps attendues soulèvent de nouvelles questions. Comme le dit *Colleen Hartman* du *Solar System Exploration Division* 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**



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

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.

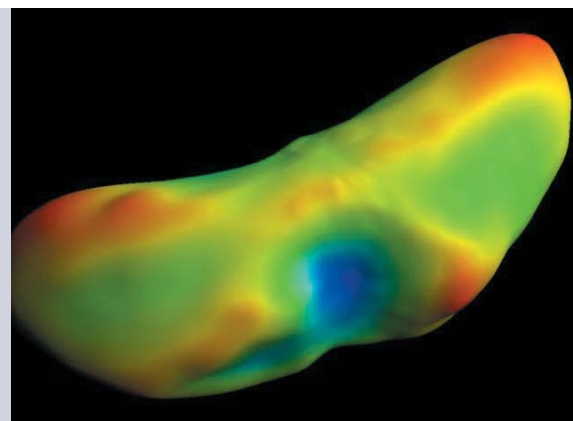
Mais le diamètre de *Cérès* n'atteignait pas 1000 kilomètres, trop petit pour être considéré comme une véritable planète. Après la découverte de *Cérès*, un groupe international d'astronomes se lança à la recherche d'autres "planètes hôtes" en orbite autour

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

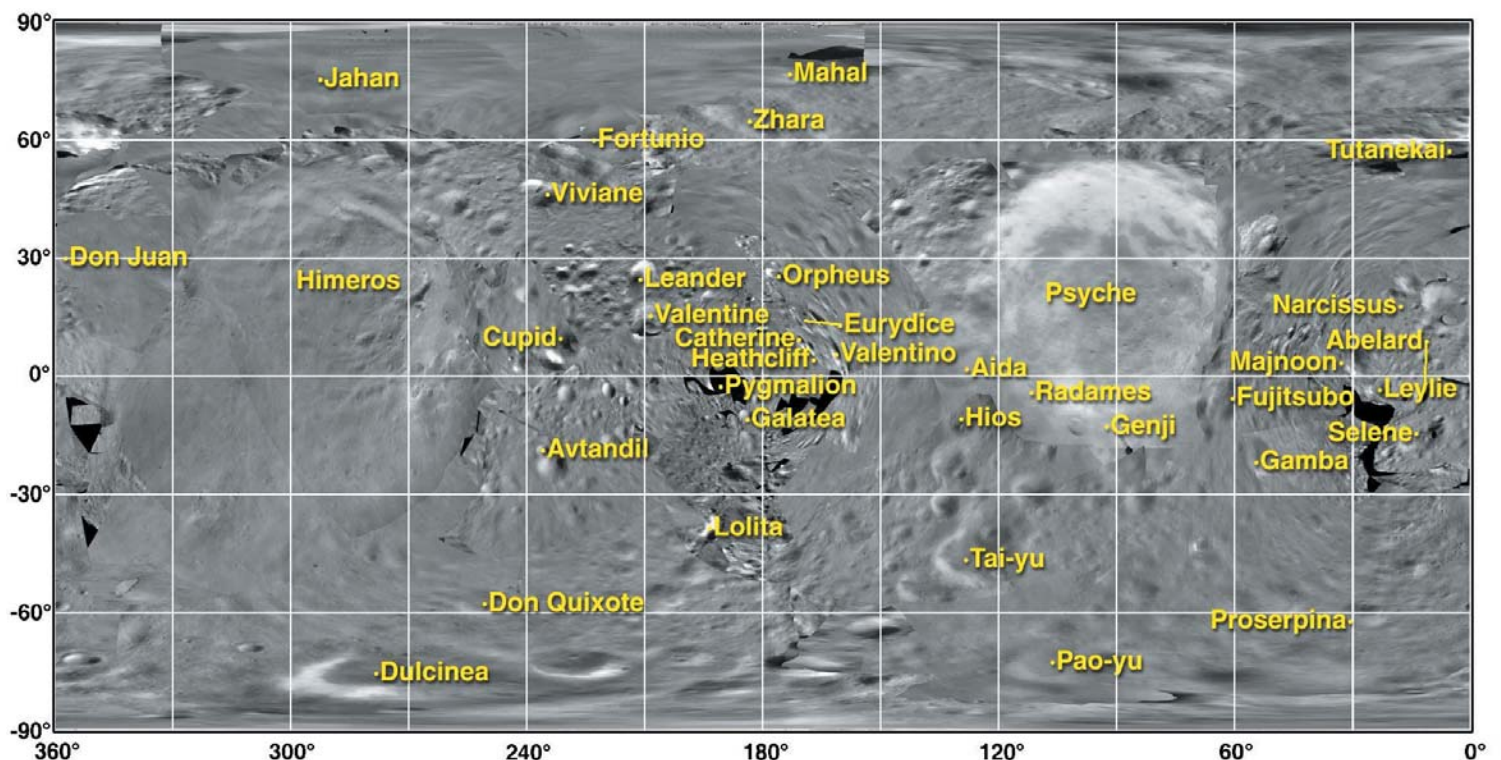
Le **double** d'astéroïdes ?

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 *géné* 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 *rase-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*

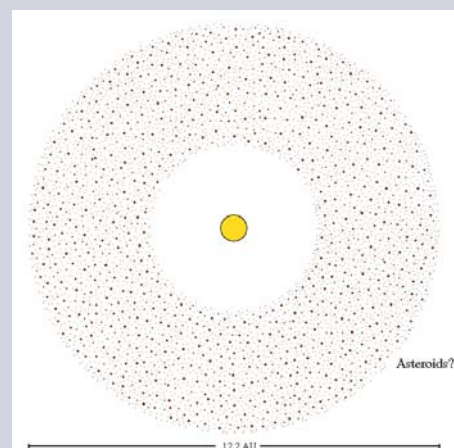
ou *Near Earth Comets* font également partie. Les NEA sont encore subdivisés en trois catégories, en fonction de leur orbite autour du Soleil. Les astéroïdes du type *Amor* croisent l'orbite de Mars, mais ne font qu'effleurer l'orbite de la Terre. L'astéroïde *Eros*, sur lequel a atterri la sonde américaine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

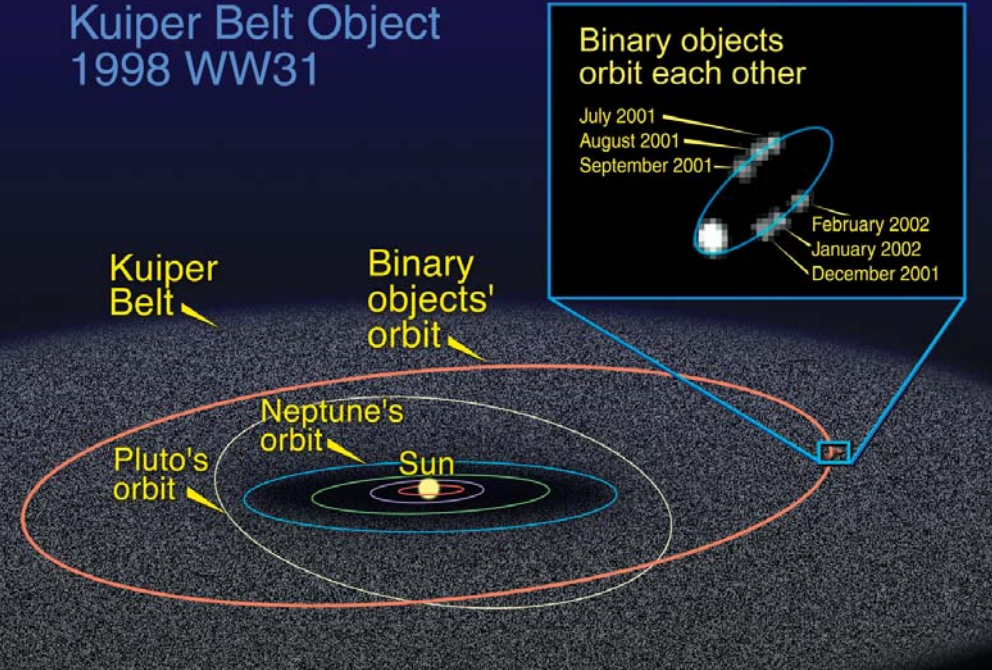
Astéroïdes autour d'autres étoiles

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)



Kuiper Belt Object 1998 WW31



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.

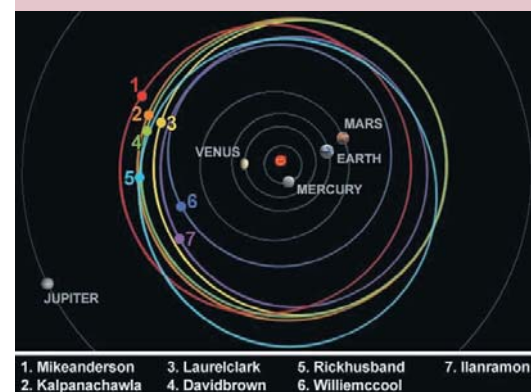
← Représentation de la ceinture de Kuiper et des orbites des planètes Neptune et Pluton ainsi que du double objet de Kuiper 1998 WW31. (NASA)

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)

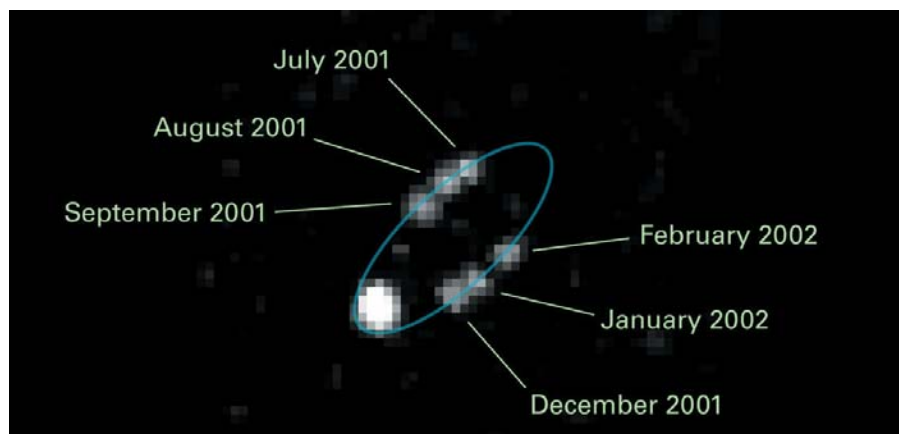
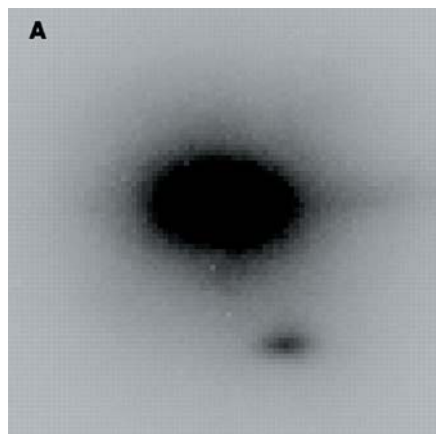


1. Mikeanderson 3. Laurelclark 5. Rickhusband 7. Ilanramon
2. Kalpanachawla 4. Davidbrown 6. Williemccool

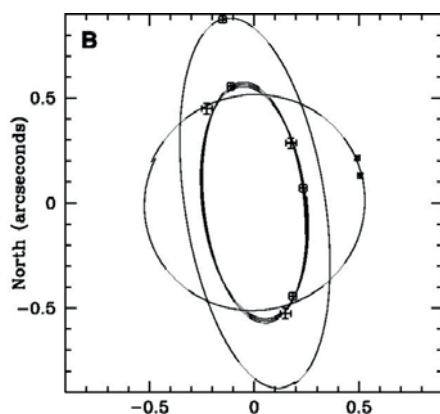
Dossier Les petits habitants de notre système solaire

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)



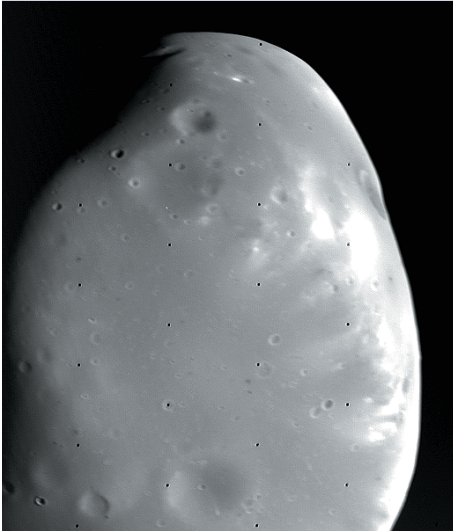
↑ L'astéroïde Calliope et son compagnon, photographiés par le télescope W. M. Keck II, le 29 août 2001.

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 !'*

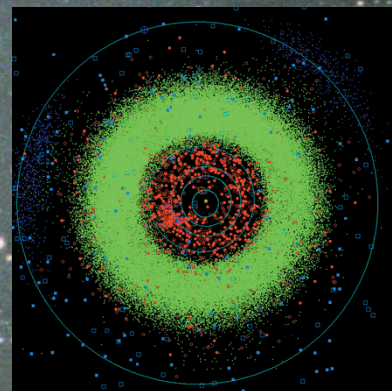
Contrairement aux planétoïdes, les comètes sont connues depuis l'antiquité. Elles sont parfois visibles dans le ciel à l'œil nu. Elles apparaissent soudainement, se déplacent quelque temps dans le ciel pour disparaître à nouveau. Nos ancêtres les assimilaient à de mauvais présages. Peu de temps après 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.

