

La Fabuleuse Aventure de Rosetta

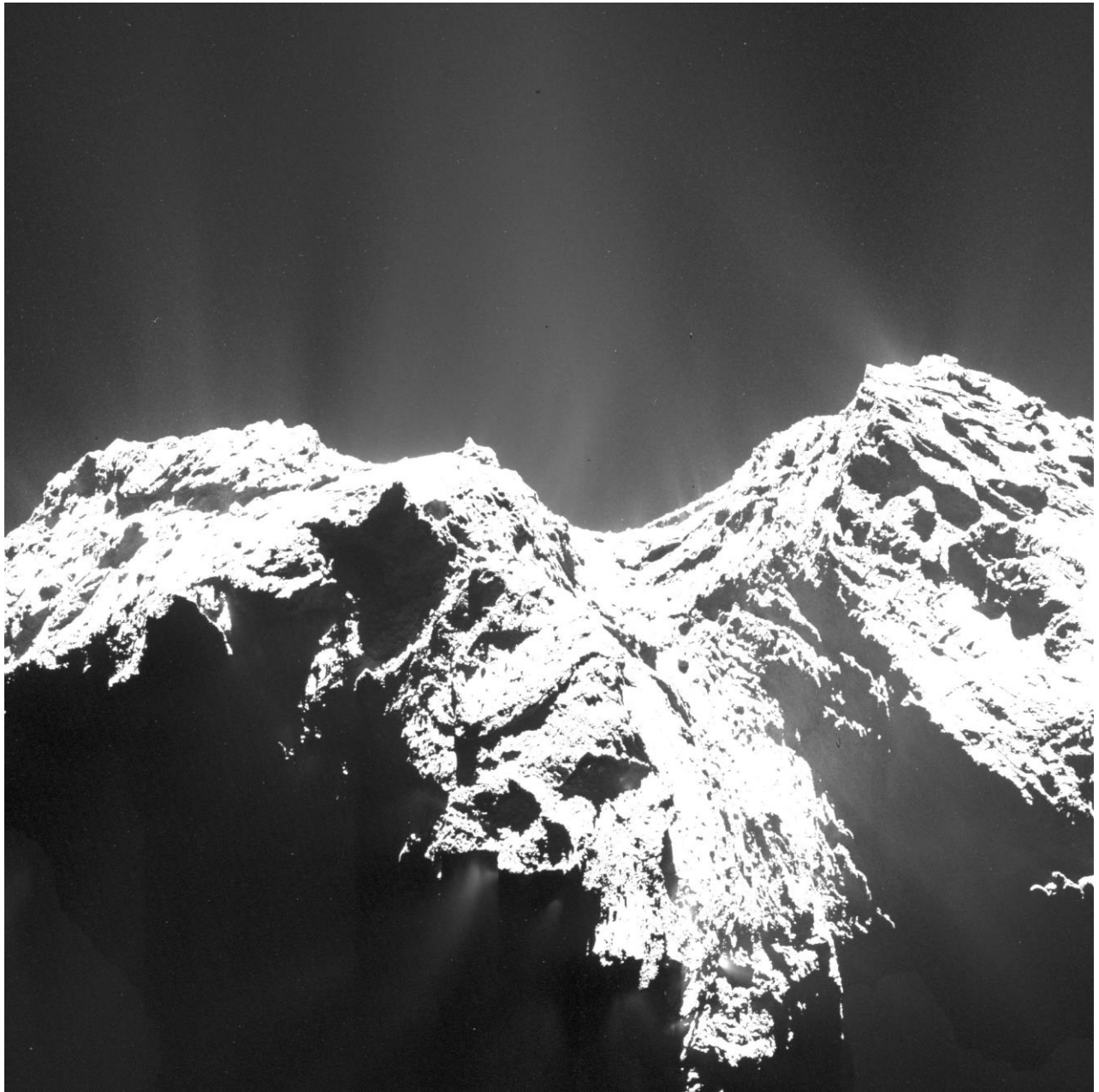


Photo de la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko prise lors de la mission Rosetta

Introduction

Il est normal pour quelqu'un qui s'intéresse de près ou de loin aux missions spatiales de se demander à quoi elles servent. La réponse évidente serait qu'elles permettent des avancées scientifiques. Mais y en a-t-il d'autres ? Ces missions spatiales sont-elles rentables ou conduisent-elles à des dépenses inutiles ? Si elles le sont, comment ? Sinon, pourquoi dépenser autant pour de simples découvertes scientifiques ? Ces missions permettent-elles le développement de nouvelles technologies ? Peuvent-elles avoir un impact, qu'il soit positif ou négatif, sur l'écologie ? Nous allons essayer de répondre à toutes ces questions en nous intéressant à l'une des missions de l'ESA, la mission Rosetta.

