

Rosetta, en voyage avec une comète

UN VOYAGE DE DEUX ANS À UNE DISTANCE COMPRISE ENTRE 10 ET 200 KM DE LA COMÈTE 67P/TCHOURIOUMOV-GUERASSIMENKO

Herbert Gunell
et Romain Maggiolo

En mars 2004, l'Agence spatiale européenne (ESA) a lancé la sonde spatiale Rosetta. À la suite d'un voyage de dix ans, elle est arrivée près de la comète 67P/Tchourioumov-Guerassimenko en août 2014. Un atterrisseur, Philae, s'est posé sur la comète en novembre 2014. La mission Rosetta s'est achevée le 30 septembre 2016 par un impact contrôlé de la sonde sur la surface de la comète. De nombreux résultats scientifiques ont été obtenus.

Les comètes

De temps en temps, des objets célestes avec de longues queues apparaissent dans le ciel. Ces sont des comètes, dont la partie la plus facilement visible est la queue de poussières constituée de grains d'une taille de l'ordre de 100 μm . Ces poussières diffusent la lumière du Soleil efficacement, ce qui nous permet de les voir. Les poussières subissent la pression des photons solaires qui les font s'éloigner de la comète, créant ainsi une queue de poussières dans la direction opposée au Soleil. La Figure 1 montre une photo de la comète Hale-Bopp qui était visible à l'œil nu en 1997. La queue de poussières est l'épaisse traînée blanche dans la partie basse de la photo.

Une comète possède aussi une queue plus longue de couleur bleue : c'est la queue d'ions. Étant plus petits que la longueur d'onde de la lumière du Soleil, les ions ne ressentent pas la pression des photons. En revanche les forces dominantes sur ces particules électriquement chargées sont les forces électriques et magnétiques qui résultent du fait que la comète, ainsi que les planètes et tous les autres objets du système solaire, sont immergés dans le vent solaire, un plasma qui s'éloigne du Soleil à une vitesse d'environ 400 km/s.

Les comètes sont des boules gelées de neige sale de quelques kilomètres de diamètre, qui tournent autour du Soleil depuis que le système solaire a été formé. Elle se situent soit dans la ceinture de Kuiper en dehors de l'orbite de Neptune, soit plus loin dans le nuage d'Oort. De temps en temps un de ces objets est dévié en direction du sys-

Figure 1 : La comète Hale-Bopp le 14 mars 1997 avec ses queues de poussières et d'ions. © ESO/E. Slawik.



tème solaire interne par la gravitation de Jupiter. Quand un tel objet s'approche du Soleil il est réchauffé par la lumière du Soleil et dégage des gaz et des poussières.

La mission Rosetta

Restées gelées car loin du Soleil pendant des milliards d'années, les comètes sont les objets célestes les mieux préservés de notre voisinage. Étudier les comètes nous aide donc à amasser des informations sur le système solaire primitif. La comète de Halley et quelques autres ont été explorées par des sondes spatiales dans les années 80. Cependant, ces engins spatiaux sont passés à proximité de leurs comètes à grande vitesse, ayant pour conséquence des passages relativement brefs. À l'époque, la durée d'un passage complet était de quelques jours, et les sondes ne sont restées que quelques heures à proximité des noyaux de leurs comètes.

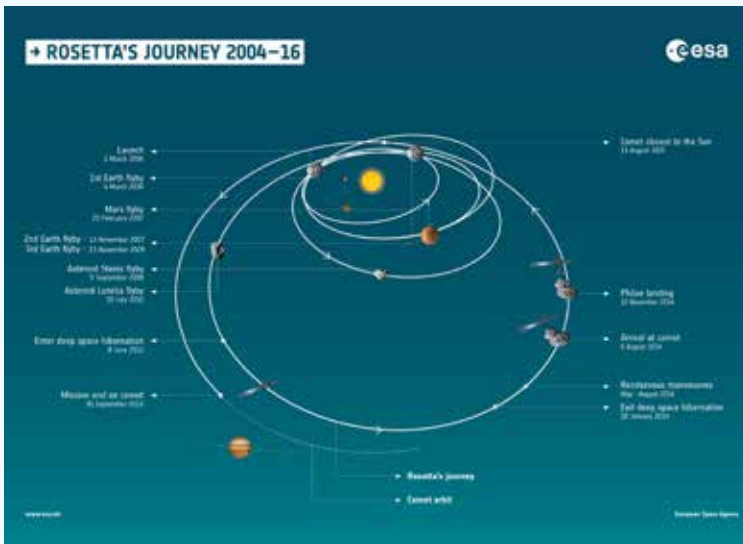


Figure 2 : Le trajet de la sonde Rosetta de la Terre à la comète 67P/Tchourioumov-Guerassimenko. © ESA