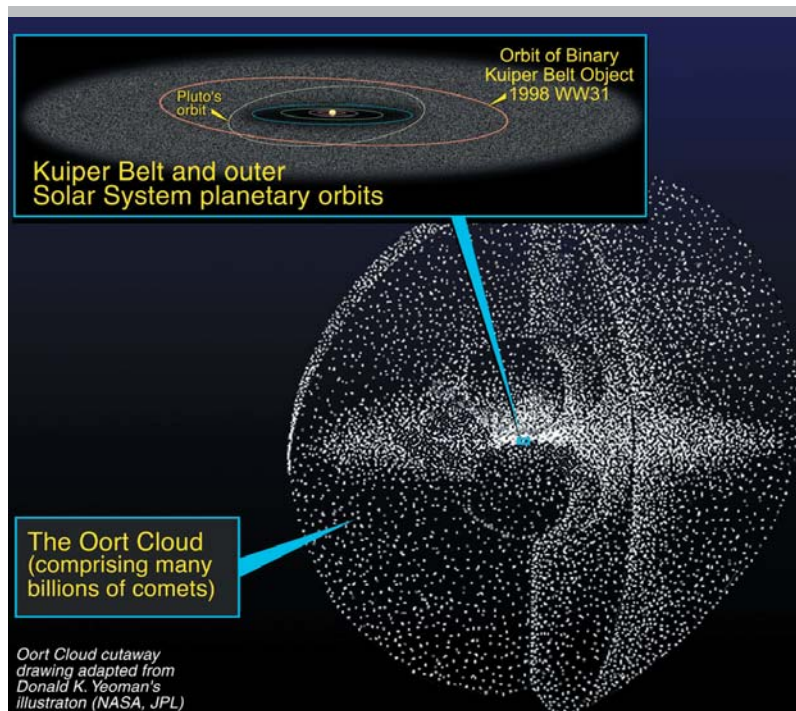
De nombreuses questions subsistaient néanmoins. Quel était l'itinéraire des comètes ? De quelle nature étaient-elles ? Au 17^{ème} siècle, les spéculations allèrent bon train. En 1623, *Galilée* (1564-1642) affirmait que les comètes étaient un phénomène optique. *René Descartes* (1596-1650) pensait que 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.

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 à 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.

↓ 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)

↑ 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*.

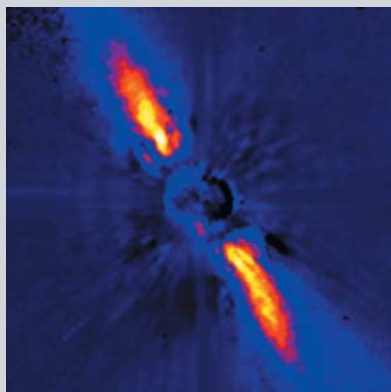
Un météore, *étoile filante* dans le langage populaire (même si le phénomène n'a rien à voir avec les étoiles) apparaît lorsqu'une minuscule particule de matière plonge dans l'atmosphère en laissant derrière elle une traînée lumineuse. D'après les estimations, chaque jour près de 25 millions de météores 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 météorite 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

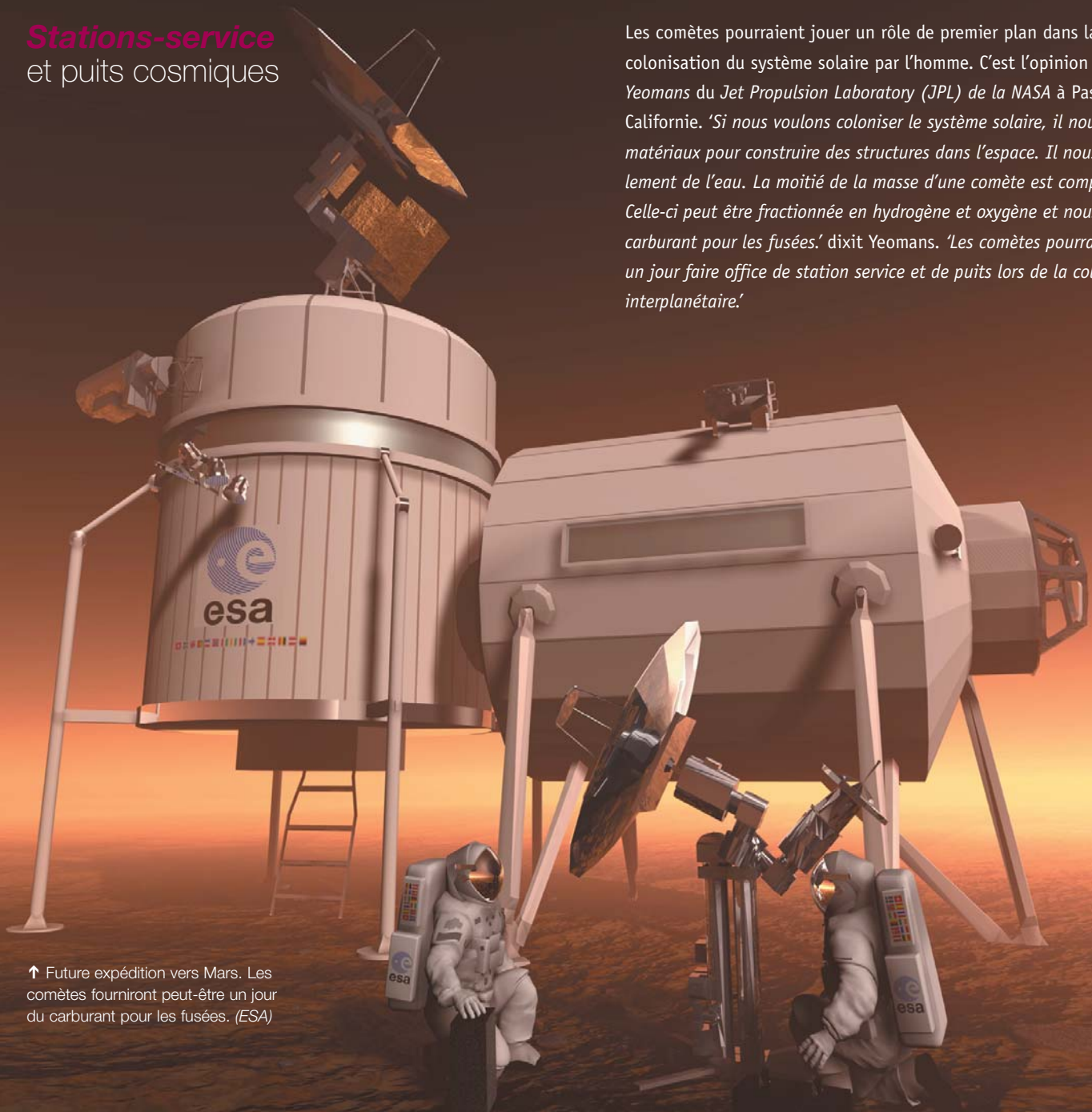
Borrelly, la sonde spatiale américaine *Deep Space 1* a démontré que la surface de cette comète était brûlante et aride. *Deep Space 1* n'a pas observé la moindre trace d'eau gelée sur la comète. *Laurence Soderblom* de la U.S. Geological Survey se déclare "surpris de ne pas avoir décelé de traces d'eau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

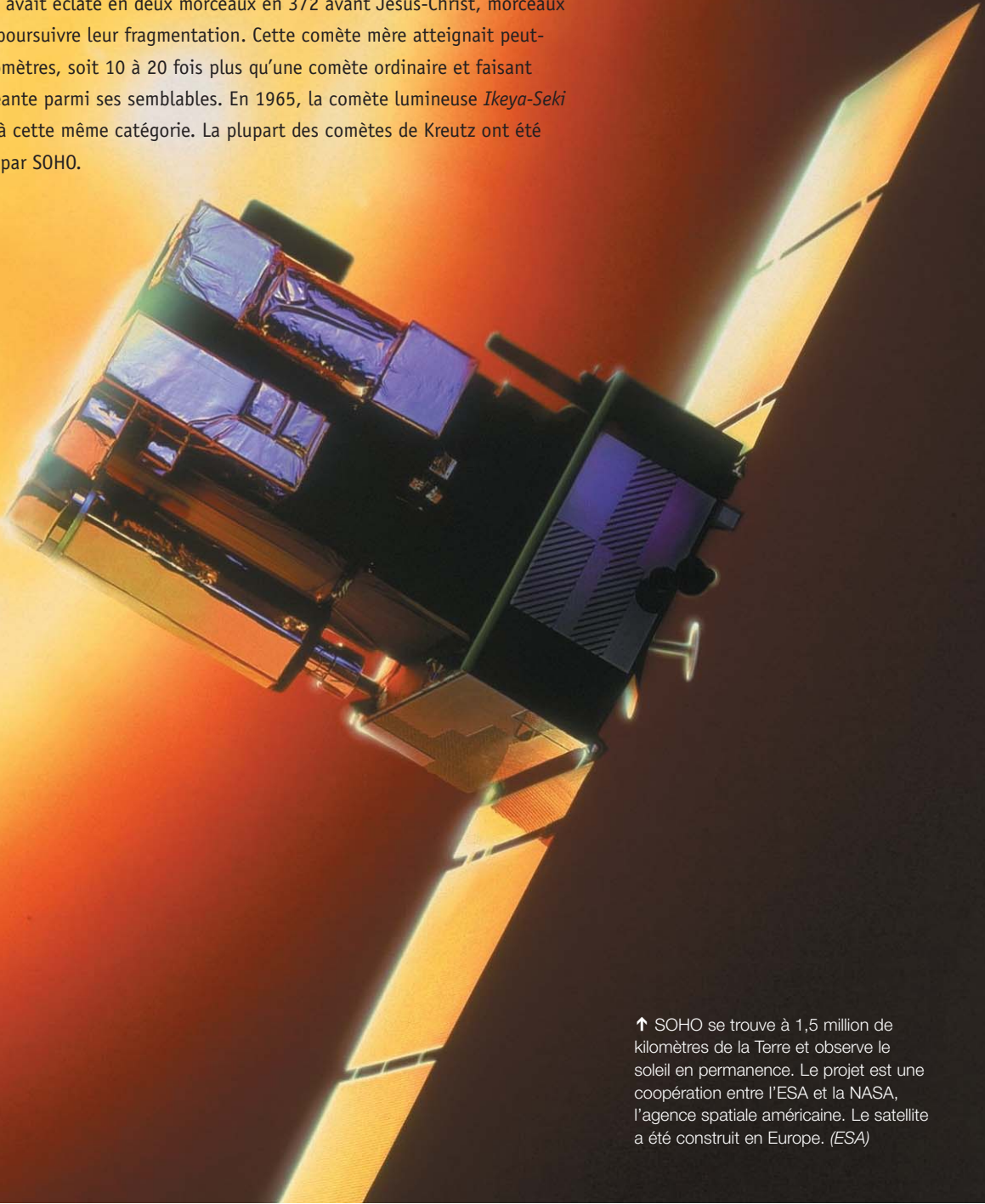
Les comètes pourraient jouer un rôle de premier plan dans la future colonisation du système solaire par l'homme. C'est l'opinion de *Donald Yeomans* du *Jet Propulsion Laboratory (JPL)* de la *NASA* à Pasadena en Californie. 'Si nous voulons coloniser le système solaire, il nous faut des matériaux pour 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 sunstrikers

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)

Dossier Les petits habitants de notre système solaire

4. Etudes *in situ*

Quoi de mieux qu'une étude de proximité pour en savoir plus sur un astre ? Toute une série de vaisseaux spatiaux ont ou vont bientôt étudier comètes et astéroïdes. Le chapitre suivant met l'accent sur le projet spécial Rosetta. Voici un aperçu des projets accomplis et des projets envisagés. L'année mentionnée entre parenthèses correspond à l'année du lancement.

Explorateurs cosmiques à la découverte de comètes et astéroïdes



↑ L'ICE a été la première sonde à étudier deux comètes. (NASA)

International Cometary Explorer (1978)

A l'origine, cet engin spatial de la NASA était connu sous le nom *International Sun-Earth Explorer 3 (ISEE 3)*. Il a été rebaptisé *ICE* après avoir rempli sa première mission d'étude des interactions entre la Terre et le Soleil. Il a traversé la chevelure de la comète Giacobini-Zinner le 11 septembre 1985. En mars 1986, à 28 millions de kilomètres de distance, il a observé la comète de Halley et est la première sonde à avoir étudié deux comètes. Elle s'est plus particulièrement attachée à l'étude de l'influence du vent solaire sur les comètes.

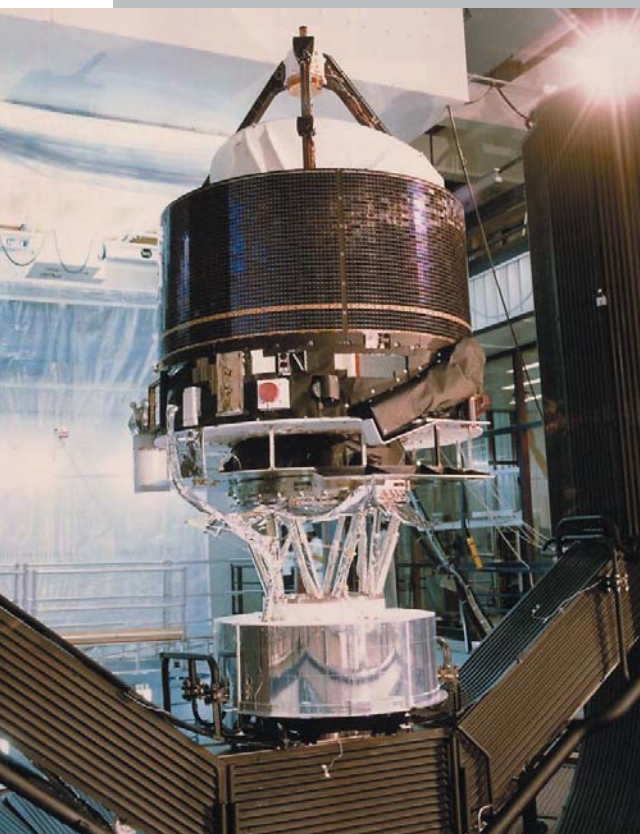
Vega 1 et Vega 2 (1984)

Ces deux sondes russes ont été lancées à destination de Vénus et de la comète de Halley (*Vega* est l'acronyme de *V*enus et *G*alley, le russe n'ayant pas la lettre 'h'), les 15 et 21 décembre 1984 depuis le cosmodrome de Baïkonour au Kazakhstan. Outre l'ancienne Union soviétique, d'autres pays et organisations ont participé à ce projet. Les 11 et 15 juin 1985, les sondes ont survolé la planète Vénus et ont largué des ballons et des atterrisseurs. Les 6 et 9 mars 1986, Vega 1 et 2 sont passées respectivement à 8890 et 8030 kilomètres de la comète de Halley. Elles l'ont photographiée et ont

réalisé 13 expériences scientifiques. Les observations de Vega 1 et 2 ont servi à guider la sonde européenne *Giotto* lors de sa rencontre rapprochée avec la comète de Halley.