La mission Rosetta

La mission spatiale Rosetta est une mission qui consiste à satelliser un orbiteur, Rosetta, autour d'une comète et d'y poser un atterrisseur, Philae. Elle a, entre autres, pour but d'analyser la composition de la comète, d'en apprendre plus sur l'origine de la vie sur Terre et sur l'évolution du système solaire.

Après avoir passé 10 ans dans l'espace, Rosetta a atteint, le 12 novembre 2014, la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko. Philae sera le premier atterrisseur à se poser sur une comète, exploit remarquable compte tenu de la vitesse de la comète, de sa petite taille et de sa faible gravité.

Historique de la mission

Le nom Rosetta a été choisi en référence à la pierre de Rosette (*Rosetta Stone* en anglais). De la même manière que la pierre a servi à connaître les anciennes civilisations, la mission Rosetta est la clé pour comprendre comment le système solaire s'est formé grâce à l'étude des corps aux stades les plus anciens: les comètes.

En novembre 1993, la mission Rosetta a été approuvée et définie comme un objectif pour les années 2000 par l'ESA (European Space Agency). Des collaborations entre les scientifiques et les ingénieurs de toute l'Europe et des États-Unis vont alors avoir lieu pour permettre la construction de Rosetta et de Philae. Initialement prévu pour janvier 2003, le lancement de Rosetta a dû être reporté à cause de l'échec de lancement d'une fusée Ariane. Ce changement de date a posé un problème car la comète choisie à l'origine n'était donc plus accessible. La comète 67P/Churyumov-Gerasimenko va dès lors être choisie comme nouvel objectif pour remplacer l'ancien et Rosetta va finalement décoller le 2 mars 2004 du port-spatial de Kourou en Guyane française à bord d'une fusée européenne, Ariane 5. L'extraordinaire aventure débute enfin !



Lanceur Ariane 5

Un énorme voyage attend la sonde

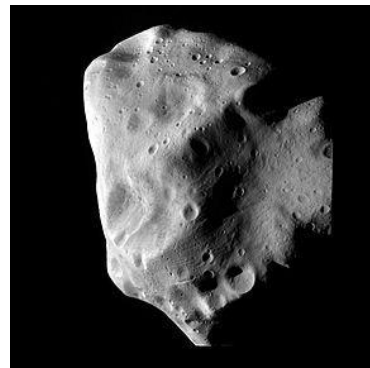
Même Ariane 5, le plus gros lanceur européen, n'a pas la puissance suffisante pour envoyer directement une sonde sur l'orbite d'une comète. Il faudra donc avoir recours à une astuce qui consiste à utiliser volontairement l'attraction d'un corps céleste pour changer la direction et la vitesse de la sonde. Cela s'appelle "l'assistance gravitationnelle". Rosetta aura recours à ce procédé 4 fois (3 fois par la Terre et 1 fois par Mars).

Nous avons joint une vidéo de l'ESA qui montre la trajectoire de la sonde jusqu'à ce qu'elle rejoigne la comète.

Lancée le 2 mars 2004, elle recevra une première assistance gravitationnelle de la Terre le 4 mars 2005, une deuxième de Mars le 25 février 2007 et une troisième de la Terre le 13 novembre 2007. Après cela, elle survolera l'astéroïde Šteins le 5 septembre 2008. Son étude constitue un objectif secondaire de la mission. Une dernière assistance gravitationnelle de la Terre aura lieu le 13 novembre 2009. La sonde survolera, le 10 juillet 2010, un second astéroïde : Lutetia.



Astéroïde Šteins vu par Rosetta



Astéroïde Lutetia vu par Rosetta

Rosetta sera alors mise en sommeil pendant 31 mois le 8 juin 2011 afin de réduire la consommation d'énergie durant la phase de la trajectoire où elle se trouve le plus loin du Soleil. La sonde spatiale est réactivée le 20 janvier 2014 puis se place sur une orbite identique à celle de la comète à moins de 100 kilomètres de celle-ci. Le 6 août 2014, la sonde spatiale débute les manœuvres devant la mener à son orbite finale autour de Tchourioumov-Guérassimenko puis largue le 12 novembre le petit atterrisseur Philae.

