**Zeitschrift:** Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
**Herausgeber:** Schweizerische Astronomische Gesellschaft
**Band:** 54 (1996)
**Heft:** 277

**Artikel:** L'univers, dis-moi ce que c'est? : Planètes : épisode 9
**Autor:** Barblan, F.
**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-898162

**Nutzungsbedingungen**
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 11.07.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

# L'Univers, dis-moi ce que c'est?

## Planètes: épisode 9

F. BARBLAN

**Les Astéroïdes**

Les astéroïdes sont cette myriade de corps, estimés actuellement à un demi-million d'unités et dont le plus gros n'excède pas 1000 km de diamètre, situés entre Mars et Jupiter. Le premier astéroïde a été découvert par l'astronome italien G. Piazzi, directeur, à cette époque, de l'observatoire de Palerme, en 1801; il lui donne le nom de Cérès. Aidé par d'autres astronomes qui prirent la relève au niveau des observations et surtout par le jeune Gauss qui inventa, à cette occasion, une nouvelle méthode d'analyse des données, les paramètres orbitaux de Cérès furent rapidement disponibles (révolution en 1680 jours, distance au soleil 414 millions de kilomètres). C'est alors que l'on constata que la position de ce corps coïncidait parfaitement avec la «fameuse» planète manquante que la loi de Titius-Bode (voir **Orion 262**, épisode 1) prévoyait. Mais on s'est aussi très vite aperçu que la masse de Cérès était nettement plus faible que celle de n'importe quelle planète tellurique. Très vite (1802, 1803, 1804, 1807) d'autres «petites planètes» (astéroïdes) sont découvertes dans cette zone du système solaire. La ceinture des astéroïdes rentre dans l'histoire de l'astronomie.

Actuellement environ 18000 corps sont recensés (dont 13000 à l'aide du satellite infrarouge IRAS) et on a fait beaucoup de progrès dans la connaissance de ces objets. Mais la chasse aux astéroïdes et leur étude est loin d'être terminée; en effet ils présentent, pour les astronomes, un intérêt particulier parce que l'on suppose qu'ils constituent les restes d'origine (voir plus loin dans le texte) à partir desquels se sont formés les «planétésimes» ayant engendré par la suite les planètes internes.

Si on veut résumer les connaissances que nous avons maintenant sur les astéroïdes on peut dire que:

- Les caractéristiques orbitales sont très dispersées en ce qui concerne: – les demi-grands axes qui sont compris entre 2 et 4 unités astronomiques, – l'inclinaison sur l'écliptique qui peut aller jusqu'à 30 degrés et l'excentricité. Font exception deux astéroïdes: Hidalgo dont l'orbite dépasse largement celle de Jupiter et frôle celle de Saturne, et Eros qui circule entre la Terre et Mars en croisant l'orbite de ce dernier.

D'autre part, on constate qu'aucun astéroïde n'occupe une orbite impliquant une période de révolution qui se trouve en rapport simple (3/1,5/2,7/3,2/1) avec celle de Jupiter; ce sont les lacunes de Kirkwood. Ce sont des zones d'instabilité gravitationnelle; tout objet qui s'y trouve finit par en être éjecté sous l'influence gravifique de Jupiter. Cela a été probablement le cas pour une centaine de petits astéroïdes dont les orbites recoupent ou se rapprochent de celle de la Terre et de Mars; ils constituent le groupe des Apollo-Amor.

Un autre groupe particulier est celui des astéroïdes troyens qui sont situés sur les points de Lagrange du système Jupiter – Soleil, à savoir sur l'orbite de Jupiter à une distance angulaire de +60 et -60 degrés, formant ainsi avec Jupiter et le Soleil des triangles équilatéraux.