Sakigake et Suisei (1985)

Ces deux sondes japonaises de l'*Institute of Space and Astronautical Science (ISAS)* ont décollé respectivement le 7 janvier 1985 et le 18 août 1985 du Kagoshima Space Center. Le 8 mars 1986, *Suisei* ('Comète') s'est rapprochée à 151.000 kilomètres de la comète de Halley et a effectué des clichés dans l'ultraviolet. A l'exception des équipements de bord, *Sakigake*



← Giotto durant la préparation d'un test chez Intespace à Toulouse, France. (ESA)



("Pionnier", initialement MS-T5) était une copie conforme de Suisi. Le 11 mars 1986, elle était située à moins de 7 millions de kilomètres de la comète de Halley et a notamment étudié le vent solaire et le champ magnétique interplanétaire. En 1998, les sondes auraient dû normalement étudier la comète Giacobini-Zinner, mais l'opération a échoué pour cause de panne sèche.

Giotto (1985)

La première sonde à scruter une comète de près était européenne. *Giotto* a été lancée le 2 juillet 1985, depuis le pas de tir européen de Kourou. La nuit du 13 au 14 mars 1986, *Giotto* a survolé la comète de Halley à moins de 600 kilomètres. Les photos prises révélaient avec des détails d'à peine 50 mètres, la présence d'un objet de la forme d'une pomme de terre et, du côté plus chaud, éclairé par le Soleil, des jets lumineux crachant des gaz et de la poussière

dans l'espace. Beaucoup pensaient que la mission de *Giotto* était ainsi terminée et qu'elle ne survivrait pas à son survol de la comète de Halley. Mais la sonde n'a que partiellement souffert de la pluie d'impacts de particules de matière. Elle a donc pu, le 10 juillet 1992 se présenter à un nouveau rendez-vous cosmique, cette fois avec la comète *Grigg-Skjellerup* au large de laquelle elle passa à 200 kilomètres seulement. Un bonus scientifique remarquable, offert par une sonde spatiale très spéciale.

Galileo (1989)

Galileo, la sonde américaine à destination de Jupiter a été lancée le 18 octobre 1989 et a atteint Jupiter le 7 décembre 1995. Placée en orbite autour de Jupiter, pendant près de huit ans, *Galileo* a effectué des clichés spectaculaires de la planète et de ses satellites. Le 29 octobre 1991, en route vers Jupiter, *Galileo* est passée au

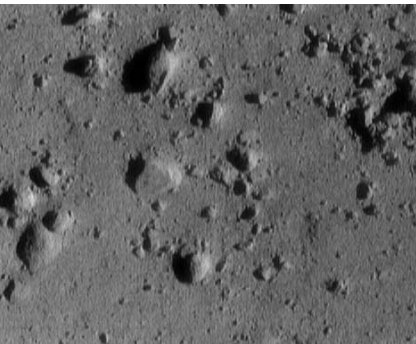
↗ Photo prise par *Galileo* en couleurs faussées de l'astéroïde 243 Ida à une distance de 10500 kilomètres. À droite, Dactyl, le petit satellite d'Ida. (NSSDC)

← L'hémisphère oriental (partie supérieure) et occidental d'Eros, photographiés par NEAR. Le cratère Psyche est particulièrement visible sur l'hémisphère occidental; son diamètre atteint environ cinq kilomètres. (NASA)

Gaia: coup d'œil sur une zone aveugle

Certains projets n'étudient pas les astéroïdes *in situ*, mais contribuent toutefois largement à enrichir nos connaissances sur ces astres. C'est le cas par exemple du projet *Gaia* de l'ESA. Beaucoup d'astéroïdes, vus de la Terre, quand ils se trouvent à proximité du Soleil sont pratiquement invisibles. *Gaia* va pouvoir sonder ces "zones aveugles" et observer les orbites des fameux astéroïdes *Aten*. *Gaia* devrait être lancée vers 2012. Même si d'ici là, les astéroïdes *Aten* deviennent plus faciles à observer depuis la Terre, les données livrées par *Gaia* seront 30 fois plus précises. Ceci est essentiel pour déterminer si un astéroïde constitue une menace pour la Terre.

↓ Eros, photographié par NEAR, à ... 250 mètres. La diagonale du cliché a 12 mètres. (NASA)



↓ C'est ainsi que NEAR s'est posé sur un astéroïde, depuis son orbite autour d'Eros. (NASA)



large de l'astéroïde *Gaspra* à une distance de 1600 kilomètres et a survolé l'astéroïde *Ida* le 28 août 1993, à 2400 kilomètres. C'était la première fois que des astéroïdes étaient photographiés de près. Galileo révéla que *Gaspra* présentait une forme irrégulière (19 x 12 x 11 kilomètres) et a pu observer l'astéroïde sous toutes les coutures. Rares étaient les grands cratères sur *Gaspra*. *Ida* a une même forme irrégulière (58 x 23 kilomètres). A la surprise générale, les photos d'*Ida* ont révélé la présence d'un petit satellite de 1,5 kilomètre à peine, baptisé *Dactyl* et gravitant à 100 kilomètres du centre d'*Ida*.

Near Earth Asteroid Rendezvous Shoemaker (1996)

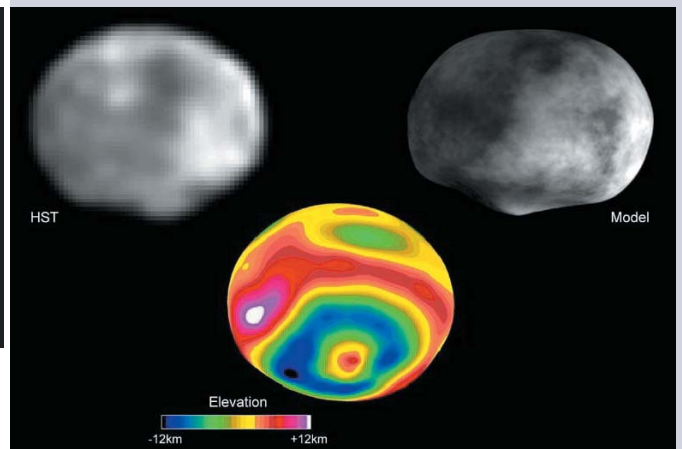
Le 12 février 2001, la sonde américaine *NEAR Shoemaker* (du nom de l'astronome *Eugene Shoemaker*) se posa en douceur sur l'astéroïde Eros. C'était d'autant plus remarquable que NEAR n'était pas prévue pour cela ! Durant deux semaines, la sonde a envoyé de précieuses informations sur Eros à la Terre. Auparavant, en orbite autour de l'astéroïde, NEAR avait déjà

longueuement étudié Eros pendant un an, une primeur. Elle a pris des milliers de clichés qui seront encore étudiés pendant des années. NEAR avait été lancée le 17 février 1996 et le 27 juin 1997, elle survola *Mathilde* (diamètre 61 kilomètres), astéroïde découvert en 1885. Elle poursuivit son chemin vers Eros où elle arriva en orbite en février 2000. Eros a 33 kilomètres de long et 13 de large et a été découvert en 1898. D'après les estimations, le corps céleste serait âgé de 4 milliards d'années et est probablement un vestige d'un plus grand astéroïde, pulvérisé après une collision avec un autre astéroïde. Mais encore une fois comme le dit *Andrew Cheng*, un scientifique du projet NEAR, 'certains mystères ont été éclaircis, mais d'autres sont apparus.'

Cassini (1997)

La sonde *Cassini* qui devrait atteindre la planète Saturne en juillet 2004, a été lancée le 15 octobre 1997. Elle emporte à son bord le module européen Huygens qui devrait atterrir en janvier 2005 sur Titan, satellite de Saturne. Le 23 janvier 2000, *Cassini* a survolé, de très loin, il est vrai (1,5 million de kilomètres),

Vesta : les météorites d'abord, l'astéroïde principal ensuite



↑ Clichés de Vesta (à gauche) pris par le Hubble Space Telescope (mai 1996). A partir de ces images un modèle informatique de Vesta a été réalisé (à droite), ainsi qu'une carte du relief (au centre). (STScI)

Vesta est l'astéroïde le plus lumineux du système solaire, parfois visible à l'œil nu. C'est le quatrième astéroïde découvert par *Heinrich Wilhelm Matthäus Olbers*, le 29 mars 1807. Il tourne autour du Soleil en 3,6 ans. Tout comme Cérès, l'intérêt de *Vesta* réside dans le fait que la plupart des autres astéroïdes sont les débris d'astéroïdes plus grands, détruits lors de gigantesques collisions.

Les astronomes disposent déjà de morceaux de *Vesta*. Ils sont tombés sur Terre sous la forme de météorites. Ils laissent supposer que *Vesta* est né à partir de poussière du brouillard solaire, dans les 5 à 15 millions d'années qui ont suivi la naissance du système solaire, il y a environ 4,6 milliards d'années. Cérès serait né à la même époque, mais aucun météorite en provenance de Cérès n'a été découvert jusqu'ici. Selon les scientifiques du projet *Dawn* "Une mission spatiale vers *Vesta* nous fournira une vue d'ensemble dans laquelle ces morceaux de la taille d'une main, viennent s'intégrer. C'est un peu comme si nous avions d'abord étudié les poils, les ongles et les os d'un animal, avant de l'étudier pour la première fois dans son ensemble."

le planétoïde *Masursky* mais a néanmoins réussi à livrer de nouvelles informations. Le planétoïde photographié par *Cassini* semblait avoir entre 15 et 20 kilomètres. Et même si les clichés de *Masursky*, découvert le 3 mai 1981, n'étaient pas aussi spectaculaires que ceux de *Gaspra* et *Ida*, réalisés par Galileo, ils semblaient indiquer que la composition de *Masursky* était différente de ce qui avait été annoncé.



- ↑ Préparatifs de lancement pour Deep Space 1. (NASA)
- En 2001, Deep Space 1 a survolé la comète Borrelly. (NASA)



Deep Space 1 (1998)

DS 1 a été lancée le 24 octobre 1998, avec pour mission de tester 12 nouvelles technologies de pointe dans l'espace, mises au point dans le cadre du programme de la NASA *New Millennium*. Le 28 juillet 1999, Deep Space 1 a survolé l'astéroïde *Braille* à 26 kilomètres seulement de sa surface. Elle a réussi à effectuer des mesures de la composition, des dimensions, de la luminosité et de la forme de *Braille*, ressemblant énormément à l'astéroïde *Vesta*. Le passage n'a malheureusement pas livré d'images spectaculaires, la sonde n'ayant pu réaliser que quelques clichés après son survol, à la suite d'un problème d'orientation.

Le 22 septembre 2001, à une distance de 2171 km, Deep Space 1 a survolé le noyau de la comète *Borrelly*, à la vitesse de 16,5 kilomètres par seconde. Les chercheurs étaient particulièrement satisfaits, car ce survol était en réalité un bonus scientifique, grâce auquel Deep Space 1 a fourni les meilleures images de la comète jamais réalisées. Le

passage de Deep Space 1 au large de la comète *Borrelly* a révélé que la comète présentait une surface chaude et aride. Deep Space 1 a été mise hors service le 18 décembre 2001.

Stardust (1999)

La sonde américaine *Stardust* a été lancée le 7 février 1999 et doit récolter et ramener sur Terre pour les étudier des particules de matière lors d'une rencontre rapprochée avec la comète *Wild 2*. Elle doit survoler la comète à moins de 150 kilomètres, le 2 janvier 2004. Elle prendra des photos, comptera les particules venant s'écraser sur la sonde et les analysera en temps réel. Elle traversera la chevelure de la comète et récoltera à cette occasion des particules de poussière qui seront ramenées sur Terre par une *Sample Return Capsule* spéciale en janvier 2006 au *Utah Test and Training Range* de l'armée de l'air américaine. Le 2 novembre 2002, *Stardust* est passée à 3300 kilomètres de l'astéroïde *Annefrank*. Elle a testé à cette occasion une série

de procédures qu'elle devra reproduire avec la comète *Wild 2*. *Annefrank* semble avoir environ huit kilomètres de longueur, le double des estimations.

Contour (2002)

C'est le 3 juillet 2002 que la sonde américaine *Contour* a été lancée, mais les contacts ont été interrompus le 15 août 2002. Plus aucun signal n'a été capté, après qu'elle ait dû quitter, à l'aide de son moteur, une orbite autour de la Terre. Des photos de la sonde prises depuis la Terre semblent indiquer que *Contour* a explosé.

