

# Petit aperçu des comètes

Françoise Raucq, doctorante en Sciences Spatiales

*Département d'Astrophysique, Géophysique et Océanographie de l'Université de Liège, Groupe d'AstroPhysique des Hautes Énergies*

Dans le monde de l'astronomie, on entend beaucoup parler depuis quelques mois de la mission spatiale européenne Rosetta, et de sa sonde Philae qui s'est posée sur la comète Churyumov-Gerasimenko, dite "Tchouri", en novembre dernier. Dans cet article, j'aimerais rappeler en quelques mots ce qu'est une comète, d'où elle vient, et en quoi ces corps célestes sont importants aux yeux des astrophysiciens.

## Qu'est-ce qu'une comète?

Les comètes font partie de ce qu'on appelle les petits corps du Système Solaire. Elles sont observées depuis la prime jeunesse de l'humanité, et étaient généralement considérées dans les temps anciens comme de mauvais présages. Par exemple, la mort de Jules César en l'an -44 et celle d'Attila en 451, ainsi que la chute de Constantinople en 1456 furent autant de tragiques événements associés au passage de comètes particulièrement brillantes dans le ciel.

Le mot "comète" vient du mot grec *κομητης* (kometes), qui signifie littéralement "ayant une longue chevelure". Le philosophe grec Aristote fut le premier à utiliser cette appellation pour décrire ce qu'il voyait comme étant une "étoile avec des cheveux".

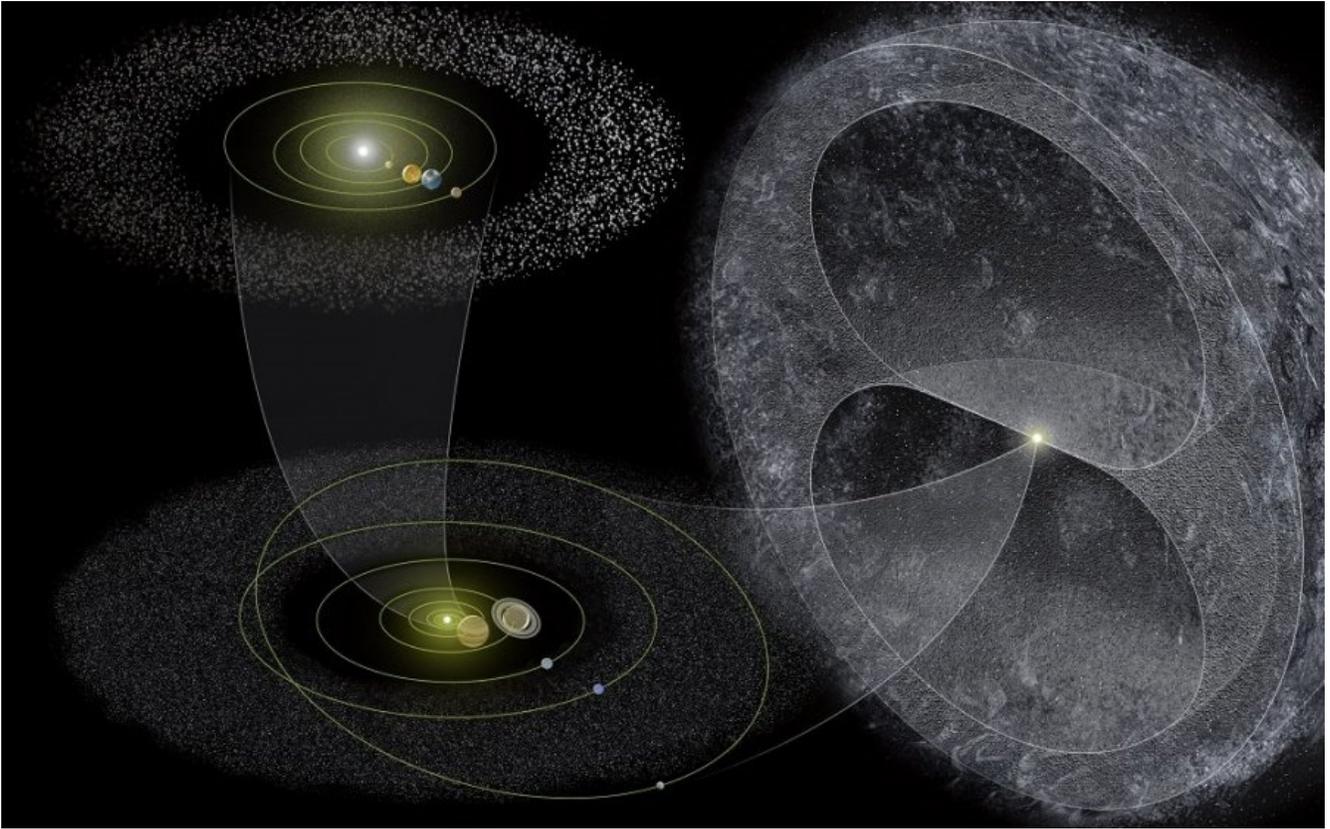
On connaît actuellement plus de 5000 comètes, et ce nombre est en constante augmentation. Pourtant, cela ne représente qu'une infime fraction de la population totale potentielle de comètes : la partie externe du système solaire pourrait contenir plusieurs milliers de milliards de comètes.