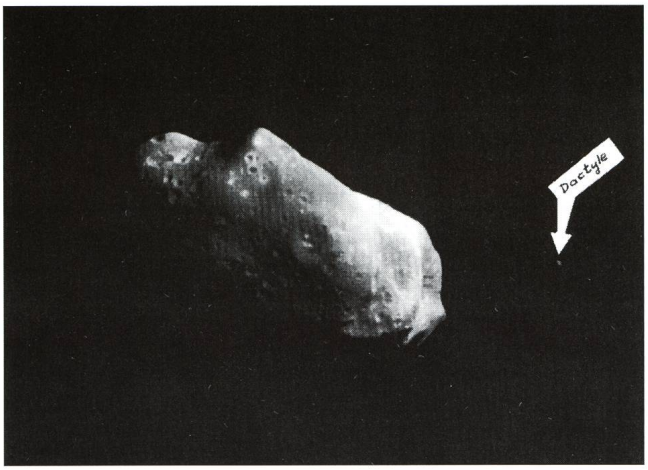



*Figure 1. L'astéroïde Ida et son petit satellite Dactyle. Photo prise par la sonde Galileo. (Source ESA)*

Les périodes de rotation des astéroïdes sont comprises entre 2 et 24 heures.

- L'astronomie infrarouge a permis de déterminer la constitution de la surface des astéroïdes. On peut les classer en quatre groupes:
  les astéroïdes C, correspondant aux astéroïdes sombres, riches en silicates et en carbone. Ils représentent environ le 50% et sont très fréquents dans la partie externe de la ceinture principale;
  les astéroïdes S constitués principalement de silicates (pyroxènes et olivines) ainsi que de fer et de nickel. Environ un astéroïde sur trois appartient à cette catégorie, ils sont abondants parmi les Apollo-Amor et dans la partie interne de la ceinture principale;
  les astéroïdes M entièrement métalliques (fer et nickel) et les astéroïdes U que l'on ne peut pas classer dans les trois premières catégories.
  On pense que les météorites pourraient provenir des astéroïdes, la ressemblance de composition étant pour certaines d'entre elles frappante.
- Le nombre d'astéroïdes augmente très rapidement lorsque leur taille diminue. Si cette dernière diminue d'un facteur dix le nombre augmente d'un facteur cent. Il y a un astéroïde dont le diamètre est supérieur à 900 km, c'est Cérès, il y en a 30 dont le diamètre dépasse 200 km et 700 ayant un diamètre supérieur à 50 km. On estime à 400000 le nombre d'astéroïdes ayant un diamètre plus grand que un kilomètre. Malgré ce nombre impressionnant le volume total de la ceinture principale permet à chaque astéroïde de disposer d'un «espace vital» de plusieurs millions de kilomètres.

– Dès la découverte des astéroïdes, les astronomes se sont posé la question de leur origine. Il était tentant, vu la positions qu'ils occupent, de penser immédiatement à la planète manquante de la loi de Titius-Bode. C'est ce que fit Olbers, en 1803, en émettant l'hypothèse que cette planète aurait par la suite explosé en formant ainsi la ceinture des astéroïdes. Mais cette théorie possède quelques défauts: – on n'est pas capable de donner une raison physiquement valable justifiant une explosion, – l'ensemble des orbites ne semblent pas être issues d'une explosion unique (voir la notion de famille), – les météorites sont constitués de matériaux primitifs n'ayant jamais subi de réchauffement ni de compression, comme c'est le cas pour les matériaux en provenance de l'intérieur d'une planète.

La théorie actuellement admise sur l'origine des astéroïdes suppose un blocage du processus d'accrétion (qui aurait du engendrer la planète manquante entre Mars et Jupiter) dû à l'interaction gravitationnelle induite par la naissance de Jupiter (V. S. Safronov, années 50). Cérès, le plus grand des astéroïdes, serait, dans ce scénario, le noyau de cette planète naissante. Mais la croissance rapide de Jupiter aurait provoqué, d'un côté, un énorme brassage des orbites des astéroïdes d'origine augmentant ainsi le nombre des collisions destructrices provoquant, entre autre, l'éjection de matériel hors du système solaire, et d'un autre côté, l'arrêt de la croissance de Cérès.