C'est un terrible revers pour l'étude des comètes. *Contour* aurait dû étudier deux comètes très différentes, afin d'examiner le comportement de ces astres, lorsqu'ils se rapprochent du Soleil. En novembre 2003, après un voyage de 15 mois, elle aurait dû passer à 100 kilomètres de la comète *Encke* pour arriver en juin 2006, après un périple de deux ans et demi, sur la comète *Schwassmann-Wachmann 3*, une comète plus jeune et plus active.

- ↓ Photo reconstituée du noyau de la comète *Borrelly*, photographié par Deep Space 1 le 22 septembre 2001, à une distance de 4800 kilomètres et la chevelure de poussière et de gaz entourant le noyau. Les couleurs sont faussées pour mieux faire ressortir les détails. (NASA)



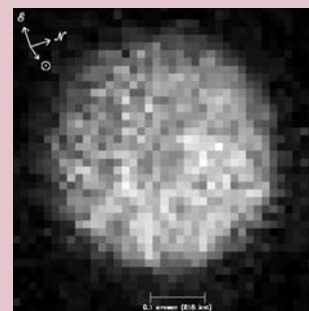
Cérès: il reste le premier découvert, mais n'est plus le plus grand

Pendant deux siècles, Cérès était connu comme le plus gros bloc de roche du système solaire. Mais ce premier astéroïde découvert, destination de la mission *Dawn*, a perdu son statut. En effet, depuis 2001, dans la ceinture de Kuiper, située aux confins du système solaire, plusieurs corps célestes plus grands que Cérès ont été découverts. *Quaoar*, objet de la ceinture de Kuiper, détecté en 2002 par exemple, à un milliard de kilomètres de Pluton, gravite autour du Soleil et a un diamètre de 1300 kilomètres. C'est le plus gros objet identifié dans notre système solaire depuis la découverte de Pluton en 1930.

Le diamètre de Cérès atteint environ 930 kilomètres. Il s'agit d'un astéroïde assez primitif. Il a peut-être - ce qui est exceptionnel pour un astéroïde - une atmosphère ténue et de la glace à la surface. Des observations infrarouges effectuées depuis la Terre révèlent que sa surface est chaude. La sonde spatiale américaine *Dawn* ira l'examiner

de près en 2014. Cérès a aussi été scruté par le Hubble Space Telescope. Les observations de Hubble montrent une grande tache à la surface de Cérès. Il s'agit peut-être d'un cratère creusé par l'impact d'un autre astéroïde. Ou alors, c'est simplement de la matière plus sombre à la surface.

Mark Sykes, un scientifique du projet *Dawn* déclare "En étudiant deux des plus grands astéroïdes ayant survécu, *Dawn* va examiner les conditions et les phénomènes régissant la naissance des planètes à l'aube de notre système solaire. Le diamètre de Cérès atteint plus d'un quart de celui de la Lune, est riche en eau et a conservé sa composition d'origine. Il est peut-être le siège de phénomènes hydrologiques particuliers entraînant la naissance de calottes glaciaires. De l'eau à l'état liquide circule peut-être sous la surface. De plus, contrairement aux autres petites planètes, Cérès a peut-être une atmosphère ténue."



↑ Voilà comment le télescope spatial Hubble a vu Cérès en 2001, sans trop de détails, mais suffisamment pour dévoiler une grande tache sombre d'un diamètre de 250 kilomètres (au centre de l'image). Il s'agit peut-être d'un cratère d'impact, mais sans certitude. (STScI)

Normalement, *Contour* devait achever sa mission en septembre 2006 et il avait même été envisagé de l'envoyer éventuellement vers d'autres comètes.

Hayabusa (2003)

Hayabusa (autrefois connue sous le nom *Muses C*) est une sonde de l'*Institute of Space and Astronautical Science (ISAS)* du Japon et a été lancée le 9 mai 2003 depuis la base de Kagoshima. La collecte d'échantillons du sol du planétoïde *1998 SF36* et leur rapatriement sur Terre pour analyse est le principal objectif scientifique de cette mission. Initialement, elle était destinée à l'astéroïde *Nereus*, mais les problèmes du lanceur M-V ont retardé son départ.

L'arrivée d'*Hayabusa*, équipée d'un moteur électrique à ions, près du planétoïde est prévue en juin 2005. Elle étudiera et établira tout d'abord une carte du planétoïde à 20 kilomètres de

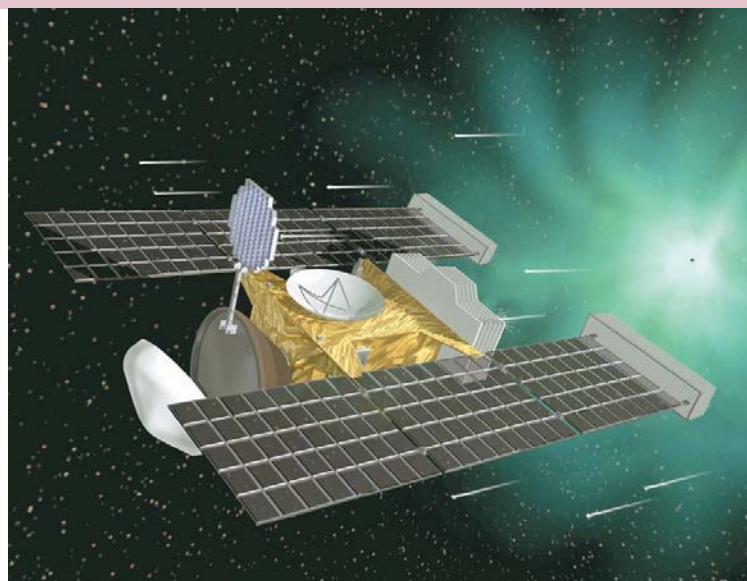
distance pendant environ trois mois. Ensuite, elle prélèvera des échantillons du sol à trois endroits. La masse totale des échantillons devrait atteindre à peu près un gramme - petite quantité, mais riche d'enseignements scientifiques - et ils seront placés dans une capsule d'une masse de 20 kilogrammes, 40 centimètres de diamètre et 25 cm de hauteur.

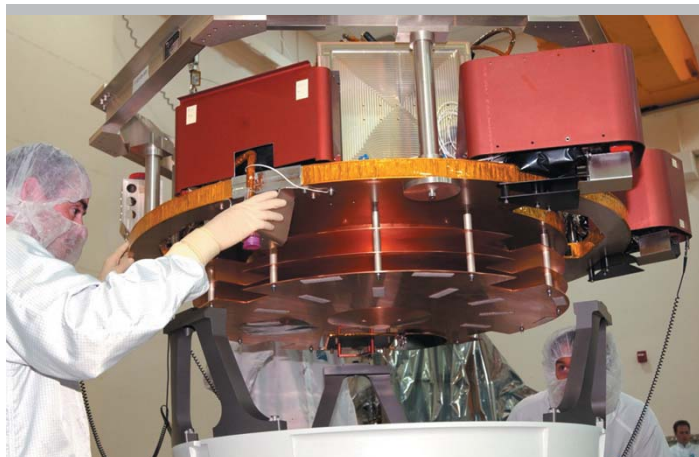
Muses C entamera son voyage de retour vers la Terre à la fin 2005. Entre 300.000 et 400.000 kilomètres de la Terre, la capsule de retour se décrochera de la sonde principale. Elle plongera dans l'atmosphère terrestre en juin 2007 et atterrira, munie d'un parachute près de Woomera en Australie.

Rosetta (2004)

Cf. description détaillée dans le chapitre suivant.

- *Stardust* rencontre la comète Wild 2 début 2004. (NASA)
- ➔ *Contour* aurait dû étudier deux comètes totalement différentes. (NASA)





↑ Assemblage de l'impacteur de Deep Impact. (NASA)

→ Un vieux rêve peut-être réalisé en 2015 : la sonde New Horizons a rendez-vous avec Pluton. (JHUAPL-SwRI)



Décembre 2003

Deep Impact (2004)

En décembre 2004, les Américains lanceront une sonde spatiale très spéciale à l'aide d'une fusée Delta II. Début juillet 2005, à 885.000 kilomètres de distance, *Deep Impact* propulsera un *impacteur* de 350 kilogrammes sur la comète *Tempel 1*. Le lendemain, ce dernier devrait s'écraser à plein régime sur la partie du noyau de la comète éclairée par le Soleil et y creuser un gigantesque cratère, peut-être de la taille de deux terrains de football et d'une profondeur de deux à quatorze étages. Nous devrions ainsi recevoir les premières images de ce qui se passe sous la surface d'une comète.

D'autres données devraient fournir des indications sur la naissance du système solaire et les conséquences de l'éventuel impact d'une comète sur la Terre. *Deep Impact* infligera à la comète *Tempel 1* une véritable gifle d'une énergie équivalant à 4,5 tonnes de TNT. Le tir doit être extrêmement précis : toucher à une distance de plusieurs millions de kilomètres une comète de moins de 5 km. L'im-

pacteur s'appuiera dès lors sur des techniques de navigation de haute précision, mises au point pour la mission *Deep Space 1* envoyée vers la comète *Borrelly*. Le système de contrôle maintiendra le cap de l'impacteur lors de sa chute.

New Horizons Pluto-Kuiper Belt Mission (2006)

Il a fallu batailler ferme pour décrocher le financement de ce projet. Cette mission doit explorer les mondes situés aux confins du système solaire, un vieux rêve d'astronomes. La planète *Pluton* (diamètre 2370 kilomètres) est la seule à ne pas encore avoir été étudiée de près par une sonde spatiale. Elle est avec son satellite *Charon* (diamètre 1250 kilomètres) totalement différent de *Pluton*, la seule véritable planète double du système solaire. *Pluton* et *Charon* ont été respectivement découverts en 1930 et 1978. *Charon* se trouve à 20.000 kilomètres de *Pluton*. *Pluton* et *Charon* doivent être rejoints rapidement. C'est en 1989 que l'orbite de *Pluton* s'est le plus rapprochée du Soleil. Depuis, elle s'éloigne à nouveau du

Soleil. D'après les prévisions, son atmosphère va "geler" et on veut l'atteindre à un moment où son atmosphère sera encore relative dense. L'établissement d'une carte la plus détaillée possible de *Pluton* et *Charon* est l'autre motif de cette volonté.

La mission devrait commencer en janvier 2006 (lancement par une fusée *Atlas V*) et arriver près de *Pluton* et *Charon*, après un détour par *Jupiter* en février 2007 et juillet 2015. La sonde devrait passer à 9600 kilomètres de *Pluton* et à 27000 kilomètres de *Charon*. Des photos devraient révéler des détails de l'ordre de 60 mètres. L'engin spatial continuerait ensuite sa pénétration de la ceinture de *Kuiper* et y examinerait un ou plusieurs objets de près. Cette opération est prévue pour 2026.

Dawn (2006)

L'*Office of Space Science* de la NASA a adopté une mission *Discovery* très spéciale, programmée pour mai 2006. Le *Discovery Program* de la NASA inclut des engins spatiaux relativement peu coûteux, très spécifiques et dont la mise au point est rapide.



➤ Dawn rendra visite aux deux astéroïdes Cérès et Vesta. (UCLA)

Dawn ('Aube') est une mission à destination des astéroïdes *Cérès* et *Vesta*. La sonde sera placée en orbite autour de chacun de ces corps célestes. Elle arrivera en orbite autour de *Vesta* pour son premier rendez-vous en juillet 2010. Elle étudiera pendant un an la structure et la composition de *Vesta*. En juillet 2011, *Dawn* quittera l'orbite de *Vesta* pour un périple de trois ans à destination de *Cérès* qu'elle étudiera en orbite entre août 2014 et juillet 2015. Elle pourra ensuite aller étudier d'autres astres de la ceinture de planétoïdes.

Dawn devrait tenter de percer les circonstances et les phénomènes qui ont entouré les débuts du système solaire. D'après *Sarah Gavid*, directrice de projet au *Jet Propulsion Laboratory* en Californie "Cérès et Vesta sont deux vastes mondes non encore explorés du système solaire. Nous allons en apprendre plus sur la formation des planètes."

Dans son voyage vers la ceinture de planétoïdes, *Dawn* sera propulsée par un moteur à ions. C'est la première mission purement scientifique qui s'appuie

sur cette technologie de pointe, utilisée par *Deep Space 1*.

Cérès et *Vesta* sont les plus grandes *protoplanètes*, des bébés planètes dont le développement a été entravé par la formation de la planète *Jupiter*, plus grande. Cette mission est guidée par trois grands objectifs scientifiques :

- l'étude des premiers moments de l'histoire de notre système solaire, qui nous permettra de mieux comprendre l'apparition des astres dans le système solaire;
- l'identification des éléments qui ont donné naissance aux planètes 'terrestres' et une meilleure compréhension de l'origine de ces éléments ;
- l'étude de la naissance et de l'évolution de deux astéroïdes à l'histoire totalement différente.

Dawn est considérée comme une passerelle entre l'exploration des corps célestes rocheux de l'intérieur du système solaire et celles des régions extérieures glacées de celui-ci. Le projet est en quelque sorte la conclusion de la première étape de l'exploration de l'intérieur du système solaire, venant compléter la précédente étude des planète *Mercure*, *Vénus*, de la *Terre* et de *Mars*.

Intérêt commercial

L'entreprise américaine *Space Dev* présente un programme commercial pour l'exploration des astéroïdes, baptisé *Near Earth Asteroid Prospector (NEAP)*. Images et informations scientifiques seraient ainsi proposées sur une base commerciale à la NASA, aux universités et autres instances intéressées. Le coût du programme s'élèverait à moins de 50 millions de dollars.

Jim Benson, fondateur et président de *SpaceDev* affirme "SpaceDev souhaite exécuter des missions du type NEAP le plus vite possible, mais faute de financement, aucune date n'a encore été fixée. Mais nous y arriverons", déclare-t-il avec assurance.