## D'où viennent-elles?

La communauté scientifique estime que la plupart des comètes viennent d'un gigantesque nuage de glace et de poussière qui englobe le Système Solaire. Ce nuage, nommé le Nuage de Oort, s'étend plusieurs dizaines de milliers de fois plus loin du Soleil que ne l'est la Terre. Un astre, en frôlant le Système Solaire, aurait perturbé le mouvement de certaines comètes dans le Nuage de Oort, les envoyant vers l'intérieur du Système Solaire. Une petite fraction des comètes sont originaires de la Ceinture de Kuiper, qui est un anneau de poussière qui s'étend juste au-delà des limites du Système Solaire. Certaines comètes particulières viennent également de la Ceinture Principale d'astéroïdes, qui se situe entre Mars et Jupiter.



**Figure 1:** 32ème scène de la tapisserie de Bayeux, mettant en scène la bataille de Hastings en 1066, avec l'apparition de la comète de Halley dans le ciel à la veille de la bataille.



**Figure 2:** Vue d'artiste du Système Solaire et des réserves de comètes. En haut à gauche, le soleil avec les 4 planètes telluriques et la Ceinture Principale d'astéroïdes, juste en-dessous, un zoom arrière montrant en plus les 4 planètes géantes et la Ceinture de Kuiper, avec Pluton; à droite, un plan général montrant le système planétaire entouré du nuage d'Oort

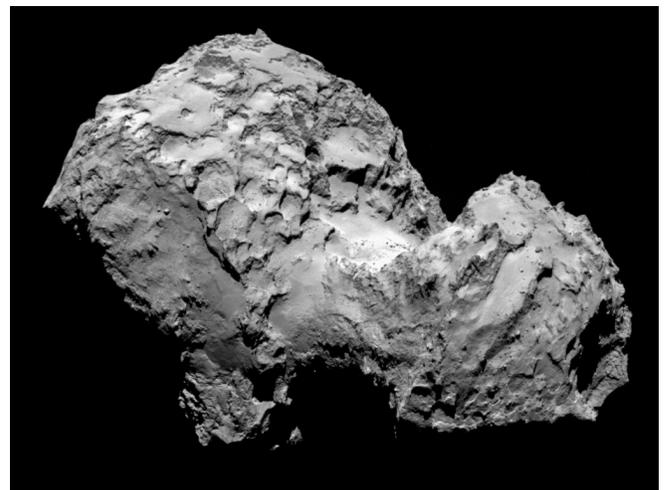
## A quoi ressemblent-elles?

### Le noyau

Les comètes sont essentiellement constituées d'un noyau solide composé de pierres, poussières, glace d'eau et d'autres composés tels que le monoxyde de carbone, le dioxyde de carbone, le méthane et l'amoniac. Ces noyaux ont une taille allant d'environ 100 mètres à une quarantaine de kilomètres de diamètre. Du fait de leur faible masse, les noyaux cométaires ne sont pas devenus sphériques sous l'effet de leur gravité, mais ont conservé une forme irrégulière. Selon les règles d'appellation de la NASA, un petit corps doit être constitué d'au moins 85% de glace pour être considéré comme étant une comète.