– On pense, qu'à l'origine, les astéroïdes avaient des tailles nettement plus grandes qui ont été réduites progressivement, par des collisions multiples leur donnant les formes et les dimensions observées actuellement. En 1918, l'astronome japonais Hirayama introduisit la notion de «famille». Si on place les astéroïdes dans un diagramme à trois dimensions «demi-grand axe – excentricité – inclinaison», on constate des points «d'accumulation», des zones à forte concentration d'éléments. Les astéroïdes appartenant à un tel groupe constituent une famille. En fait il s'agit là de corps issus d'une même collision violente ayant brisé un objet de grande dimension en plusieurs centaines de morceaux. Il y a trois familles bien identifiées qui prennent le nom de l'astéroïde le plus grand qui en fait partie: Koronis, Eos et Thémis. Les spécialistes affirment qu'il en existe nettement plus, mais elles sont difficilement identifiables sans faire intervenir des moyens statistiques complexes. En effet, il ne faut pas oublier que les astéroïdes subissent de fortes variations des éléments dynamiques à cause de l'action gravitationnelle des grandes planètes comme Jupiter et Saturne. Ces variations se produisent à des échelles de temps de l'ordre de 10000 à 100000 ans, donc très brèves par rapport à la durée de vie du système solaire. Pour retrouver les membres d'une même famille il faut donc remonter dans le temps et reconstituer la trajectoire d'origine de l'astéroïde pour pouvoir l'associer à un autre élément.

– Malgré leur faible champ gravitationnel, des astéroïdes binaires ont été mis en évidence par différentes techniques: occultation d'étoiles, réflexion d'ondes radio émises par des radiotélescopes et courbes de lumière. On pense que ces corps multiples se forment lors de collisions dans la situation suivante: deux fragments peuvent s'éloigner avec des directions et des vitesses semblables; si la différence entre les deux vitesses est plus petite que les vitesses de libération réciproques, il y a capture mutuelle.

Vers la fin des années 70 et le début des années 80, beaucoup de projets d'exploration spatiale des astéroïdes ont été proposés (Earth Grazing Asteroids (USA), Agore (ESA), Piazzi (Italie)) mais peu ont pu être concrétisés. En 1984, la NASA prend la décision que toute sonde qui traversera la ceinture principale doit tenter le survol d'au moins un astéroïde. C'est ainsi qu'il a été possible d'obtenir enfin une vue rapprochée de deux astéroïdes Gaspra (1991) et Ida avec son satellite Dactyle (1993) (figure 1), par l'intermédiaire de la sonde Galileo en route vers Jupiter. La même opération sera reconduite avec la sonde Cassini dont la destination est Saturne et qui devrait quitter la Terre au courant de l'année 1997. Le 17 février 1996 a été lancé, dans le cadre du programme NEAR (Near Earth Asteroid Rendez-vous, USA), une sonde qui doit se mettre en orbite autour de l'astéroïde Eros d'ici 1999.

**Les Comètes**

Dès l'antiquité, les comètes ont fasciné l'homme. C'était des objets mystérieux dont on ne comprenait pas bien l'origine et la subite apparition dans le ciel. Elles ont engendré des superstitions et ont été souvent considérées comme des objets de mauvais augure, associés aux guerres, aux famines et aux épidémies. Leur appartenance au système solaire n'a pu être établie qu'au début du XVIII$^{e}$ siècle, lorsque Halley détermina avec exactitude l'orbite de la fameuse comète qui porte maintenant son nom. Depuis, la connaissance de ces objets a fait d'énormes progrès, mais beaucoup de points restent encore obscurs. En 1950 Oort, en étudiant les trajectoires d'une vingtaine de comètes à longue période, est amené à formuler l'existence d'un réservoir à comètes (ayant reçu le nom de nuage d'Oort) situé à une distance entre 50000 et 100000 UA du soleil. Le résultat d'Oort a été confirmé plus tard par Marsden dont les calculs ont porté sur deux cents comètes. Deux théories ont été formulées pour expliquer la formation du nuage d'Oort. Dans l'une on pense que les comètes se sont formées près des planètes à une distance de quelques dizaines d'UA et ont été, par la suite, éjectées sous l'influence gravitationnelle des planètes géantes. Dans l'autre, on estime que les comètes sont nées là où elles se trouvent maintenant par accrétion lors de l'effondrement de la nébuleuse protosolaire. Le nuage d'Oort contiendrait environ un milliard de comètes pour une masse totale équivalente à celle de la Terre. Au hasard des perturbations gravitationnelles dues au passage «proche» d'une étoile, un élément en est extrait et projeté «contre» le soleil.