NEAP est la première mission *deep space* commerciale mise au point par *SpaceDev*. En 1997, le projet avait été conçu sous la forme d'un minisatellite de 350 kilogrammes, lancé par une fusée russe *Eurokot*. Ensuite, dans le cadre d'un contrat avec le *Jet Propulsion Laboratory (JPL)* en vertu duquel *SpaceDev* étudiait des micromissions vers *Mars* ne dépassant pas 50 millions de dollars, le projet a évolué vers un microsatellite de 200 kilogrammes, venant s'ajouter à la charge utile et lancé par la fusée européenne *Ariane 5*. Il est ensuite apparu que le même projet pouvait servir à d'autres missions d'exploration du système solaire, notamment vers des astéroïdes. En fonction de sa destination finale, NEAP pourrait être lancé dans trois ou cinq ans.

Le satellite *CHIPSat*, mis au point, construit, testé et suivi pour la NASA par *SpaceDev*, lancé récemment, montre que les plans de *SpaceDev* ne sont pas simplement des chimères. *CHIPSat* dépend de l'Internet à 100%. Il peut être suivi, partout dans le monde, à partir d'un simple ordinateur portable. Le coût de *CHIPSat* s'élève à près de 6 millions de dollars, une brouille dans le domaine de la conquête spatiale. *SpaceDev* a également développé et testé un moteur hybride pour *SpaceShipOne*, un projet de missions spatiales suborbitales habitées. Plus d'infos sur les projets de *SpaceDev* sur www.spacedev.com

Dossier Les petits habitants de notre système solaire

5. La mission européenne Rosetta

Regard sur 4,6 milliards d'années d'histoire

La vie sur Terre a-t-elle été semée par les comètes est l'une des questions essentielles qui n'a pas encore été élucidée. Une sonde européenne de trois tonnes va tenter d'y trouver une réponse.

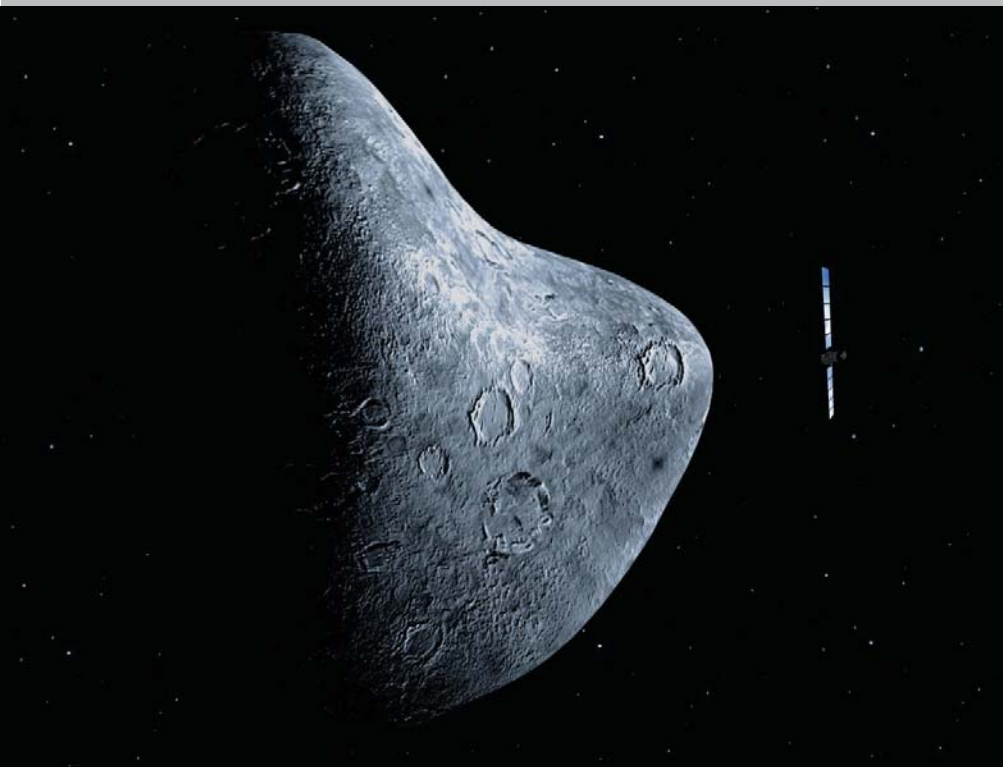


Rosetta va s'attarder à l'époque où les planètes n'existaient pas encore et où un essaim d'astéroïdes et de comètes entourait le Soleil. Rosetta est composée d'un grand *orbiteur* qui devra rester opérationnel durant dix ans à distance respectable du Soleil et d'un petit *atterrisseur*. Ils embarquent des expériences scientifiques destinées à procéder à l'étude la plus minutieuse jamais effectuée d'une comète.

Normalement, Rosetta devait être lancée par une fusée *Ariane 5* depuis le pas de tir européen de Kourou en Guyane française en jan-

vier 2003. Elle devait se diriger vers la comète *Wirtanen* et survoler les astéroïdes *Otawara* et *Siwa*. Mais le lancement raté fin 2002, d'un nouveau type d'*Ariane 5* (vol 157) est venu chambouler le programme. Rosetta est restée clouée au sol et devrait décoller en février 2004. La destination du voyage a changé en mai 2003 : la comète *Churyumov-Gerasimenko*. Rien que pour rejoindre cette comète il a déjà fallu une refonte complète du plan de vol. Si Rosetta devait rater cette nouvelle opportunité, une tentative de lancement peut encore être programmée en février 2005.

➤ Rosetta se déplaçant relativement loin du soleil, la sonde est équipée de grands panneaux solaires. (ESA)



Une pierre de Rosette cosmique

La mission de l'ESA porte le nom de la célèbre *Pierre de Rosette* exposée au British Museum de Londres, qui a permis de déchiffrer les hiéroglyphes et a révélé les secrets de l'ancienne Egypte. Aux dires de l'ESA, *"la sonde Rosetta fournira de la même manière des indications essentielles aux scientifiques qui veulent percer le mystère de la formation des planètes et de l'origine de la vie."*

← Durant son voyage vers la comète Churyumov-Gerasimenko, Rosetta étudiera probablement un ou deux astéroïdes, comme le prévoyait son plan de vol initial. (ESA)

Lancée en février 2004, Rosetta devrait arriver en orbite autour de la comète en 2014 et déposer un petit atterrisseur sur le noyau de la comète. Churyumov-Gerasimenko est sensiblement plus grande que Wirtanen, son noyau pourrait atteindre dix kilomètres et il a dès lors fallu procéder à de nouveaux calculs pour la mission. Rosetta accompagnera ensuite la comète une année durant sur son orbite vers le Soleil et six mois de plus au moment où la comète s'éloignera du Soleil.

A partir de son orbite autour de l'astre, elle pourra étudier la transformation d'une comète gelée sous l'influence de la chaleur du Soleil. Les instruments de bord analyseront les particules de poussière et de gaz présentes autour de la comète et leur interaction avec le vent solaire, le flux de particules chargées projetées en permanence dans l'espace par le Soleil. Ils examineront le degré d'activité de la comète et pourront peut-être en tirer des conclusions sur sa naissance. Ils prendront des clichés 100 fois plus précis du noyau que ceux réalisés en 1986 par Giotto de la comète de Halley. Durant son voyage vers Churyumov-Gerasimenko, Rosetta devra aussi étudier au moins un astéroïde. Le rendez-vous initial avec Otawara et Siwa est également tombé à

l'eau et les programmeurs de vol doivent trouver de nouveaux astéroïdes. Rhodia et Lutetia sont de possibles candidats. Rhodia mesure environ 25 kilomètres et réfléchit 56% de la lumière solaire qu'il reçoit, ce qui est relativement peu courant. Lutetia mesure près de 100 kilomètres et appartient à la catégorie des astéroïdes M, ne représentant que 4% de la totalité des astéroïdes. On pensait autrefois que ces astres étaient des fragments de noyaux métalliques d'astéroïdes plus grands, éclatés à la suite de collisions. Mais il semble désormais que les grands astéroïdes de type M, comme Lutetia, ne sont pas du tout métalliques, mais sont composés de roches, jadis exposées à l'eau.

Un problème subsiste à propos de cette visite aux astéroïdes. Rosetta devra effectuer plus de manoeuvres pour atteindre Churyumov-Gerasimenko qu'elle n'aurait dû le faire pour sa destination initiale. Dans l'hypothèse où elle survole deux astéroïdes, Rosetta atteindra cette comète plus près du Soleil : 540 millions de kilomètres au lieu de 600 millions de kilomètres comme prévu pour la comète Wirtanen. Dans ces conditions, la comète est nettement plus active et les programmeurs de vol doivent

choisir : six mois de plus pour étudier Churyumov-Gerasimenko en détail ou deux survols d'astéroïdes. Le choix définitif ne doit cependant pas être fait avant le lancement. L'essentiel pour les chercheurs concernés est qu'on ait trouvé une solution pour remplacer Wirtanen.

Plus de 50 entreprises issues de 14 pays européens, parmi lesquels la Belgique, et les Etats-Unis participent à Rosetta sous la direction des Allemands d'*Astrium*. Au lancement, la masse de Rosetta est d'environ 3000 kg, dont 1670 kg de carburant, 165 kg d'instruments scientifiques pour l'orbiteur et 100 kg pour l'atterrisseur. Rosetta est équipée de deux panneaux solaires de 14 mètres et d'une superficie totale de 64 mètres carrés. S'ils sont aussi grands, c'est parce que durant son odyssée, Rosetta s'éloigne relativement fort du Soleil. Des centaines de milliers de cellules de silicium ont été spécialement mises au point pour les panneaux solaires. Ils peuvent être orientés à 180°, afin de capter un maximum de lumière solaire. Rosetta déploiera une intense activité durant des périodes relativement courtes, mais se retrouvera pendant longtemps dans une sorte d'hibernation. Elle

La *menace* d'une collision cosmique



↑ Un impact sur la Terre. (NASA)

Ces 20 dernières années, les chercheurs ont perçu de manière croissante l'éventualité d'un impact sur Terre d'un objet venu du cosmos. Des simulations informatiques révèlent les conséquences que pourrait avoir l'impact de grands objets sur le climat et la chimie de l'atmosphère. En plus des petites particules de poussière et de suie projetées dans l'atmosphère par des déluges de feu, un effet de serre se propage. Une sorte d'hiver nucléaire pourrait apparaître. Un nuage de débris pourrait entourer la Terre. Celui-ci risque de bloquer la lumière solaire et modifier profondément la température globale. Les satellites en orbite basse autour de la Terre risquent d'être touchés par des débris. Un astéroïde tombant dans les océans pourrait provoquer des tsunamis, aux conséquences désastreuses pour les régions côtières.

Le dossier *Menace de provenance de l'espace* de Space Connection 41 revient plus longuement sur cette question.

économisera ainsi de l'énergie, du carburant et de l'argent. La plupart des systèmes sont débranchés durant cette période.

Le centre de contrôle du vol se situe au *European Space Operations Centre (ESOC)* de l'ESA à Darmstadt (Allemagne). C'est de cet endroit que la sonde et sa charge utile seront suivies, que l'orbite sera déterminée et les données scientifiques distribuées aux chercheurs. Un *Science Operations Centre* sera également installé lorsque la sonde deviendra "active", pour assurer la coordination des activités scientifiques. Les opérations de l'atterrisseur seront coordonnées depuis un centre de contrôle allemand de la *DLR* à Cologne et un centre de contrôle scientifique de l'agence spatiale française, *Centre National d'Etudes Spatiales (CNES)* à Toulouse.

Pour les communications avec la Terre, Rosetta est équipée d'une antenne parabolique d'un diamètre de 2,2 mètres. A New Norcia près de Perth en Australie, l'ESA dispose d'une nouvelle antenne *deep space* pour com-

muniquer avec la sonde. Le diamètre de cette antenne parabolique est de 35m. La sonde n'étant pas toujours "visible" depuis New Norcia (en moyenne 12 heures par jour et parfois dissimulée par le Soleil), Rosetta est capable de stocker jusqu'à 25 Gbits à bord et de les envoyer à la Terre en relais différé.

Dans l'espace, Rosetta sera confrontée à des conditions extrêmes. Il y a risque de surchauffe à proximité du Soleil et les radiateurs doivent éliminer l'excédent de chaleur dans l'espace. En revanche, loin du Soleil, les instruments de bord doivent être protégés contre le froid glacial. Des éléments calorifuges sont dès lors installés à bord et Rosetta est en quelque sorte emballée dans du matériel isolant composé de nombreuses couches.

Tout compris, le coût de la mission Rosetta atteint près d'un milliard d'euros. L'ajournement du lancement a fait grimper la note d'environ 70 millions d'euros. Rosetta doit fonctionner 11 ans. Sa mission se termine en décembre 2015.

La *Belgique* est de la partie

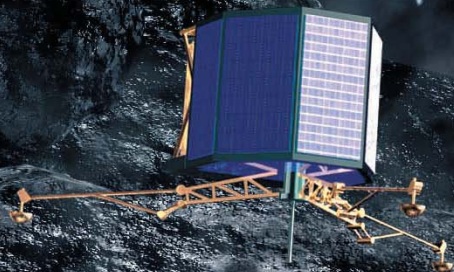
Notre pays participe également à la mission Rosetta. L'*Institut d'Aéronomie spatiale de Belgique* est l'un des partenaires de l'expérience *ROSINA (Rosetta Orbiter Spectrometer for Ion and Neutral Analysis)*, composée de trois détecteurs destinés à étudier l'atmosphère de la comète, l'une des principales expériences à bord de Rosetta.