Étrangement, les noyaux cométaires font partie des objets les moins réfléchissants du Système Solaire. En effet, leur surface ne reflète que 2 à 4% de la lumière qu'elle reçoit. Par comparaison, le charbon en reflète 5%. Ceci est probablement dû à une surface faite de pierres et de poussières, elles-mêmes recouvertes d'une couche de molécules organiques solides (comme du goudron). Cette grande obscurité de la surface des noyaux comé-

taires leur permet d'absorber la chaleur nécessaire aux processus d'évaporation des matériaux volatils lorsque la comète s'approche du Soleil.



**Figure 3:** Le noyau de la comète Churyumov-Gerasimenko photographié par Rosetta.

## La coma et les queues

Lorsqu'elles sont dans la partie externe du Système Solaire, les comètes sont difficiles à détecter et à distinguer des astéroïdes, à moins de faire partie des quelques centaines de comètes dont on a pu modéliser avec précision le mouvement orbital. Lorsqu'elles approchent du Soleil, par contre, tout change : le rayonnement solaire va causer l'évaporation des éléments volatils présents dans la comète, entraînant de la poussière avec eux. Ce nuage de gaz et de poussières ainsi libéré va former une atmosphère très étendue mais extrêmement ténue autour de la comète, qu'on appelle "coma".

La pression de radiation solaire et la force due au vent solaire exercées sur la coma vont entraîner la formation de deux queues distinctes. La première, appelée queue de type I, est constituée de gaz ionisés (possédant une charge électrique) et pointe en permanence dans une direction



*Figure 4 : Photographie de la coma de la comète de Holmes.*



*Figure 5 : Photographie de la comète de Hale-Bopp, avec ses deux queues distinctes : La queue de poussières est blanche tandis que la queue d'ions est bleutée.*

La coma et les queues sont illuminées par le Soleil et peuvent donc rendre la comète visible depuis la Terre lorsqu'elle s'approche du centre du Système Solaire, la poussière reflétant directement la lumière du Soleil et les gaz rayonnant par ionisation. La plupart des comètes sont trop peu lumineuses pour être observées sans l'aide d'un télescope, mais quelques unes par décennies sont assez brillantes pour être vues à l'oeil nu. On appelle ces comètes particulièrement brillantes "Grandes Comètes".

La prédiction de l'apparition d'une grande comète est très difficile, car beaucoup de facteurs sont à prendre en compte. En général, si une comète possède un grand noyau actif, a une trajectoire qui l'amène proche du Soleil et n'est pas cachée pas lui vu de la Terre, alors elle a des chances de devenir une grande comète. Parmi ces comètes célèbres, on peut citer notamment la comète de Halley (période de 75 ans, dernier passage en 1986), Hyakutake (comète à passage unique visible à l'oeil nu en 1996), Hale-Bopp (passage spectaculaire de 18 mois de mai 1996 à décembre 1997 après modification de son orbite par interaction avec Jupiter) et McNaught (visible à l'oeil nu dans l'hémisphère sud en janvier 2007).