*Figure 2. La comète de Halley le 9 décembre 1985. On a estimé le diamètre de la coma à environ 20 millions de kilomètres. (Source [1])*

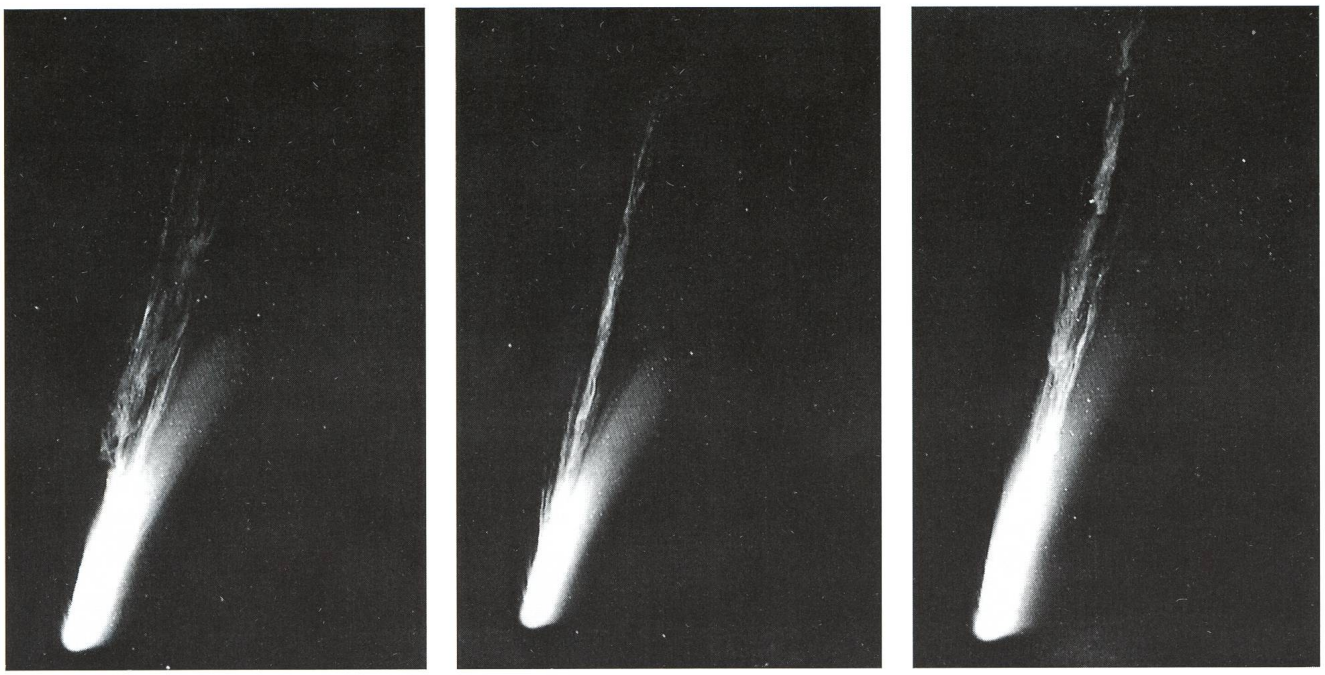


*Figure 4. Evolution des queues de la comète Mrkos entre le 22 et le 26 août 1957. (Source [1])*

Les comètes seraient donc des messagères du passé, témoins directs de l'époque de formation du système solaire. Il est même probable que certaines d'entre elles portent des informations venant de l'extérieur du système solaire, puisqu'on pense qu'il peut y avoir échange (par interaction gravitationnelle) entre réservoirs à comètes de différentes étoiles. Et ceci, à cause des mouvements réciproques des étoiles dans le voisinage du soleil et du déplacement de ce dernier dans la galaxie. Tous les deux cents millions d'années, le soleil passe dans les bras spiraux de la galaxie. A cette occasion, les noyaux des comètes peuvent s'enrichir de poussières et de particules extra-solaires. On comprend alors l'importance accordée à l'étude des comètes, puisque toute théorie cosmogonique doit automatiquement rendre compte de la formation et du comportement de ces noyaux glacés. Profitant du retour de la comète Halley (figure 2), une série de cinq sondes ont été envoyées à sa rencontre. En particulier Giotto[1] (figure 3), la sonde de l'agence spatiale européenne, qui a survolé le noyau de la comète à une distance de seulement 600 kilomètres.