L'IASB et d'autres partenaires ont mis au point l'un de ces détecteurs, un spectromètre de masse. Le *Double Focusing Mass Spectrometer (DFMS)* est chargé d'analyser la composition gazeuse et ionique du nuage de gaz entourant la comète. Le DFMS a été développé sous la direction de l'Université de Berne en Suisse, en association avec des instituts scientifiques belge, français, allemand et américain. L'IASB fait partie de l'équipe de recherche, mais a également été chargé de la construction d'un élément du détecteur DFMS, considéré comme le *dernier cri* en matière de technologie.

C'est ainsi que le système de détection principal, *Linear Electron Detector Array (LEDA)* a été conçu et construit par l'IASB. L'IASB a en outre fourni une partie de l'électronique et assure également l'intégration mécanique des détecteurs et des modules électroniques dans l'instrument. L'industrie belge est également partie prenante, notamment IMEC à Louvain et OIP à Audenarde.

D'après des informations du site de l'*Institut d'Aéronomie spatiale de Belgique*
<http://www.oma.be/BIRA-IASB/Public/Research/Comet/RosettaProject.fr.html>

Les expériences scientifiques à bord de *Rosetta*



11 expériences scientifiques sont installées à bord de Rosetta.

Un bref aperçu :

- **OSIRIS** (*Optical, Spectroscopic and Infrared Remote Imaging System*): système de caméra de Rosetta ;
- **ALICE** (*Ultraviolet Imaging Spectrometer*): analyse les gaz de la chevelure et mesure la production d'eau et de monoxyde de carbone et la composition du noyau de la comète;
- **VIRTIS** (*Visible and Infrared Thermal Imaging Spectrometer*): étudie le noyau de la comète et la température à la surface, les propriétés physiques de la comète, assiste l'atterrisseur dans le choix de sites d'atterrissage;
- **MIRO** (*Microwave Instrument for the Rosetta Orbiter*): mesure sur les astéroïdes et la comète Churyumov-Gerasimenko la température sous la surface et les gaz à proximité immédiate;
- **ROSINA** (*Rosetta Orbiter Spectrometer for Ion and Neutral Analysis*): mesure la composition de l'atmosphère et de l'ionosphère autour de la comète et l'*outgassing* des astéroïdes;
- **COSIMA** (*Cometary Secondary Ion Mass Analyser*): analyse les petites particules de matière émises par la comète;
- **MIDAS** (*Micro-Imaging Dust Analysis System*): étudie la matière autour des astéroïdes et de la comète (nombre, dimensions, volume et forme);
- **CONSERT** (*Comet Nucleus Sounding Experiment by Radiowave Transmission*): étudie par ondes radio l'intérieur de la comète;
- **GIADA** (*Grain Impact Analyser and Dust Accumulator*): étudie et mesure les petites particules de matière provenant de la comète et d'ailleurs (infléchies par exemple sous la pression du rayonnement solaire);
- **RPC** (*Rosetta Plasma Consortium*): mesure les propriétés physiques du noyau, la structure de la chevelure, l'activité de la comète et son interaction avec le vent solaire ;
- **RSI** (*Radio Science Investigation*): mesure par signaux radio la masse, la densité, la gravité du noyau de la comète, son orbite et celle de la chevelure, la masse et la densité d'astéroïdes et étudie la couronne du Soleil lorsque, vue de la Terre, la sonde passe derrière le Soleil.

L'atterrisseur emporte les expériences suivantes :

- **COSAC** (*Cometary Sampling and Composition Experiment*): analyse les gaz, détecte les molécules organiques complexes;
- **MODULUS PTOLEMY**: mesure les relations isotopiques des éléments légers;
- **MUPUS** (*Multi-Purpose Sensors for Surface and Subsurface Science*): détecteurs destinés à la mesure de la densité et des propriétés thermiques et mécaniques de la surface de la comète ;
- **ROMAP** (*Rosetta Lander Magnetometer and Plasma Monitor*): mesure le champ magnétique local et l'interaction entre la comète et le vent solaire ;
- **SESAME** (*Surface Electrical, Seismic and Acoustic Monitoring Experiments*): trois instruments pour mesurer les propriétés des couches extérieures de la comète : comment se propagent les ondes sonores à travers la surface, quelles sont les propriétés électriques et mesure de la poussière retombant à la surface ;
- **APXS** (*Alpha X-ray Spectrometer*): livre des informations sur la composition du noyau de la comète grâce à la détection de particules alpha et des rayons X ;
- **CONSERT** (*Comet Nucleus Sounding Experiment by Radiowave Transmission*): mesure par ondes radio la structure interne du noyau de la comète ;
- **ÇIVA**: six micro appareils photo prennent des clichés panoramiques de la surface, un spectromètre mesure des échantillons de la surface ;
- **ROLIS** (*Rosetta Lander Imaging System*): cette caméra CCD doit enregistrer des images à haute résolution lors de l'atterrissage et procéder à des enregistrements panoramiques en stéréo ;
- **SD2** (*Sample and Distribution Device*): s'enfonce à plus de 20 cm au cœur de la surface de la comète et collecte des échantillons pour analyse.

↑ Se poser sur une comète ... pas une sinécure. (ESA)

Dossier Les petits habitants de notre système solaire

Lorsque Rosetta achèvera sa mission en décembre 2015, plus de vingt ans seront passés depuis l'adoption du projet en novembre 1993.

L'odyssée de Rosetta dans le système solaire durera plus de onze ans.

Un *mini billard* cosmique

Aucune fusée existante n'est suffisamment puissante pour propulser directement une sonde aussi lourde que Rosetta vers sa destination finale, la comète Churyumov-Gerasimenko. Rosetta traversera le système solaire un petit peu comme *une boule de billard cosmique*. Ses survols de la Terre et de Mars lui donneront les impulsions gravitationnelles nécessaires pour atteindre la comète Churyumov-Gerasimenko.

Février 2004

Lancement de Rosetta depuis la base de Kourou en Guyane française par une fusée Ariane-5. Elle arrive sur une "orbite de stationnement" elliptique autour de la Terre entre 200 et 4000 kilomètres d'altitude. Deux heures plus tard, l'étage supérieur de la fusée Ariane-5 propulse la sonde sur sa route interplanétaire. Ensuite, les panneaux solaires se déploient. Les systèmes de bord sont testés au cours des mois suivants.

Mars 2005

Rosetta revient vers sa planète de départ. Elle survole la Terre et la trajectoire de son orbite est ajustée.

Février 2007

Rosetta survole Mars et procède à des observations scientifiques.

Novembre 2007

Deuxième survol de la Terre par Rosetta. Elle arrive sur une orbite qui doit la ramener vers notre planète exactement deux ans plus tard.

Septembre 2008

Rosetta survole éventuellement l'astéroïde Rhodia à la vitesse de 41.000 kilomètres par heure.

Novembre 2009

Rosetta salue une troisième et dernière fois la Terre pour un *gravity-assist flyby*. Elle est placée sur une orbite qui l'éloignera presque autant du Soleil que la planète Jupiter.

Juillet 2010

Rosetta survole éventuellement l'astéroïde Lutetia à la vitesse de 55.000 kilomètres par heure.

Mi 2011

Rosetta corrige son orbite à l'aide de son moteur pour rejoindre la comète Churyumov-Gerasimenko.

Mai 2014

Rosetta a rendez-vous avec la comète Churyumov-Gerasimenko à une distance de 580-600 millions de kilomètres du Soleil, après des mois de petites manoeuvres pour affiner son orbite. Pendant des heures, les moteurs de la sonde réduisent la vitesse relative par rapport à la

comète. La sonde "glisse" ensuite vers le noyau de la comète. Les premières images de la comète doivent faciliter la détermination plus précise de l'orbite, de la position, de la taille, des dimensions et du temps de rotation. Rosetta cartographie la comète au cours des mois suivants et des sites d'atterrissage possibles sont identifiés pour l'atterrisseur.

Novembre 2014

Atterrissage sur la comète ! L'atterrisseur est lâché à une altitude d'environ un kilomètre et se pose à vitesse de promenade sur la comète. Celle-ci est alors à 450 millions de kilomètres du Soleil, soit trois fois la distance entre la Terre et le Soleil. L'atterrisseur est "arrimé" au noyau et envoie des photos et d'autres observations à la sonde mère qui les stocke à son bord et les transmet à la Terre lorsque le contact avec la station au sol est établi.

Jusqu'en décembre 2015

Pendant un an, Rosetta "accompagne" la comète afin d'observer ce qui se passe lorsque l'astre se rapproche du Soleil.



Dossier Les petits habitants de notre système solaire

Les petits habitants du système solaire sur l'Internet fourmille d'informations sur les comètes, astéroïdes et les missions spatiales passées et futures. La liste qui suit est loin d'être exhaustive et est un simple tremplin pour une exploration plus fouillée de la toile. La plupart des sites cités (opérationnels au moment de la rédaction de ce dossier) comportent des liens vers d'autres pages internet.

Sources

- <http://cfa-www.harvard.edu/iau/mpc.html>
Le Minor Planet Center est responsable de la collecte, du calcul, du suivi et de la diffusion d'observations astrométriques et des informations orbitales concernant astéroïdes et comètes.
- <http://cfa-www.harvard.edu/iau/NEO/TheNEOPage.html>
Page Internet du Near Earth Object (NEO).
- <http://cfa-www.harvard.edu/cfa/ps/lists/MPNames.html>
Liste alphabétique des noms des astéroïdes.
- <http://cfa-www.harvard.edu/iau/lists/Dangerous.html>
Liste des astéroïdes éventuellement dangereux (Potentially Hazardous Asteroids), susceptibles de se rapprocher de la Terre.
- <http://comets.amsmeteors.org/comets/lcomets/1999s4.html>
A propos de la comète LINEAR (C/1999 S4) qui a explosé en 2000.
- <http://comets.amsmeteors.org/comets/nearcomet.html>
Les distances les plus courtes entre les comètes et la Terre.
- <http://deepimpact.jpl.nasa.gov>
Page d'accueil du programme Deep Impact.
- <http://discovery.nasa.gov>
Consacré au programme Discovery de la NASA, assorti de renvois vers des projets comme NEAR, Stardust, Contour, Deep Impact et Dawn.
- <http://echo.jpl.nasa.gov>
A propos de l'étude radar d'astéroïdes.
- <http://impact.arc.nasa.gov>
Page du Ames Research Center de la NASA sur les dangers des impacts de comètes et astéroïdes.
- <http://jonathanclarkdunn.com/links/minor.shtml>
Liste, avec des liens à propos d'astéroïdes.
- <http://near.jhuapl.edu>
Sur la mission NEAR à destination de l'astéroïde Eros.
- <http://neat.jpl.nasa.gov>
Near Earth Asteroid Tracking, coopération entre la NASA et l'armée de l'air américaine pour déceler des astéroïdes et comètes menaçant la Terre.
- <http://neo.jpl.nasa.gov>
Le programme Near-Earth Object de la NASA.
- <http://neo.jpl.nasa.gov/risk>
Liste d'astéroïdes, détectés par le système Sentry, susceptibles de s'écraser sur Terre.

- <http://newton.dm.unipi.it/cgi-bin/neodys/neoibo>
A propos du système NEODYs fournissant des informations sur les Near Earth Asteroids.
- <http://nmp.jpl.nasa.gov/ds1>
A propos de la mission Deep Space 1.
- <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/tmp/1978-079A.html>
A propos d'ISEE 3, rebaptisé ensuite International Cometary Explorer (ICE).
- <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/tmp/1985-001A.html>
A propos de la sonde japonaise Sakigake envoyée vers la comète de Halley.
- <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/tmp/1985-073A.html>
A propos de la sonde japonaise Suisei envoyée vers la comète de Halley.
- <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/planets/asteroidpage.html>
Nombreux liens vers des informations sur les astéroïdes et comètes.
- <http://pluto.jhuapl.edu>
A propos d'une sonde à destination de Pluton et de la ceinture de Kuiper.
- <http://sci.esa.int>
Informations générales sur le programme scientifique de l'ESA.
- <http://sci.esa.int/home/gaia/index.cfm>
Page d'accueil de la mission GAIA de l'ESA.
- <http://sci.esa.int/home/giotto>
A propos du succès de la sonde Giotto de l'ESA vers la comète de Halley.
- <http://sci.esa.int/rosetta>
Site de l'ESA sur la sonde Rosetta, réunissant des informations sur la mission, les expériences scientifiques, les ressources, comètes et astéroïdes.
- <http://sherpa.sandia.gov/planet-impact/asteroid>
Simulation de l'impact d'un astéroïde pour la côte de New York.
- <http://spacewatch.lpl.arizona.edu>
Le programme Spacewatch.
- <http://spaceweather.com>
La 'météo' de l'espace avec une liste des survols rapprochés d'astéroïdes au large de la Terre.
- <http://spdxdev.estec.esa.nl/home/giotto/index.cfm>
A propos de la mission européenne Giotto vers la comète de Halley.
- http://ssd.jpl.nasa.gov/great_comets.html
Les grandes comètes de l'histoire.
- <http://stardust.jpl.nasa.gov>
Page d'accueil du projet Stardust.
- <http://stardust.jpl.nasa.gov/news/comets.html>
Dernières nouvelles à propos des comètes.
- <http://sungrazer.nascom.nasa.gov>
A propos des comètes sungrazer.
- <http://www.ast.cam.ac.uk/~jds/kreutz.htm>
A propos du groupe de sungrazers de Kreutz.
- http://www.astropa.unipa.it/versione_inglese/Hystory/BODE'S_LAW.htm
La loi de Bode et la découverte de l'astéroïde Cérès.
- <http://www.astro.uu.se/planet/earn>
L'Asteroid Research Node européen, association informelle de groupes européens se livrant à des études sur les astéroïdes.