La fin de sa mission est prévue en septembre 2016. Bien avant son achèvement, la sonde spatiale a largement atteint ses objectifs et fait de nombreuses découvertes inédites sur la structure et la composition de la comète.

Défis et survie de la sonde dans les conditions spatiales

L'hibernation de la sonde

La sonde Rosetta a dû être placée en état de veille pendant une partie de son trajet pour réduire la consommation énergétique et donc les coûts engendrés par la mission. Tous les systèmes ont été éteints à l'exception des récepteurs radio, décodeurs de commandes et de l'alimentation.

Autonomie de la sonde

Les informations provenant depuis le sol peuvent mettre 50 minutes pour atteindre la sonde. Donc Rosetta doit avoir "l'intelligence" nécessaire pour s'occuper des éventuels petits problèmes elle-même. Il y a, pour cela, de très puissants ordinateurs de bord qui s'en occupent. En cas de problème, il y a un système de sauvegarde pour assurer que la sonde reste opérationnelle.

Fluctuation de températures

Le contrôle de la température est primordial. Près du soleil, la chaleur très élevée est gérée grâce à des persiennes qui dissipent le surplus dans l'espace. Loin du soleil, les instruments doivent être maintenus à une température suffisante pour ne pas congeler ou se détériorer, en particulier durant la phase d'hibernation. Les ingénieurs ont réglé ce problème en ne chauffant seulement qu'à certains points stratégiques de la sonde (réservoir à carburant, tuyauteries, propulseurs,...). Le vaisseau a également été recouvert de plusieurs couches isolantes pour prévenir les pertes de chaleur.

Énergie solaire

Rosetta a été la première mission à aller au-delà de la ceinture d'astéroïdes et à utiliser l'énergie fournie par des panneaux photovoltaïques plutôt que la désintégration d'un isotope radioactif (comme les autres sondes). Aussi loin du soleil, cela constitue un exploit !

Le rendez-vous avec la comète

La phase la plus difficile a été le rendez-vous avec la comète car elle est très rapide.

Approche de la comète (janvier-mai 2014)

Le vaisseau a été réactivé pour entamer les manœuvres de rendez-vous. D'abord les propulseurs ont été allumés pour ralentir la sonde afin que la vitesse relative entre Rosetta et la comète ne soit plus que de 25 m/s.

Comme Rosetta se dirigeait vers le noyau de la comète, l'équipe de la mission a essayé d'éviter toutes poussières de comète et de réaliser de bonnes conditions d'éclairage de celle-ci. Les premières images de la caméra nous ont apporté des informations sur sa position, son orbite ainsi que sur sa taille, sa forme et sa rotation. La vitesse relative de la sonde et de la comète a progressivement été réduite, elle est de 2m/s au bout de 90 jours.

Informations et mise en orbite (août 2014)

À moins de 200 Km du noyau, Rosetta nous renseignera sur la comète (axe de rotation, vitesse angulaire, points de repères et autres informations basiques). La sonde va se mettre en orbite autour du noyau à 25 Km de celui-ci. Leur vitesse relative est de moins de 1 cm/s. L'orbiteur va cartographier la surface en détail et 5 sites d'atterrissage potentiels vont être sélectionnés et étudiés.

Atterrissage (novembre 2014)

Un site d'atterrissage est choisi. L'atterrisseur sera libéré à une hauteur d'à peu près 1 Km. Il touchera le sol à une vitesse de moins de 1m/s. Une fois qu'il se sera ancré dans le noyau, l'atterrisseur enverra des images à haute résolution et d'autres renseignements sur la nature des glaces de la comète et de la croûte organique.

Les données seront transmises à l'orbiteur, qui les stockera pour la transmission vers la Terre à la prochaine étape de la période où la terre pourra être contactée.