**Figure 6:** Photographie du passage de 1986 de la comète de Halley.



**Figure 7:** Photographie de la comète de Hyakutake en 1996.



**Figure 8:** Photographie de la comète de Hale-Bopp en 1997.



**Figure 9:** Photographie de la comète de McNaught en 2007.

## Leur mouvement dans l'espace

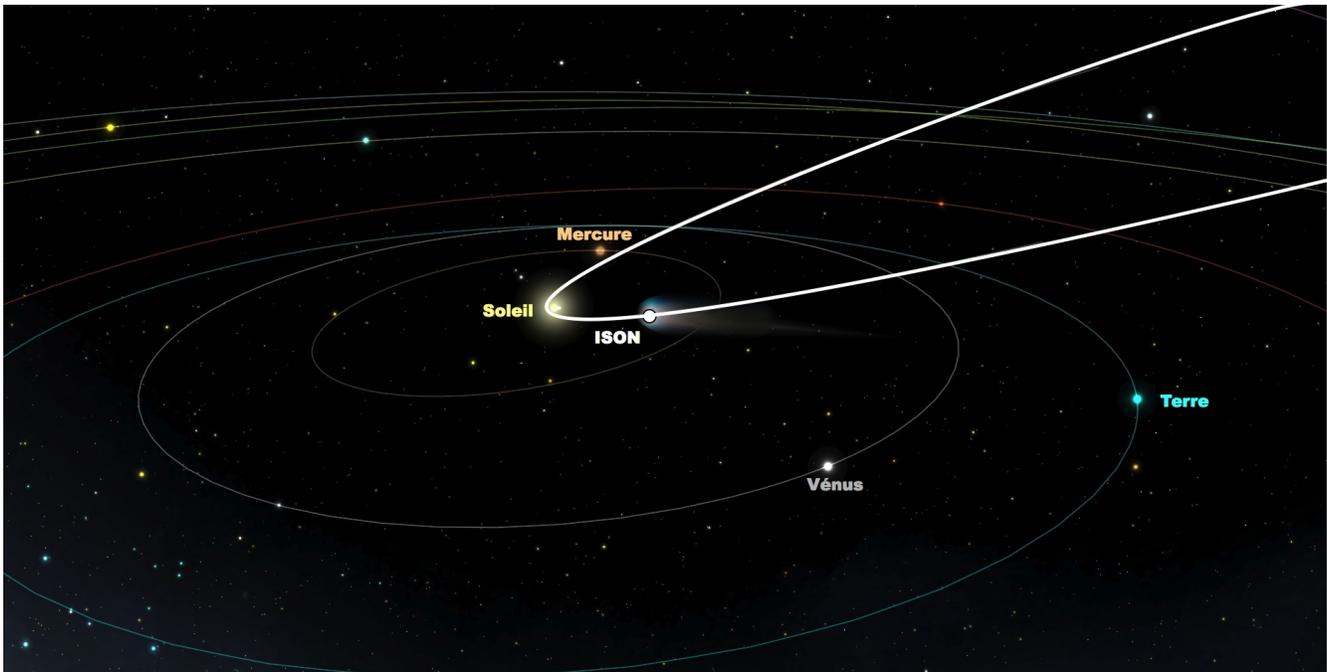
La plupart des comètes ont une orbite elliptique allongée qui les amène près du Soleil pour une petite partie de leur trajectoire, puis jusque dans les fins fonds du Système Solaire, dans le Nuage de Oort, en leur point le plus éloigné du Soleil, appelé l'aphélie.

Les comètes sont souvent classées en fonction de la longueur de leur période orbitale : plus la période est longue, plus l'ellipse est allongée.

- \* Les comètes à courte période sont généralement définies comme ayant une période orbitale de moins de 200 ans. Elles orbitent généralement dans un plan proche de celui de l'écliptique, le plan dans lequel orbitent les planètes. Leur orbite s'étend typiquement jusqu'aux planètes externes (Jupiter et au-delà). Les comètes à courte période sont subdivisées en deux familles : la famille de Jupiter, avec des périodes de moins de 20 ans, et la famille de Halley, avec des périodes de 20 à 200 ans. Sur base de leurs caractéristiques orbitales, il est probable que ces comètes à courte période soient originaires de la Ceinture de Kuiper.
- \* Les comètes à longue période ont des périodes orbitales pouvant aller de 200 ans à des milliers d'années. Leur orbite les emmène jusque dans le Nuage de Oort, dont elles sont probablement originaires, et est inclinée de manière aléatoire par rapport à l'écliptique.

- \* Les comètes à passage unique présentent une orbite parabolique ou légèrement hyperbolique, plutôt que de forme elliptique. Cette forme particulière de l'orbite est due à des perturbations gravitationnelles de l'orbite initiale dues à la présence des planètes géantes sur celle-ci. Ces perturbations peuvent amener un éloignement de l'aphélie de l'orbite au-delà des limites du Nuage de Oort. Tout comme les comètes à longue période, elles peuvent provenir de n'importe quelle direction, n'évoluant pas nécessairement dans le plan de l'écliptique.
- \* Les comètes provenant de la Ceinture Principale d'astéroïdes forment une classe à part, avec des orbites presque circulaires à l'intérieur de cette ceinture.