Figure 3 : La sonde spatiale Rosetta. © ESA

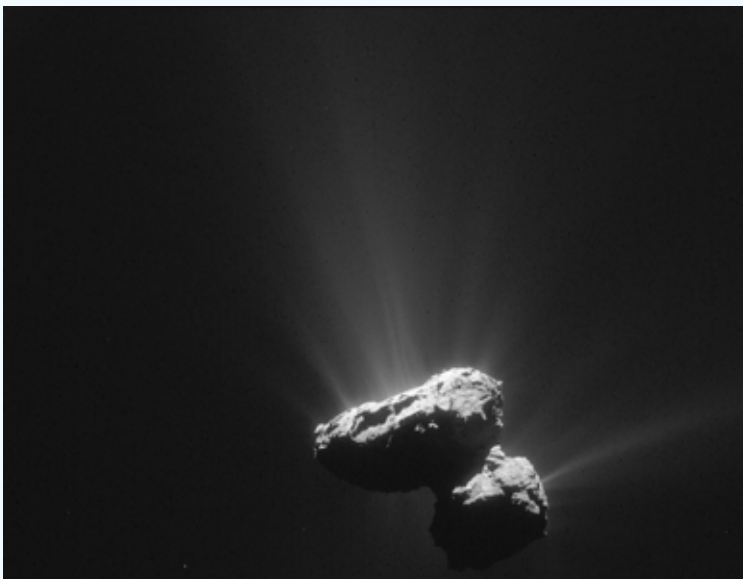


Figure 4 : Le noyau de la comète 67P/Tchourioumov-Guerassimenko, photographié par Rosetta le 14 juillet 2015. © ESA

L'ESA a lancé la sonde spatiale Rosetta en mars 2004. Après avoir voyagé dans l'espace pendant dix années, elle est arrivée au niveau de la comète 67P/Tchourioumov-Guerassimenko (67P) en août 2014. Le parcours de Rosetta est illustré sur la Figure 2. Pendant ce voyage de dix ans, la vitesse de Rosetta a été augmentée par des assistances gravitationnelles lors d'un passage à proximité de Mars et de trois passages à proximité de la Terre. De cette façon Rosetta a atteint une vitesse proche de celle de la comète. La sonde s'est lentement approchée de la comète autour de laquelle elle a été mise en orbite. Rosetta y est restée jusqu'à l'impact le 30 septembre 2016.

Une image de Rosetta est montrée sur la Figure 3. Les grands panneaux solaires produisent l'énergie électrique pour l'engin spatial et les instruments à bord, jusqu'à une distance de 4.5 unités astronomiques par rapport au Soleil. Accroché sur le côté de Rosetta on voit l'atterrisseur Philae qui a atterri sur le noyau de la comète en novembre 2014. Après avoir rebondi deux fois sur la surface du noyau, Philae s'est arrêté dans un endroit où ses panneaux solaires n'étaient pas éclairés par le Soleil. Philae a fonctionné pendant 60 heures jusqu'à ce que ses batteries soient vides. De son côté, Rosetta, l'orbiteur, a continué de fonctionner durant deux ans.

La comète 67P/Tchourioumov-Guerassimenko

Découverte en 1969, la comète 67P est une comète de la famille de Jupiter, car elle a été éjectée de la ceinture Kuiper par l'attraction gravitationnelle de Jupiter. Quand Rosetta s'est suffisamment approchée pour prendre des photos du noyau, on a remarqué que sa forme était étrange. On a souvent comparé sa forme à celle d'un canard (Figure 4). Il fallait donc se poser la question si cette forme était le résultat d'une collision entre deux corps ou si le noyau avait toujours été constitué d'un seul corps qui a perdu de la matière par sublimation non uniforme créant ainsi le cou du 'canard'. La réponse à cette question a été trouvée par les scientifiques en examinant des photos du noyau envoyées sur Terre par Rosetta. Les ensembles de stries sur le noyau correspondent à la formation, sous l'influence de la gravitation, de deux corps séparés, qui ont fusionné ultérieurement à la suite d'une collision.

L'oxygène moléculaire (O₂)

Un des instruments à bord de Rosetta est le spectromètre ROSINA (Rosetta Orbiter Spectrometer for Ion and Neutral Analysis), dont certaines parties ont été construites à l'Institut royal d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB). C'est un instrument qui mesure la composition de gaz de l'atmosphère de la comète, appelée la coma. La vapeur d'eau est la composante principale de la coma. De temps en temps, on détecte aussi du dioxyde de carbone à une concentration élevée.

La découverte d'oxygène moléculaire, O₂, par l'instrument ROSINA dans la coma de la comète 67P [Bieler et al.(2015)] a causé une surprise générale. On s'est aperçu que sa concentration moyenne est de 4% par rapport à la concentration d'eau. Sur Terre, la source dominante de l'oxygène moléculaire est la photosynthèse par les plantes vertes. Une comète est un monde mort, fait de glace et de roche, sans plantes vertes. Ainsi la source d'oxygène moléculaire sur 67P doit être complètement différente de celle sur la Terre. La dissociation de