Problèmes rencontrés par Rosetta

La mission Rosetta est née après le succès de la sonde Giotto, qui a étudié en mars 1986 la comète de Halley. La communauté scientifique internationale a alors suggéré le lancement d'une mission entièrement consacrée aux comètes, dont l'objectif serait de rapporter sur Terre un échantillon cométaire. La NASA et l'ESA se sont associées pour créer la mission "Comet Nucleus Sample Return" (Retour d'échantillon de Noyau Cométaire). Deux ans après le début des travaux, la NASA se retire, et l'ESA, ne disposant pas des capacités techniques pour maintenir seule une mission de cette envergure, décide de créer Rosetta, sans retour d'échantillons.

Comme dit précédemment, l'échec d'un lanceur Ariane a fait reporter la date prévue pour la mission ce qui implique qu'il a fallu changer de comète ciblée.

La nouvelle comète choisie possédait un noyau double, ce qui était inattendu. Cela a compliqué le choix de la zone d'atterrissage.

Lors de l'atterrissage, le harpon qui devait accrocher Philae au sol ne s'est pas déclenché, ce qui a fait rebondir l'atterrisseur. Heureusement rien de grave. Stefan Ulamec, le chef du projet côté allemand a dit, afin de détendre l'atmosphère, "Finalement, aujourd'hui, on a atterri deux fois sur une comète !"

Le robot malheureusement atterrit à l'ombre après le rebond. La durée de vie initiale de la pile étant de 60 heures, il ne lui reste plus qu'une dizaine d'heures d'autonomie. Les batteries solaires sont censées prendre le relais pour lui permettre de vivre au ralenti pendant encore quelques mois mais elles reçoivent beaucoup moins de lumière que prévu car le robot est coincé entre des rochers. Ce défaut d'autonomie pose un autre problème. Si Philae a bel et bien foré à la surface de la comète, ses résultats pourraient ne jamais arriver sur Terre, faute d'énergie. Heureusement, 7 mois plus tard, le robot va être exposé au soleil ce qui le sortira de son sommeil.

Retombées scientifiques

Pour bien comprendre les prétentions scientifiques de la mission Rosetta, il faut connaître la théorie qui explique le mieux la création de notre système solaire, la théorie nébulaire.

Théorie nébulaire

Cette théorie explique que notre système solaire a été créé par l'effondrement d'une partie d'une nébuleuse interstellaire (nuage de gaz et de poussières).

Lors de l'effondrement, les chocs entre les atomes vont fortement augmenter, provoquant une augmentation de la température et la création d'une protoétoile au centre.

La vitesse de rotation des restes de la nébuleuse autour de la protoétoile va augmenter, provoquant l'aplatissement du nuage.

Nous pouvons voir ci-dessous la température à l'intérieur de la nébuleuse en fonction de la distance de la protoétoile :



A 0,25 UA (unité astronomique, définie comme étant la moyenne entre la plus grande et la plus petite distance entre la Terre et le Soleil et qui équivaut à 149 597 871 km), la température est de 1500 K, permettant la solidification des silicates. Les silicates étant solides, ils vont pouvoir se coller les uns aux autres pour grossir et former des planètes par accréation tandis que les autres particules toujours sous forme de gaz vont être repoussées plus loin par l'action des vents solaires. Ce modèle explique donc très bien pourquoi les 4 premières planètes (Mercure, Vénus, la Terre et Mars) sont telluriques.

L'eau, quant à elle, ne peut devenir solide qu'au-delà de 5 UA (5 fois plus loin du Soleil que la Terre, c'est environ la distance entre la Terre et Jupiter). Cela nous pose donc un problème : comment l'eau qui compose 71% de la surface terrestre est-elle arrivée sur Terre ?

Solution proposée, les comètes

Les comètes sont des corps constitués d'un noyau de glace (d'eau mais aussi de méthane, d'éthane, de monoxyde de carbone, ...) et de poussière. Selon la théorie nébulaire, elles se seraient formées au-delà de 5 UA, leur permettant d'avoir de l'eau, et auraient été éjectées par l'attraction des planètes géantes (Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune) pour former la ceinture de Kuiper (ceinture composée d'astéroïdes et de comètes située entre 30 et 55 UA du Soleil) et le nuage d'Oort (sphère composée de milliers de milliards de comètes laquelle pourrait s'étendre jusqu'à 100 000 UA du Soleil).

Un bombardement de milliers de comètes survenu après la formation de la Terre pourrait expliquer la présence de l'eau.