Une comète est donc un corps de consistance solide (le noyau) de quelques kilomètres de diamètre, composé de glaces ou de neiges compactes intimement mêlées à des poussières solides ayant des dimensions de l'ordre du micron en moyenne. Elle se déplace sur une orbite très excentrique autour du Soleil. A l'aphélie (point de l'orbite le plus éloigné du Soleil), le noyau est froid et nu; à l'approche du Soleil, les glaces de la surface du noyau s'évaporent (subliment), entraînant l'éjection de gaz et de particules solides, c'est la formation de la chevelure ou coma (le mot comète vient du grec kometes qui signifie chevelu). Si les quantités de gaz et de poussières éjectées sont suffisantes, il se forme un gigantesque «nuage» de poussière de plusieurs dizaines de millions de kilomètres de long, éclairé par le Soleil, la queue (figure 4).

Ainsi, à chaque passage dans le voisinage du Soleil, le noyau de la comète perd définitivement une partie de sa masse. On a pu, effectivement, remarquer la perte régulière de la luminosité d'une comète de courte période (3,3 années). Après un nombre

*Figure 3. La fresque de Giotto avec la représentation de la comète de Halley. (Source [2])*

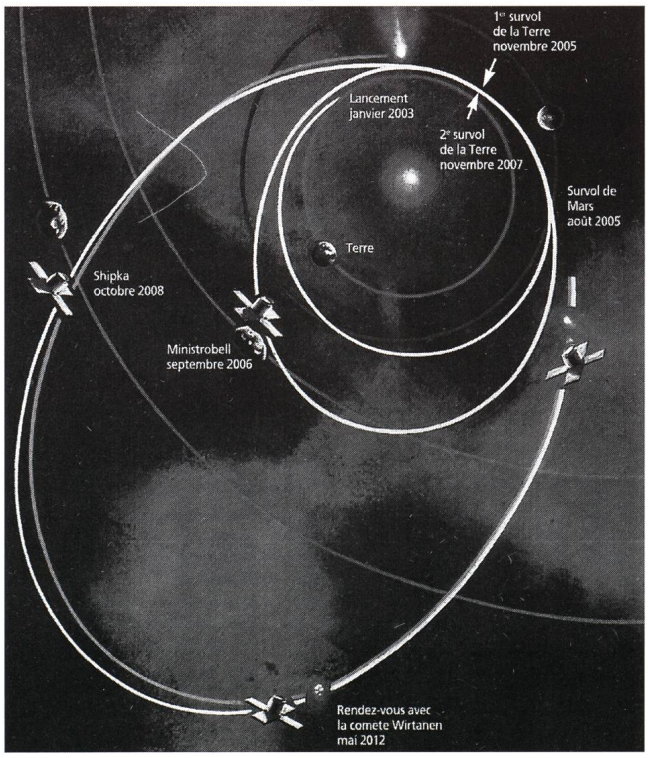
[1] Giotto, peintre italien (1266 – 1337) a représenté la comète de Halley dans une de ses fresques de la chapelle des Scrovegni à Padoue.

variable de passages au périhélie, une centaine ou quelques milliers, on constate que, selon la grandeur d'origine du noyau, ce dernier se consume complètement et que la comète disparaît à jamais. Même pour une comète de longue période, sa durée de vie n'excède pas quelques dizaines de millions années au maximum. On pense que certains astéroïdes ne sont rien d'autres que les restes de comètes (on suppose là, évidemment, qu'une comète puisse être constituée d'une partie centrale rocheuse).