Puisque leur orbite les amène fréquemment à proximité des planètes géantes, les comètes sont toujours sujettes à des perturbations gravitationnelles. Jupiter est la plus grande source de perturbations, de par sa masse deux fois supérieure à la masse de l'ensemble des autres planètes du Système Solaire et sa vitesse de déplacement élevée.



*Figure 10: Diagramme en 3D représentant l'orbite de la comète ISON en comparaison avec les orbites planétaires.*

Au cours de son dégazage, une comète va semer un nuage de débris solides le long de son orbite. Si l'orbite de cette comète croise celle de la Terre, cela va donner lieu à un événement spectaculaire bien connu de tous : les pluies d'étoiles filantes. En effet, lorsque la Terre entre dans un tel champ de débris cométaires, ces derniers, en pénétrant dans la haute atmosphère terrestre, vont s'échauffer et s'ioniser, ce qui engendre les traînées lumineuses que nous appelons étoiles filantes. Ainsi, la pluie des Perséides, qui a lieu tous les ans entre le 9 et le 13 août, est due au croisement de l'orbite de la comète Swift-Tuttle. La comète de Halley, quant à elle, est responsable de la pluie des Orionides, au mois d'octobre. L'intensité d'une pluie d'étoiles filantes est variable au fil des années, et dépend notamment du réensemencement en poussières lors du passage de la comète responsable.

## La mort d'une comète

Comme tout ce qui se trouve dans notre Univers, les comètes interagissent avec leur environnement, ce qui va les amener à évoluer au cours de leur "vie", jusqu'à leur "mort". On peut observer quatre façons de mourir, pour les comètes :

- \* Éjection du Système Solaire : Si une comète voyage suffisamment vite, elle peut quitter le Système Solaire. C'est le cas des comètes à trajectoire hyperbolique. A l'heure actuelle, les seules comètes que nous connaissons qui



*Figure 11: Photographie prise durant la pluie des Perséides en 2011.*

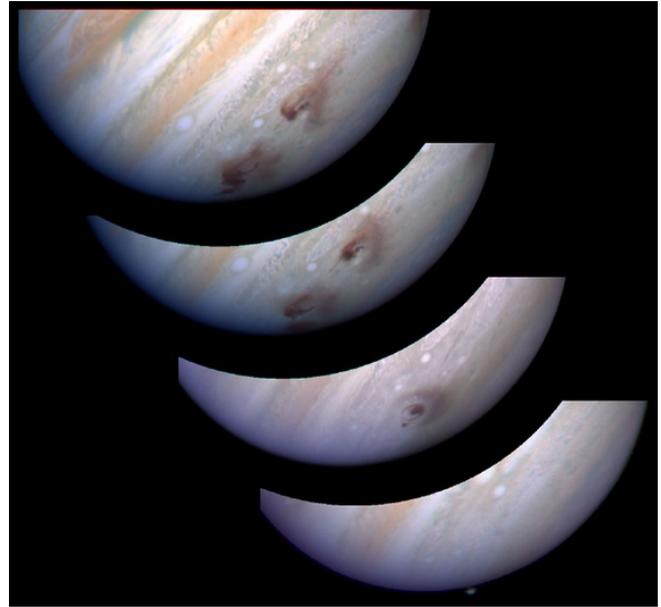
ont été éjectées de la sorte sont au préalable entrées en interaction avec Jupiter, ce qui a causé une modification de leur orbite initiale.