Confrontation de cette hypothèse avec l'expérience

Pour vérifier cette hypothèse, les scientifiques vont étudier l'eau présente sur les comètes, et plus précisément, l'hydrogène que contient cette eau. Leur but est d'établir le rapport entre le deutérium, isotope de l'hydrogène composé d'un proton et d'un neutron et l'hydrogène composé d'un proton et d'aucun neutron (bien plus répandu), et ensuite, comparer ce rapport avec celui de la Terre. Si le rapport est semblable, on peut en déduire que l'eau des comètes est la même que l'eau terrestre, il serait donc plausible que l'eau ait été apportée par les comètes.

Etant donné que le deutérium a les mêmes propriétés chimiques que l'hydrogène mais que son spectre (*manière d'absorber ou d'émettre la lumière*) est différent de celui de son isotope, il faudra employer un spectromètre pour effectuer les analyses.

Les premières analyses ont été réalisées sur des comètes à longue période (venant du nuage d'Oort) tels que la 1P/Halley, C/1995 O1 Hale-Bopp, C/1996 B2 Hyakutake, ... Ces analyses ont montré un rapport deutérium/hydrogène généralement bien plus grand que le rapport terrestre.

La première réalisée sur une comète à courte période (dite de la famille de Jupiter et venant de la ceinture de Kuiper) a été effectuée par le télescope spatial de Herschel de l'ESA sur la comète 103P/Hartley et a montré, à l'inverse des comètes à longue période, un rapport deutérium/hydrogène pratiquement égal au rapport terrestre ($1,6 \times 10^{-4}$ pour la comète et $1,56 \times 10^{-4}$ sur Terre). Analyse suivie par celle de la comète 45P/Honda-Mrkos-Pajdusakova contenant légèrement plus de deutérium que la 103P mais qui appuie néanmoins l'hypothèse que l'eau a été apportée par les comètes de la famille de Jupiter.

Le rôle de Rosetta

Rosetta avait donc la mission de mesurer le rapport deutérium/hydrogène sur une autre comète de la famille de Jupiter (au départ, la 46P/Wirtanen, ensuite la 67P/Tchourioumov-Guérassimenko suite au retard du lancement) pour avoir un échantillon plus conséquent de mesures et, par-là, prouver que les comètes à courte période ont apporté l'eau sur Terre.