Le noyau d'une comète ne peut jamais être observé directement en tout cas depuis le sol. En effet, en tant que corps de petite taille et de faible albédo, il est très difficilement observable lorsqu'il est «tout nu» à grande distance, près de l'aphélie; à des distances plus rapprochées il est automatiquement caché par la chevelure. C'est seulement une sonde qui peut fournir une image d'un noyau de comète.

Giotto a révélé que celui de la comète de Halley était de forme oblongue (patatoïde), de dimensions d'environ 15 kilomètres sur 10 kilomètres, très sombre et muni d'un mouvement de rotation sur lui-même de 53 heures. La surface est très irrégulière et on y distingue des structures ressemblant à des cratères d'impact, des collines et des vallées. La sonde a aussi permis de constater que le dégazage se fait par un nombre limité de surfaces actives (neuf jets), sur le côté éclairé du noyau, ne constituant qu'un faible pourcentage de la surface totale de ce dernier. On estime, au moment de la rencontre de Giotto avec la comète, à 3,1 tonnes par secondes la quantité de matière éjectée par le noyau. Le 80% des gaz éjectés est de la vapeur d'eau et le débit de production des gaz s'élève a $6{,}9.10^{29}$ molécules par seconde avec une vitesse d'expansion des gaz de l'ordre de 0.9 km/s. La quantité de gaz éjecté est cinq fois plus grande que celle des poussières. 150 millions de tonnes de matière sont perdues par la comète Halley, lors de chaque rencontre avec le Soleil. Mais cela constitue un amaigrissement minime pour le noyau qui perd ainsi une couche d'une épaisseur d'environ cinq mètres. A ce rythme, cette comète peut nous émerveiller par son spectacle, peut-être encore pendant trois mille passages au voisinage du Soleil.

*Figure 5. Trajectoire et rendez-vous de la sonde Rosetta, en route vers la comète Wirtanen. (Source [1])*




Un des problèmes qui intéresse évidemment les astronomes est celui de la constitution du noyau. En 1950 Whipple élabore le modèle de la «boule de neige sale». Giotto a montré, en tout cas dans le cas de Halley, qu'il s'agit d'une boule de neige «très sale». En effet le pouvoir réfléchissant du noyau est seulement de 4%. Sa surface est donc très noire et elle semble représenter un bouclier thermique efficace contre le rayonnement solaire. Les premiers et derniers impacts de particules enregistrés par la sonde Giotto ont eu lieu à environ 200'000 kilomètres de distance de l'endroit de rapprochement minimal. Les particules détectées ont un diamètre de l'ordre de 10 microns. Le spectromètre de masse a identifié de l'hydrogène, du carbone, de l'azote, de l'oxygène, du sodium, du magnésium, du silicium, du potassium et du fer. L'analyse spectrographique, dans le visible, de la lumière de la comète, effectuée à partir de la Terre, met en évidence des radicaux comme CN, CH, OH, $NH_2$, NH, $C_2$, $C_3$ qui proviennent de la dissociation des molécules mères éjectées du noyau. Ces molécules mères sont difficilement observables puisqu'elles rayonnent en principe dans l'infrarouge et dans le millimétrique. Les ions et les radicaux sont par contre facilement observables en lumière visible et dans l'UV. La chasse aux molécules mères nécessite donc l'utilisation de la spectroscopie infrarouge et de la radioastronomie. Malgré l'utilisation de ces techniques évoluées, la certitude de l'existence de molécules mères se limite à celle de l'eau, à celle de l'acide cyanhydrique et à celle du dioxyde de carbone. Une très forte abondance de ions C+, détectée dans la chevelure de la comète, témoigne d'une source directe de carbone atomique ce qui constitue un fait tout a fait inattendu.

Une comète possède deux queues, une très brillante et légèrement incurvée, constituée de poussières qui sont repoussées par la pression de radiation du rayonnement solaire (ce qui explique sa position à l'opposé du Soleil), et une autre rectiligne, constituée de plasma, qui est repoussée par le vent solaire. Les plus grosses poussières (d'environ 1 mm de diamètre), constituant la queue, se dispersent progressivement le long de la trajectoire de la comète. Lorsque la Terre, dans son mouvement orbital passe à travers un tel «tube» de poussières, il se produit une pluie d'étoiles filantes.