- \* L'épuisement des matériaux volatils : Lorsque la majeure partie des matériaux volatils présents dans une comète se sont évaporés sous l'action du Soleil, celle-ci n'est plus constituée que d'un petit noyau de roche inerte qui ressemble fortement à un astéroïde. Elle n'est alors plus considérée comme un comète à part entière, puisqu'elle ne contient plus de glace. Parmi les comètes qui connaissent cette extinction, on observe deux catégories principales. En effet, les comètes à courte période de la famille de Jupiter peuvent vivre jusqu'à 1000 cycles orbitaux, soit 1000 passages au point de leur orbite le plus proche de Soleil, le périhélie. A l'inverse, seulement 10% des comètes à longue période survivent à plus de 50 passages à leur périhélie avant d'avoir épuisé leur contenu en matériaux volatils.
- \* Désintégration : Certaines comètes se désintègrent en petits fragments. Cela arrive sous l'action des forces de marée du Soleil ou d'une planète géante, ou par une augmentation significative de la température du noyau, ce qui cause une "explosion" des poches de gaz contenues dans le noyau cométaire.
- \* Collisions : Certaines comètes rencontrent une fin encore plus spectaculaire, entrant en collision avec le Soleil, une planète ou un autre corps céleste. Certains des cratères lunaires, par exemple, pourraient être l'oeuvre de comètes.

Beaucoup de comètes et d'astéroïdes sont entrés en collision avec la Terre à la naissance du Système Solaire. Il est probable qu'un bombardement cométaire il y a environ 4 milliards d'années ait apporté l'eau présente actuellement sur Terre, ou au moins une grande partie. Cette théorie est particulièrement étudiée par le monde scientifique, puisqu'elle est cruciale dans l'apparition de la vie sur Terre. La détection de molécules organiques dans les comètes amène aussi à s'interroger sur leur rôle dans l'apparition de la vie elle-même.



**Figure 12:** Désintégration de la comète Schwassmann-Wachmann 3 en 1995.



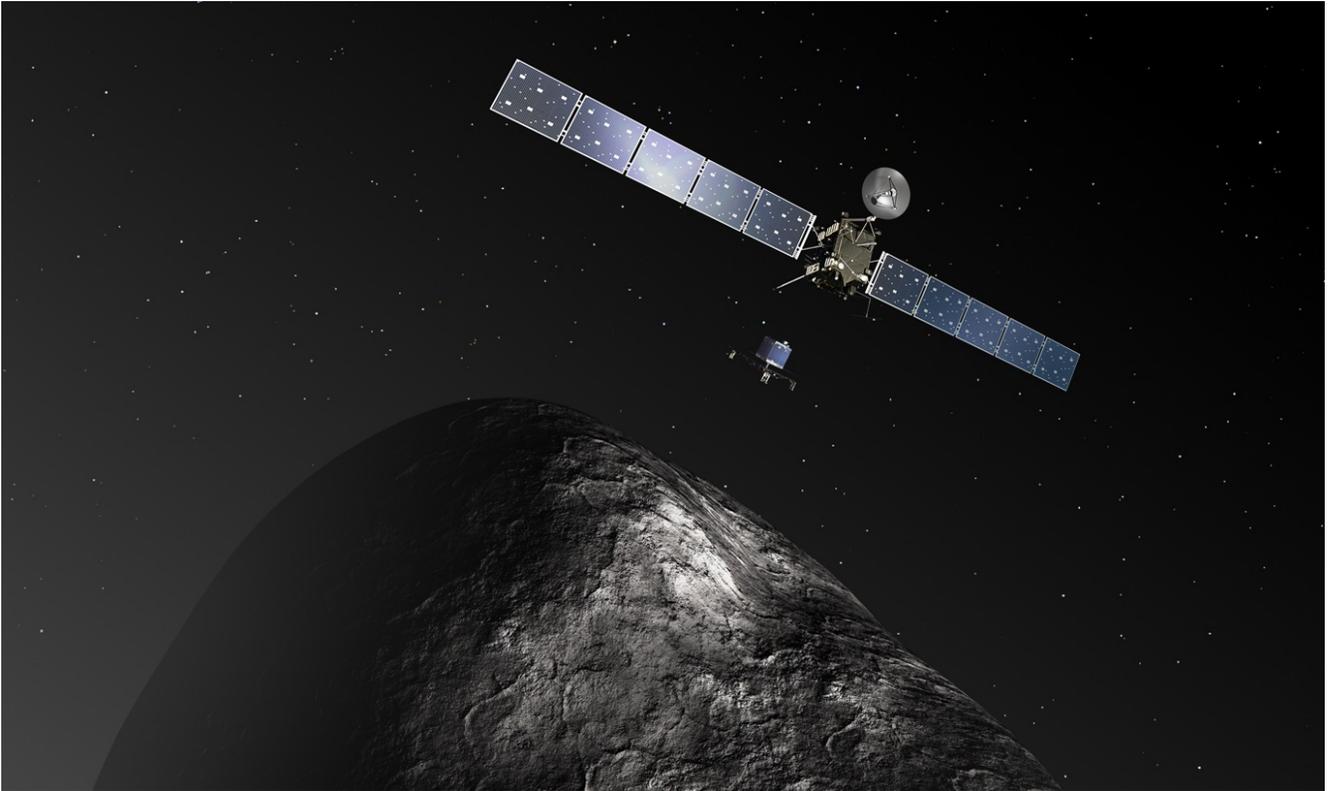
**Figure 13:** Images de la zone de collision de la comète Shoemaker-Levy 9 à la surface de Jupiter en juillet 1994. La comète s'est fragmentée peu avant la collision, créant plusieurs zones d'impact.