- <http://www.barringercrater.com>
A propos du Barringer Meteor Crater en Arizona.
- <http://www.contour2002.org>
A propos de la mission Comet Nucleus Tour (Contour). Contient une foule d'informations sur les comètes.
- <http://www.contour2002.org/about4.html>
Liens avec des informations sur les comètes.
- <http://www.iau.org>
Page d'accueil de l'International Astronomical Union (IAU)
- <http://www.iki.rssi.ru/ssp/vega.html>
A propos des sondes russes Vega 1 et Vega 2 à destination de la comète de Halley.
- <http://www.ll.mit.edu/LINEAR>
Le programme LINEAR.
- <http://www.nearearthobjects.co.uk>
Le Near Earth Object Information Centre au Royaume-Uni. Comprend une liste de passages rapprochés d'astéroïdes au large de la Terre et une liste d'impacts ayant provoqué d'importants dégâts sur Terre.
- http://www.projectpluto.com/mp_group.htm
A propos des différents types et groupes d'astéroïdes.
- <http://www.seds.org/nineplanets/nineplanets/asteroids.html>
Info avec de nombreux liens sur les astéroïdes.
- <http://www.seds.org/sl9/sl9.html>
A propos de la collision entre la comète Shoemaker-Levy 9 et Jupiter en 1994.
- <http://www.solarviews.com/eng/asteroid.htm>
Courte introduction sur les astéroïdes et liens intéressants.
- <http://www.solarviews.com/eng/vesta.htm>
Informations sur l'astéroïde Vesta.
- <http://www.solstation.com/stars/asteroid.htm>
A propos de la ceinture d'astéroïdes entre Mars et Jupiter.
- <http://www.solstation.com/stars/kuiper.htm>
A propos de la ceinture de Kuiper et de Pluton.
- <http://www.spacedev.com>
A propos des activités commerciales de l'entreprise SpaceDev, qui a conçu la mission deep space NEAP.
- <http://www.spaceguarduk.com>
Spaceguard UK au Royaume-Uni est l'observatoire national chargé de détecter les éventuelles collisions d'astéroïdes et de comètes avec la Terre. Grâce à des capitaux privés, il a récemment créé le Spaceguard Centre, dans l'ancien Powys Observatory.
- <http://spaceguard.ias.rm.cnr.it/NScience/neo/main-text.htm>
De nombreuses informations sur les Near Earth Objects (NEO).
- <http://www.ss.astro.umd.edu/deepimpact>
Page d'accueil du programme Deep Impact.
- <http://www-ssc.igpp.ucla.edu/dawn>
Description de la mission américaine Dawn à destination des astéroïdes Cérès et Vesta.
- <http://www-th.bo.infn.it/tunguska>
A propos de l'explosion de Tounouska et de la chute de corps célestes sur Terre. Ce n'est que l'une des innombrables pages consacrées à cet événement.
- <http://www.unb.ca/passc/ImpactDatabase>
Earth Impact Data Base du Geological Survey of Canada. Comprend une liste et des images d'archive de cratères terrestres.

Actualités

20 jeunes Bruxellois défient les lois de la *pesanteur*

En juillet, 120 étudiants issus d'universités de 15 pays ont effectué des expériences à bord d'un Airbus A-300, spécial zéro-g. La participation belge était assez particulière, puisque de jeunes bruxellois ont défié la pesanteur.

La Student Parabolic Flight Campaign est organisée par l'Education Office de l'ESA. Diverses expériences sont menées dans plusieurs domaines scientifiques comme la physique, la biologie humaine, la science des matériaux et la robotique.

Pour compte de l'ESA, l'entreprise française *Novespace* a réalisé quatre vols paraboliques depuis l'aéroport de Bordeaux-Mérignac. 31 paraboles ont été effectuées durant chacun des vols et lors de chacune d'entre elles, une apesanteur d'une durée d'environ 20 secondes était créée.

Quelques expériences originales figuraient sur la liste. Une équipe allemande a ainsi étudié l'oscillation des plantes à l'aide de balles constituées d'une sorte de gélatine, enfermées dans un conteneur étanche. Une équipe de l'Imperial College de Londres s'est penchée sur le mode d'adaptation des mites en situation d'apesanteur. Cela devrait donner une idée de la manière dont les animaux s'adaptent à la pesanteur d'autres planètes.



Ces vols paraboliques destinés aux étudiants s'inscrivent dans l'*Outreach and Education Programme* de l'ESA. Ces campagnes visent à inciter les étudiants à réfléchir aux débouchés offerts par la recherche spatiale. Ce sera peut-être pour certains l'amorce d'une future carrière. Plusieurs étudiants ayant autrefois participé à des campagnes ESA sont depuis devenus chercheurs ou ingénieurs dans le secteur de l'aéronautique. De plus, les meilleures expériences pourront participer à des campagnes 'professionnelles', preuve que les idées des étudiants peuvent égaler celles des chercheurs professionnels.

Initiative bruxelloise

Pour la première fois, un avion participant à une campagne parabolique de l'ESA a atterri à Melsbroek dans le cadre d'une semaine scientifique en Belgique et de la promotion des campagnes de vols paraboliques auprès des étudiants belges. Soutenus par la Région de Bruxelles-capitale, le Service public fédéral de la Défense, les entreprises SABCA et Alcatel, les universités VUB et ULB et l'Euro Space Center Belgium, 20 jeunes bruxellois sont allés défier les lois de la pesanteur dans le cadre d'un projet baptisé *Brussels 'Zero G' Experience*.

Il ne s'agit pas d'étudiants universitaires, mais de 15 élèves sélectionnés dans les deux dernières années de l'enseignement secondaire, dans 151 établissements scolaires secondaires bruxellois. Ils devront bientôt opter soit pour l'enseignement supérieur, soit pour l'entrée dans la vie professionnelle. Accompagnés de cinq candidats ingénieurs, de cinq enseignants bruxellois et de quatre élèves "non volants", ils ont accompli cinq expériences scientifiques en état d'apesanteur, durant deux vols. L'Airbus A-300 zéro-g avait été affrété par la Région de Bruxelles-capitale et accueilli sur l'aéroport de Melsbroek. Les expériences bruxelloises ont été réalisées le 22 juillet, lors d'un vol Bordeaux-Bruxelles et le 23 juillet, lors d'un vol Bruxelles-Bordeaux. C'était une primeur, puisque l'ESA n'avait jamais organisé de vols paraboliques avec un Airbus A-300 hors de France. Des voix s'élèvent déjà pour réclamer le renouvellement de cette initiative.

(ESA)

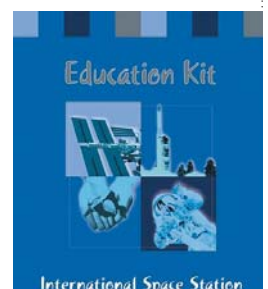
(source ESA)

Nouveau *kit* pédagogique ISS

En collaboration avec les enseignants, l'ESA a mis au point un nouveau programme de cours sur l'International Space Station. 40.000 exemplaires seront imprimés en 11 langues et envoyés aux enseignants intéressés dans les 15 Etats membres de l'ESA. Il est destiné aux professeurs du secondaire, dans la tranche d'âge 12 à 15 ans.

Plusieurs aspects de l'ISS sont évoqués dans cinq chapitres: ce qu'est l'ISS, comment elle est construite, comment la vie et le travail à bord s'organisent et comment se présenteront les futures missions. Le cours inclut par ailleurs des exercices interdisciplinaires, rattachés à des thèmes précis, sorte de fil rouge pour l'enseignant, un glossaire, des fiches de présentation en couleurs et un CD. Les modules peuvent être discutés collectivement, servir d'outil dans de petits groupes de travail, de devoir à domicile ou être copiés séparément pour chaque élève.

Si vous souhaitez commander un exemplaire gratuit du programme ISS pour votre école, remplissez le formulaire de demande que vous trouvez sur : <http://ravel.esrin.esa.it/docs/hsf/edukit/EduKitRequestForm.doc> et retournez-le à educationkit@esa.int (source ESA)



Actualités

De meilleures prévisions météo grâce au **savoir-faire** belge

Même si la mission d'observation de la Terre ERS s'est officiellement clôturée avec succès, le satellite ERS-2 poursuit ses observations. Grâce à un nouveau système de traitement des données auquel notre pays participe également, les prévisionnistes peuvent désormais profiter des données exceptionnelles du scatteromètre équipant l'ERS-2.

Le scatteromètre mesure la vitesse des vents et les météorologues espèrent obtenir encore davantage de données de cet instrument. Il est exceptionnel dans la mesure où il est capable, jour et nuit et quelles que soient les conditions, de fournir des données et n'est nullement perturbé par exemple par la pluie. C'est précisément ce que veulent les chercheurs : recevoir des données lorsque la météo est mauvaise.

Détection précoce des ouragans

Le Centre européen de Prévisions météorologiques à moyen terme (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts ou ECMWF) de Reading près de Londres est particulièrement intéressé par ces données relatives à la vitesse des vents et des vagues sur la partie septentrionale de l'Océan Atlantique.

D'après Philippe Bougeault, directeur de la division recherche de l'ECMWF, "le scatteromètre de l'ERS-2 est particulièrement utile pour la détection précoce des ouragans dans l'Océan Atlantique et de violentes tempêtes hivernales."

Fonctionnement prolongé pour les instruments de l'ERS-2

"L'instrument fournit une occasion unique aux armateurs et aux exploitants de plateformes pétrolières de disposer au moment adéquat d'informations précises sur la météo en mer et sur les vagues." Selon Hans Hersbach, spécialiste des vagues océaniques, le scatteromètre de l'ERS a déjà livré de précieuses informations.

Les utilisateurs étaient privés des informations du scatteromètre depuis 2001. Les gyroscopes d'ERS-2 avaient rendu l'âme. Les gyroscopes assurent la stabilisation du satellite. En janvier 2001, ERS-2 put reprendre son vol, sans les gyroscopes, prolongeant ainsi la durée de vie opérationnelle de plusieurs instruments de bord.

Logiciel

Un problème subsistait toutefois. Le scatteromètre poursuivait ses observations, mais les données concernant la vitesse des vents ne pouvaient plus être traitées par les météorologues. Des experts du centre de recherche de l'ESA en Italie ont cherché une solution pour pouvoir enregistrer les précieuses informations. Une première étude semble prometteuse et l'industrie a reçu le feu vert pour la mise au point du logiciel nécessaire pour compenser le changement d'orbite du satellite et pouvoir extraire les données du scatteromètre à partir des données globales.

Participation belge

Et c'est là qu'intervient la Belgique. L'Ecole royale militaire (ERM) a élaboré le nouveau processeur ESACA, tandis que Spacebel à Angleur mettait au point le code d'ingénierie. L'entreprise norvégienne Spacetek a intégré les nouveaux systèmes dans les stations terrestres

de Kiruna (Suède), Maspalomas (Iles Canaries) et Gatineau (Canada) et la station de référence de l'ESA/ESRIN à Frascati (Italie). Une installation sera prochainement effectuée à West Freugh (Ecosse).

Le scatteromètre d'origine était destiné à mesurer la vitesse des vents au-dessus de la mer. Mais l'éventail des possibilités s'est étendu avec des applications inattendues dans les domaines de l'observation de la Terre, de la glace en mer, de l'humidité des sols et de la végétation.

Réexamen des données d'ERS-1 et 2

L'algorithme du logiciel servira également à réexaminer la montagne de données archivées des scatteromètres d'ERS-1 et -2. La continuité de ces observations, enregistrées depuis 1991, a une valeur inestimable pour les chercheurs qui se penchent sur les changements climatiques à long terme.

ERS-1 a été lancé en juillet 1991, par une fusée Ariane-4 et suivi le 21 avril 1995 par sa copie pratiquement identique, ERS-2. Les satellites ont collecté des trésors de données sur la superficie de la Terre, des océans et des calottes glaciaires. Les deux satellites ont travaillé bien plus longtemps que prévu. ERS 1 a terminé sa mission en 2000. Officiellement, la mission globale de ERS-2 est achevée, mais le satellite continue à fournir des informations sur la zone nord atlantique.

L'avenir: MetOp

Et l'avenir est déjà annoncé avec les satellites *MetOp*, qui observeront la météo depuis une orbite polaire autour de la Terre. Dès 2005, trois exemplaires seront lancés sur une période de 14 ans. C'est la participation européenne à une initiative commune avec les Etats-Unis, destinée à observer le climat et à livrer des prévisions météorologiques plus précises.

Les nouveaux instruments européens apporteront des observations plus précises de la température, l'humidité, la vitesse des vents et leur direction (plus spécialement au-dessus des océans), ainsi que des profils de l'ozone dans l'atmosphère. MetOp constitue le segment spatial de l'*Eumetsat Polar System (EPS)*.

(source ESA)



Actualités

Nouveau **site éducatif** de l'ESA

Pour aider les enseignants à intéresser les étudiants aux thèmes scientifiques, l'ESA a entièrement revu son site internet éducatif. Il s'adresse tant aux enseignants qu'aux étudiants et fourmille d'informations, d'idées et d'outils à utiliser en classe. L'ensemble est présenté de manière attrayante et sous un format convivial. Des thèmes spécifiques sont prévus pour les étudiants du secondaire et de l'enseignement supérieur, ainsi que pour les professeurs. Ainsi, les étudiants se rendent compte de l'impact de la science sur notre vie quotidienne. Le téléchargement de documents est simple, les informations sur les cours de formation sont faciles à trouver et on y trouve également un aperçu des autres sites intéressants de partenaires de l'ESA.