Giotto a aussi fourni des informations sur le magnétisme de la comète et, en particulier, l'interaction de l'atmosphère ionisée de celle-ci avec le vent solaire. Les premiers signes de cette interaction ont été décelés à un millions de kilomètres du noyau, sous forme d'ondes de plasma en provenance de la comète.

Pour terminer, quelques mots du projet Rosetta de l'ESA (figure 5). Cette sonde doit, en principe, quitter la Terre en janvier 2003. Après un survol de Mars en août 2005 et deux survols de la Terre en novembre 2005 et en novembre 2007, elle se placera sur l'orbite de la comète Wirtanen qu'elle rejoindra en mai 2012. Il est prévu qu'elle se satellise autour de cette comète à une distance variant de 1 à 150 kilomètres, elle y déposera aussi deux modules pour l'étude de terrain.

Avec cet épisode se termine ce voyage à travers notre système planétaire. Il est important de remarquer que les récentes découvertes de planètes autour d'autres étoiles de type solaire (51 Pegasi [découverte par les astronomes de

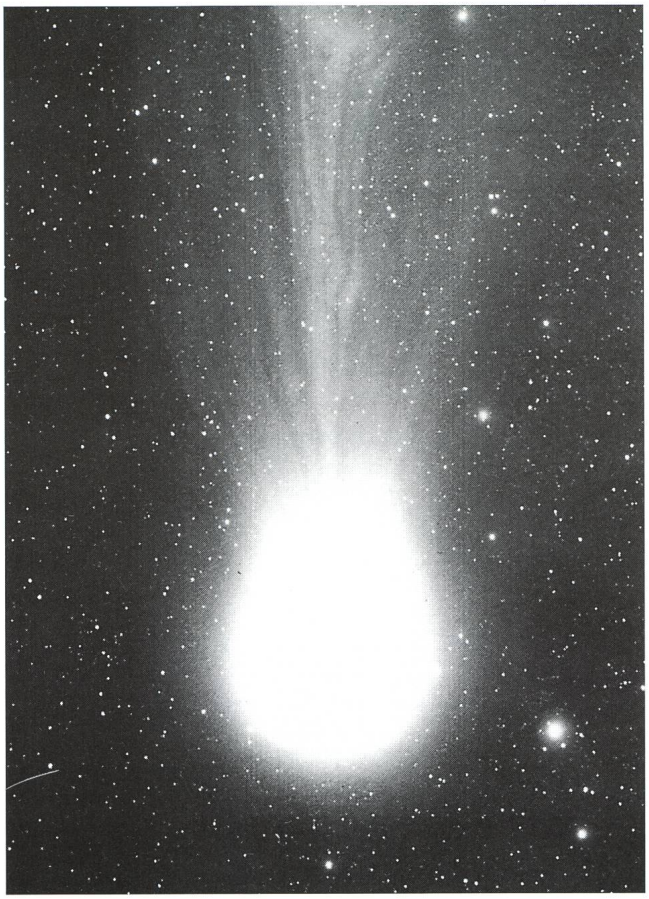


*Figure 6. La comète Hyakutake. (Source [1])*

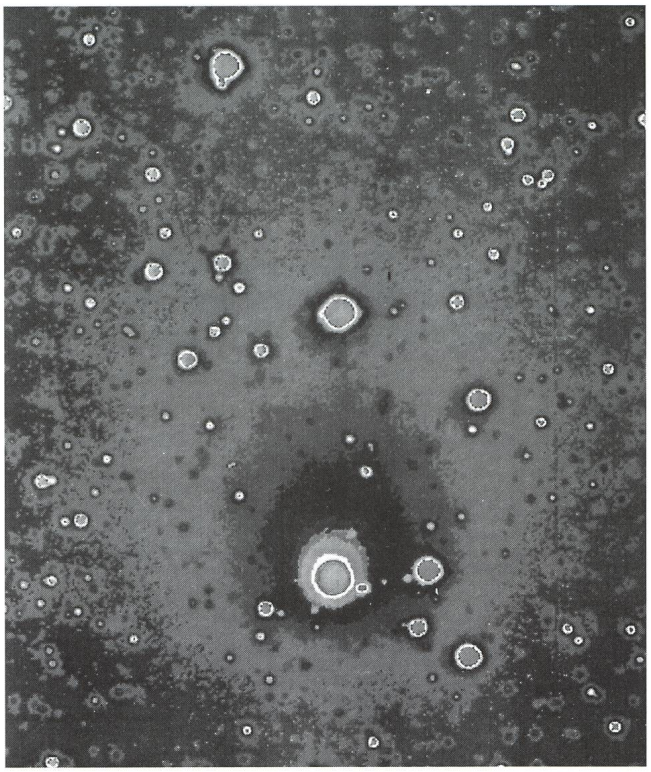
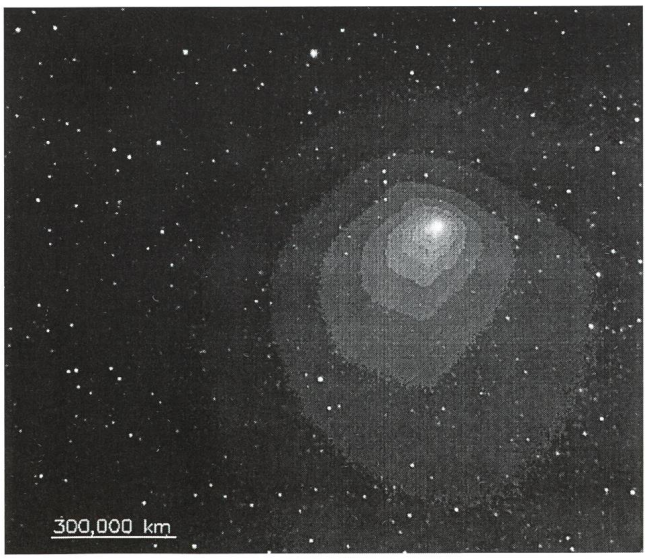


*Figure 8. Image CCD, prise au télescope Suisse de la Silla par les astronomes de l'observatoire de Genève, de la comète Hale-Bopp.*