## Missions spatiales

On peut dire que nos connaissances sur les comètes ont beaucoup évolué ces dernières années, avec l'avènement de l'ère spatiale. En effet, jusque là nos seules informations à leur sujet concernaient essentiellement leur coma et leurs queues, puisqu'il s'agissait des seuls éléments qu'il nous était possible d'observer depuis le sol. Avec les missions spatiales, il nous a été possible d'aller voir plus loin, d'effectuer des mesures in situ, non seulement dans la coma et les queues, affinant ainsi nos connaissances de leur composition chimique, mais aussi sur le noyau cométaire lui-même!

Parmi ces missions, on peut citer les trois plus récentes :

- \* La sonde américaine Stardust, lancée le 7 février 1999, passe à moins de 236 km de la comète Wild 2 le 24 janvier 2004. A cette occasion, elle prélève de la poussière en traversant la queue de la comète, qu'elle ramène sur Terre le 15 janvier 2006. Ces échantillons ont permis de montrer que la queue des comètes contient des matériaux cristallins, créés à de très fortes températures. Ainsi, malgré leur création dans les confins glacés du Système Solaire, les comètes seraient constituées de matière originaires de la partie interne du Système Solaire, qui aurait été éjectée vers l'extérieur du disque planétaire lors de la formation de celui-ci. De plus, la mission a montré que la poussière contenue dans le noyau cométaire est semblable à celle qui constitue les astéroïdes, amenant les scientifiques à repenser la distinction faite entre comètes et astéroïdes.
- \* La sonde américaine Deep Impact, lancée le 12 janvier 2005, creuse un cratère artificiel sur le noyau de la comète Tempel 1 le 4 juillet 2005, par collision d'un impacteur. Cette mission a permis de déterminer que la majeure partie de la glace d'eau du noyau cométaire se trouve en réalité sous la surface de celui-ci, et que ces réservoirs entretiennent les jets de vapeur qui forment la coma.
- \* Enfin, celle qui fait l'actualité de ces derniers mois, la sonde européenne Rosetta s'est mise en orbite à 100 km de la surface de la comète Churyumov-Gerasimenko le 6 août 2014. Elle a réussi à poser le petit atterrisseur Philae sur la surface du noyau le 14 novembre 2014, ce qui est une grande première dans le monde de l'astrophysique cométaire. De cette manière, la sonde pourra, on l'espère, récolter une quantité phénoménale d'informations sur ce qui se passe sur et autour de ce noyau jusqu'à ce qu'elle soit désintégrée à l'approche du périhélie de la comète.



*Figure 14: Vue d'artiste de la sonde Rosetta lors du largage de l'atterrisseur Philae.*

En conclusion, on peut dire que nos connaissances sur les comètes et leur histoire sont déjà prodigieuses, et s'améliore de jour en jour, mais il nous reste encore bien des mystères à éclaircir. Quel est le pourcentage exact d'eau dans les comètes? Cette eau est-elle la source de l'eau présente sur Terre? Les comètes ont-elles été le précurseur de l'apparition de la vie sur Terre? Autant de questions qui font actuellement débat parmi la communauté scientifique, et qui rendent l'étude des comètes indispensable et passionnante.