La recherche spatiale ne sert pas uniquement à enseigner les disciplines scientifiques classiques comme la physique, la chimie ou la biologie. Elle s'intègre tout aussi bien dans les leçons de géographie, pour mieux comprendre le monde et son environnement. Elle peut aussi constituer une source d'inspiration artistique et culturelle et un auxiliaire dans l'apprentissage de langues étrangères.

Pour l'élaboration du site, le service éducatif de l'ESA a bénéficié de l'avis d'enseignants européens. Pour l'instant, le site est uniquement disponible en anglais, mais du matériel sera bientôt proposé dans d'autres langues des Etats membres de l'ESA. Les idées nouvelles sont toujours les bienvenues.

Outre le nouveau site éducatif, mentionnons encore Eduspace, le site européen d'observation de la Terre destiné aux écoles secondaires. Il peut être consulté en cinq langues : anglais, français, allemand, italien et espagnol et bientôt en danois.

(source: ESA)

<http://www.esa.int/export/esaED/index.html>

La technologie spatiale se joint à la lutte **contre le cancer**

La flottille de télescopes Darwin (ESA)

Les techniques révolutionnaires qui seront utilisées pour rechercher les petites planètes en orbite autour des étoiles hors de notre Système Solaire sont déjà en cours de développement afin d'aider les scientifiques à détecter les cellules cancéreuses dès leur apparition.

L'énorme quantité de lumière émise par une étoile rend extrêmement difficile de localiser une planète en orbite autour d'elle. Mais en utilisant une technique qui combine les signaux provenant d'au moins deux télescopes, les astronomes de l'ESA sont en mesure de créer une éclipse de soleil artificielle, en 'neutralisant' les effets de la lumière stellaire, très vive, de sorte que la lumière plus faible d'une planète puisse être détectée. Les chercheurs européens en technologie spatiale ont encore affiné cette technique : ils peuvent désormais étudier les atmosphères de telles planètes. La mission Darwin de l'ESA, qui étudiera un millier de planètes proches, sera l'une des premières à utiliser cette technique pour nous faire avancer d'un grand pas vers la réponse à la question "Sommes-nous seuls dans l'Univers ?"

Mais des scientifiques néerlandais envisagent avec enthousiasme une autre application pour cette technique révolutionnaire. L'agence nationale de recherche TNO/TPD a développé cette technologie d'imagerie à des fins médicales. En utilisant cette technique, les scientifiques peuvent désormais obtenir des images de la peau ou des tissus d'une résolution bien meilleure que celle disponible actuellement. La technique est déjà utilisée pour étudier les changements dans les vaisseaux sanguins et la rétine, mais elle pourrait être utilisée comme un outil de détection précoce du cancer.

Ce ne sera pas la première fois que la technologie spatiale sera utilisée dans la lutte contre le cancer. Un programme informatique initialement développé par des scientifiques européens pour trouver les sources de rayons X dans l'espace lointain a été modifié pour obtenir un système de détection précoce des mélanomes de la peau assisté par ordinateur. Le logiciel original a été utilisé pour éliminer les bruits de fond présents dans les signaux provenant de l'espace afin de détecter des signaux plus faibles émis par les résidus d'explosions de supernovae.

Sur Terre, un échantillon de la surface de la peau est numérisé puis agrandi 10 fois. Le programme informatique recueille alors les plus infimes variations de couleurs, et permet ainsi aux médecins de voir beaucoup plus clairement les éventuelles irrégularités présentées par les cellules associées aux mélanomes malins.

(Communiqué de l'ESA du 19 novembre 2003)

Actualités

La participation du **Benelux** à l'Europe de l'espace (suite)

Le dossier "le Bénélux spatial" du Space Connection a suscité beaucoup d'intérêt. Des précisions nous ont été apportées sur des réalisations qui témoignent du dynamisme des chercheurs et industriels du Bénélux dans l'espace. Les voici :

- Le **Département de Physique solaire de l'Observatoire Royal de Belgique (ORB)** nous a informé que dans l'article consacré à PROBA, l'instrument LYRA (Lyman alpha Radiometer - PROBA 2) est incorrectement attribué à l'Institut d'Aéronomie Spatiale, qui n'est d'ailleurs lié que de façon mineure à cette mission. En fait, c'est le Département de Physique Solaire de l'ORB, et en particulier le Dr. Jean-François Hochedez, qui a conçu l'instrument LYRA et qui en tant que Principal Investigator (PI) en dirige actuellement la construction qui est coordonné par le CSL. A noter aussi que l'équipe est également PI scientifique pour SWAP (Sun Watcher using APS detectors and imaging Processing), l'autre instrument solaire de PROBA 2, dont le CSL coordonne la construction avec le rôle de PI jusqu'à son lancement. Enfin, pour mémoire, le Département de Physique solaire, dont les activités sont en expansion, est également Co-Investigateur pour EIT sur la mission SOHO (ESA/NASA) et SECCHI sur STEREO (NASA). Il s'agit chaque fois de télescopes imageurs de la couronne solaire dans le domaine de l'extrême UV, un thème de recherche et de conception technique dans lequel le Département a accumulé une expertise reconnue au cours des 8 dernières années. Les instruments de PROBA2 sont la première matérialisation de ce know-how sur une plateforme purement belge.
- **Alcatel Bell Space** a participé au succès de la mission européenne Giotto d'exploration cométaire. Au début des années 80, il a mis au point pour l'ESOC (European Space Operations Center) un démodulateur à hautes performances ou HPD (High Performance Demodulator). L'emploi de plusieurs HPD a permis de recevoir les données et images de la sonde Giotto dans d'excellentes conditions. L'ESA a

équipé ses stations de poursuite lointaine, dites DSN (Deep Space Network), avec la seconde génération de ces démodulateurs.

- **Lambda-X** est une PME spécialisée dans la conception, le développement et la réalisation d'instruments de mesure optique pour des applications spatiales. Spin-off de l'Université Libre de Bruxelles (ULB), Lambda-X a été créée en 1996 sur des fonds privés pour promouvoir les activités de développement de systèmes optiques du "Microgravity Research Center" (le Service Chimie-Physique E.P. d'ULB) dirigé par le Professeur J.C. Legros. Fin 2002, Lambda-X est devenue une société anonyme, avec l'entrée de l'ULB parmi les quatre actionnaires. Lambda-X emploie aujourd'hui 9 personnes dont 8 ingénieurs et physiciens ayant une expertise combinée en optique et mécanique leur permettant de maîtriser les domaines de la conception d'instruments, des techniques d'alignement et de la métrologie de haute précision. La société est localisée pour le moment dans les bâtiments de l'Université.

Trois secteurs d'activités sont développés :

1. **Le développement d'instruments:** Lambda-X réalise divers instruments de mesure optique pour des applications spatiales (à bord de fusées sondes, de satellites autonomes ou sur la Station Spatiale Internationale...). Il s'agit, dans la plupart des cas, d'instruments uniques répondant à un cahier de charges très strict quant aux performances (précision, stabilité) et contraintes (volume, poids) et mettant souvent en œuvre des techniques de pointe. C'est ainsi que Lambda-X a développé et réalisé le tout premier tomographe optique envoyé dans l'espace (à bord d'une fusée sonde) qui a servi à mesurer la distribution tri-dimensionnelle de température dans un liquide soumis à évaporation. La capacité de Lambda-X à combiner différents diagnostics dans le même instrument est notoirement reconnue et a été démontrée dans différentes réalisations (FSL - Laboratoire de physique des fluides pour

ISS, FluidPac - Laboratoire de mécanique des fluides pour le satellite russe "Foton", et PCDF). D'autre part, Lambda-X a la volonté de mettre l'expérience et la haute maîtrise des problèmes acquis dans les applications spatiales au service du monde industriel. Différentes initiatives sont en cours.

2. **La métrologie :** Lambda-X a offert des services de métrologie optique pour des applications industrielles: tests non destructifs sur des panneaux composites, vérifications et mesures sur des miroirs déformables. Ces services ont été effectués dans les laboratoires ou la salle propre de Lambda-X. La société désire étendre ce service à l'inspection de systèmes optiques et le contrôle de procédés. Dans ce dernier cas, le service serait effectué chez l'industriel.
 3. **L'activité de R/D:** Lambda-X a une démarche permanente d'amélioration d'instruments et de développement de techniques originales. Cette démarche s'appuie sur les compétences de son équipe d'ingénieurs et de physiciens, docteurs pour la plupart, et sur l'environnement universitaire dans lequel Lambda-X opère. Le but ultime des activités de recherche et développement est de concevoir des instruments originaux et modulables aux besoins des secteurs spatial et industriel et d'étendre les capacités de développement d'instruments et de service de métrologie.
- **YES (Young Engineers' Satellite)** est un petit engin spatial qui fut réalisé en sept mois, avec un budget de moins d'1 million d'euros, par une équipe d'étudiants de la Technical University of Delft. Cette initiative, qui était soutenue par l'astronaute néerlandais Wubbo Ockels, alors responsable du programme éducatif de l'ESA, eut le soutien technique de l'ESTEC, à Noordwijk. Le micro-satellite faisait partie de Teamsat, une charge technologique de 350 kg qui fut satellisée par la deuxième Ariane 5 le 30 octobre 1997. Suite à l'expérience YES, une PME spécialisée dans l'emploi de filins dans l'espace vit le jour à Leiden: Delta-Utec Space Research & Consultancy. Elle travaille sur le projet YES-2 d'une capsule gon-

Actualités

Proba rend compte de l'ampleur des feux de forêts en **Californie**

Le petit satellite Proba de l'ESA, qui fut réalisé en Belgique, a révélé depuis l'espace la puissance destructrice des feux de forêt qui se sont approchés de la cité de San Diego jusqu'à quelque 40 km. On peut s'en rendre compte sur cette image prise le 5 novembre 2003.

Au cours du mois d'octobre, un important incendie de forêt a ravagé le Sud de la Californie, avec plus d'une douzaine de départs de feux qui ont été attisés par les vents violents du désert de Santa Ana et qui ont progressé jusqu'à atteindre les communautés de la banlieue de San Diego. On estime que 300.000 hectares ont été détruits et on a fait état que l'impact économique s'élevait à un total de 2 milliards de dollars (1.74 milliard d'euros).



L'image prise par Proba montre les séquelles du plus grand incendie, qui est appelé le "Cedar Fire" qui s'est étendu à partir d'un point pour former un mur de flammes d'une largeur de 70 km. Mais un temps plus doux, fait de pluies et de neige, est venu en aide aux chasseurs du feu qui s'efforçaient d'en prendre le contrôle. Acquis le 5 novembre, alors que le pire était passé, l'image montre la région rurale ravagée par le feu au nord du Réservoir de San Vincente (la pointe Nord du réservoir se trouve en haut à droite). Santee, un district voisin de San Diego, est visible en bas à droite, avec Poway en haut à gauche. Au centre de la région sinistrée, on voit qu'il reste bien peu de choses du Sciamore Canyon Open Space Preserve.

Concernant Proba

Proba (Project for On Board Autonomy) est un micro-satellite de l'ESA qui a été réalisé par un consortium industriel sous la direction de la société belge Verhaert. Lancé en octobre 2001, il est exploité depuis la station de l'ESA à Redu (Belgique).

En orbite à 600 km au-dessus de la Terre, Proba était conçu pour une mission technologique de l'ESA pendant une année. Sa durée de vie permet d'apporter une suite avec une mission d'observation de la Terre. A présent, il fournit de façon routinière aux chercheurs des images détaillées de l'environnement grâce à l'instrument CHRIS - Compact High Resolution Imaging Spectrometer, réalisé par la firme britannique Sira Electro-Optics Ltd - qui fait partie de la charge utile à bord du satellite de 100 kg. Proba fonctionne comme un robot intelligent, qui est capable d'observer la même région terrestre suivant une grande variété d'angles, montrant des régions de 18,6 km avec une résolution de 18 m. Plus de 60 équipes scientifiques en Europe font usage des données de Proba. Le satellite "made in Belgium" aura un successeur: Proba-2 sera un observatoire solaire qui doit être satellisé aux environs de 2005.

(Communiqué de l'ESA du 25 novembre 2003)

flable qui sera placée sur un satellite russe Foton-M contenant des expériences de micro-gravité. L'objectif est de tester l'action d'un câble pour "désatelliser" de YES-2 en vue de son retour sur Terre. Un premier essai est prévu avec la mission Foton-M2 au cours de 2004.

- Le **Center for Space Radiation/CSR-UCL** (Louvain-la-Neuve) fait partie du Groupe des Hautes Energies de l'Institut de Physique nucléaire de l'UCL. Conception et caractérisation des détecteurs de radiations dans l'espace. Analyse des données sur le rayonnement spatial.
www.fynu.ucl.ac.be/themes/he/radiations/overview

- **Station ESA de Redu** (Redu-Libin) : infrastructure mise en oeuvre par l'ESOC (European Space Operations Centre). Systèmes pour la poursuite, le contrôle, les tests, la gestion de missions sur orbite. Services avec les opérateurs commerciaux de satellites géostationnaires.
www.esoc.esa.de/pr.stations/redu.php3

- **Ionic Software** (Grâce Hollogne): Création de logiciels pour la diffusion et l'interopérabilité sur internet de systèmes d'information géographique (GIS). Solutions "sur mesure" de gestion d'imagerie spatiale fournies à l'ESA (pour la mission Envisat) et à la NASA.
www.ionicsoft.com

- **Nexans Harnesses** (Huizingen): spécialiste de systèmes de câblage. Réalisation de harnais filaires à bord des satellites et sondes de l'ESA.
www.nexans.be

- **Septentrio Satellite Navigation** (Leuven) : Filiale d'IMEC pour le développement et la production de récepteurs de navigation par satellites, compatibles GPS, GLONASS et EGNOS (pré-Galileo).
www.septentrio.com

Pour tout savoir
sur la politique
scientifique fédérale:
www.belspo.be