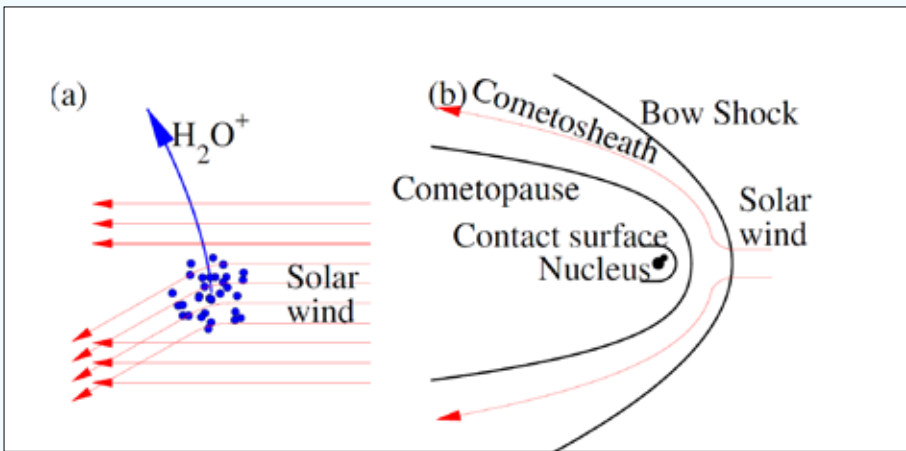


Figure 5 : Interaction entre une comète et le vent solaire. (a) Transfert de masse pour une comète loin du Soleil. (b) Frontières formées dans le plasma pour une comète d'activité élevée.

l'eau par les rayons cosmiques peut produire des molécules O_2 , mais les rayons cosmiques ne peuvent pénétrer que quelques mètres sous la surface. En conséquence, ce mécanisme peut seulement créer de l' O_2 dans une mince couche près de la surface. Cette couche aurait été sublimée après les années 50 quand 67P est entré dans son orbite actuelle. Avant ce moment, la comète était trop loin du Soleil pour permettre une sublimation significative. On en a ainsi conclu que l'oxygène moléculaire était déjà présent lors de la formation de la comète, et donc lorsque le système solaire s'est formé.

Les comètes et les planètes

Tout le gaz qui s'échappe de la comète sera finalement ionisé soit par les photons ultra-violet du Soleil, soit par un échange de charge par collision, soit par l'impact d'électrons. Ces ions sont non seulement visibles dans la queue d'ions (Figure 1), mais interagissent aussi avec des particules neutres, par des collisions, et avec le vent solaire par l'intermédiaire de champs électriques et magnétiques.

Loin du Soleil, l'interaction entre les ions cométaires et le vent solaire est dominée par des transferts de masse. Le vent solaire est chargé de la masse des nouveaux ions cométaires. Ces ions sont emportés par le vent solaire qui subit une déflexion suivant la loi de conservation de la quantité de mouvement (Figure 5a). Lorsque la comète s'approche du Soleil, son activité s'élève dégageant une grande quantité de gaz. Ainsi, des frontières entre différentes régions se forment dans le plasma autour d'elle. C'est un processus semblable à celui se produisant autour des planètes, particulièrement les planètes non magnétisées, telles que Mars et Venus, qui sont entourées par leur magnétosphère induite, région où la présence d'une planète perturbe considérablement le champ magnétique du vent solaire. La Figure 5b présente un schéma des frontières dans le plasma pour une comète avec une activité élevée.

Accompagner 67P au cours de son orbite dans le système solaire nous a donné l'occasion d'étudier l'interaction entre le vent solaire et une comète dont l'activité est faible, domi-

née par le transfert de masse [Nilsson et al.(2015)], d'observer les effets des frontières dans le plasma quand l'activité était élevée ainsi que toutes les phases intermédiaires.

La fin

Le 30 septembre 2016, l'ESA a mis fin à la mission Rosetta par un impact contrôlé sur le noyau de la comète. L'ESA l'a fait afin d'obtenir le plus d'informations possibles quand la sonde fonctionnait encore bien. Comme la comète et Rosetta étaient en train de s'éloigner du Soleil, la lumière incidente sur les panneaux solaires allait bientôt être insuffisante pour les opérations de la sonde spatiale. En descendant vers le point d'impact, on a obtenu des données à des altitudes plus basses que celles qu'on aurait pu atteindre autrement.

Une comète porte en elle un message, sur la naissance du système solaire. Pour qu'on soit capable de lire ce message il faut comprendre la physique de la comète et ce qui lui est arrivé pendant des milliards d'années. Une comète présente aussi une analogie avec une magnétosphère planétaire, qui, avec les changements de la distance au Soleil, devient un laboratoire d'études comparatives. La mission est terminée, mais nous avons une grande quantité de données et les études continueront.

Références

- [Bieler et al.(2015)] Bieler, A., et al. (2015), Abundant molecular oxygen in the coma of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko, *Nature*, 526, 678{681, doi : 10.1038/nature15707
- [Nilsson et al.(2015)] Nilsson, H., et al. (2015), Birth of a comet magnetosphere : A spring of water ions, *Science*, 347 (6220), doi : 10.1126/science.aaa0571.

Les auteurs

Herbert Gunell et Romain Maggiolo (Institut royal d'Aéronomie Spatiale de Belgique-IASB)