*Figure 7. La comète Hale-Bopp, vue par le télescope danois de 1.54 m à la Silla (ESO) le 18 août 1996 lorsqu'elle se trouvait à 414 millions de kilomètres de la Terre. (Source ESO)*




l'Observatoire de Genéve], 47 Ursae Majoris, 70 Virginis, 55 Cancri, Lalande 21185, Tau Bootis et HD 114762), ayant des caractéristiques orbitales et de masses en contradiction avec ce que nous observons dans le système solaire, rend la nécessité de connaître encore mieux son histoire et son évolution plus actuelle que jamais.

Nous poursuivrons notre découverte de l'univers en parlant des étoiles, des galaxies, de la matière interstellaire et de sa structure à grande échelle.

F. BARBLAN
2a Ch. Mouille-Galand, CH-1214 VERNIER
Fabio.Barblan@obs.unige.ch

**Bibliographie**

[1] *Comètes. Les archives du ciel*, Numéro spécial Ciel et Espace, 1996
*L'esprit de famille chez les astéroïdes*, D. BENEST, P. FARINELLA, C. FROESCHLE, La Recherche 275 vol. 26, 1995
*Comets a chronological history of observation, science, myth and folklore*, D. K. YEOMANS, Edition J. Wiley, 1991
*Physics and Chemistry of Comets*, W. F. HUEBNER, Springer-Verlag, 1990
*Les champs de neige du cosmos*, H. REEVES, Ciel et Espace 210, 1986
*Les molécules des comètes*, J. CORVISIER, Ciel et Espace 210, 1986
*Giotto – Halley: bilan d'une rencontre historique*, P. LA COTARDIÈRE, Ciel et Espace 213, 1986
[2] *Comets*, J. C. BRANDT, Readings from Scientific American, 1981
*Les comètes*, J. DUFAY, Que sais-je 1236, 1966