Les analyses de Rosetta et Philae

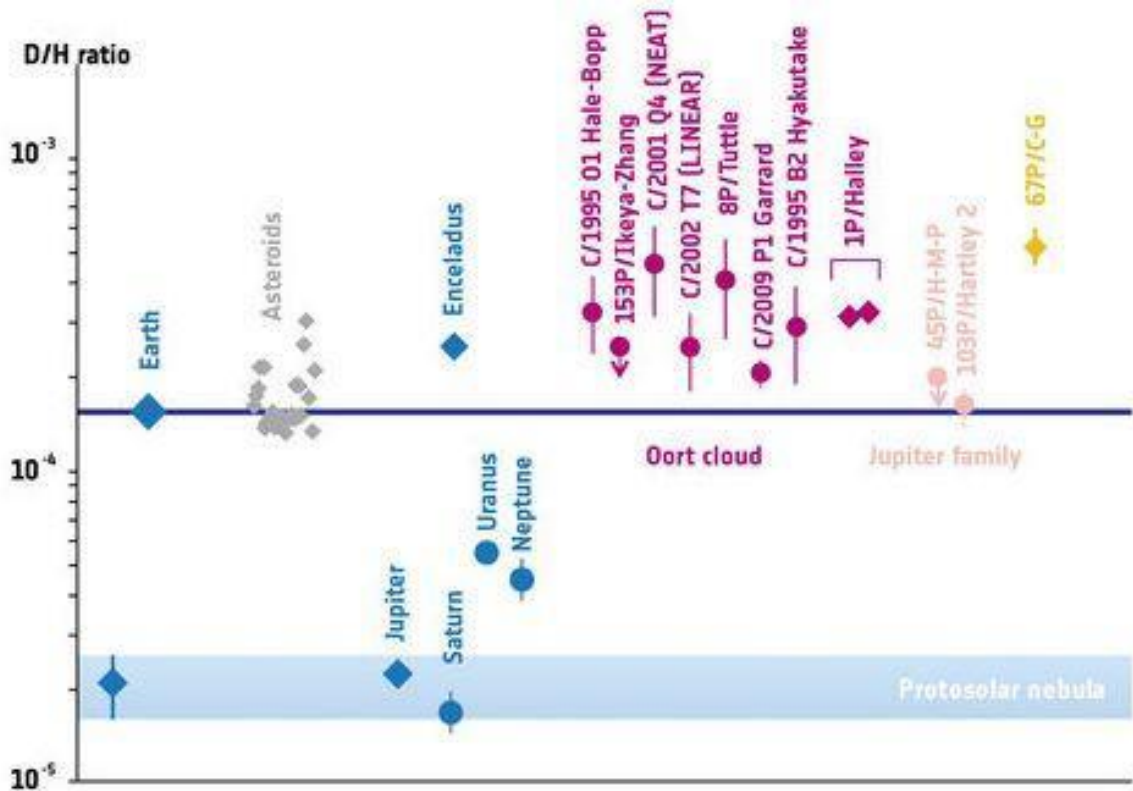
L'eau

L'eau présente sur la comète 67P/Tchourioumov-Guérassimenko a été analysée par l'instrument ROSINA (Rosetta Orbiter Spectrometer for Ion and Neutral Analysis) et révèle un rapport deutérium/hydrogène de 5.3×10^{-4} largement supérieur au rapport terrestre.

Cette découverte remet à nouveau en doute l'hypothèse formulée précédemment. Elle montre aussi très bien que les comètes de la famille de Jupiter ont des constitutions isotopiques différentes et ont donc des origines diverses (certaines proviendraient de la ceinture de Kuiper et d'autres, du nuage d'Oort).

D'où viendrait donc l'eau ?

Si l'eau ne venait pas des comètes, elle pourrait venir des astéroïdes issus de la ceinture principale d'astéroïdes (située entre Mars et Jupiter). Ces astéroïdes pourraient contenir 1% de leur masse en eau et leur rapport deutérium/hydrogène serait, lui aussi, très semblable au rapport terrestre (voir ci-dessous).



Si l'eau ne provient ni des astéroïdes ni des comètes, elle aurait pu être présente dès la formation de la Terre sous forme d'une hydratation de cristaux. Ceux-ci, renfermant de l'eau, auraient été présents lors de la formation de la Terre et auraient apporté l'eau en surface après son refroidissement. Le cristal de ringwoodite, une forme polymorphe de l'olivine, est capable d'enfermer de l'eau sous forme d' OH^- . Ce minéral a été identifié la première fois sur la météorite de Tenham (prouvant le fait qu'il puisse se former dans l'espace) et la découverte très récente (en 2014) d'un diamant à Mato Grosso au Brésil contenant des inclusions de ringwoodite montre que ce minéral existe aussi sur Terre. Cette inclusion contenait 1.5% de sa masse en eau. Le problème est que ce minéral devrait se trouver entre 525 et 660 km de profondeur, rendant toute observation pouvant prouver cette théorie impossible (le puits le plus profond fait par l'homme est de 12km).

Pour de futures missions spatiales ?

A ce jour, seulement 3 comètes de la famille de Jupiter ont été analysées, cela reste insuffisant pour prouver définitivement que l'eau ne vient pas des comètes (bien que cette hypothèse soit de plus en plus remise en doute). De plus, d'autres analyses sur les comètes de la famille de Jupiter pourraient nous apprendre plus sur leurs origines. De nouvelles missions ayant pour cibles des comètes pourraient donc être enrichissantes d'un point de vue scientifique.

Des missions ayant pour cible la ceinture principale d'astéroïdes pourraient aussi être envisagées afin d'effectuer plus d'analyses sur leur eau, ce qui permettrait de confirmer ou d'infirmer l'hypothèse selon laquelle l'eau viendrait des astéroïdes.

Autres découvertes

Excepté les résultats concernant l'eau présente sur la comète, les différentes analyses ont pu apporter d'autres découvertes :

Mesure générales

La mesure de la masse, le volume, la densité, la température, la composition de surface, ... ainsi qu'une cartographie détaillée.

Magnétosphère

La compréhension détaillée de la formation de la magnétosphère d'une comète lorsqu'elle approche du Soleil : l'eau se sublimant à la surface de la comète s'ionise suite *aux collisions* avec les rayons ultra-violetts en provenance du Soleil, créant un champ magnétique protégeant le noyau de la comète des interactions directes avec les vents solaires.

L'azote

Avant la mission Rosetta, l'atome azote avait déjà été détecté sur d'autres comètes dans d'autres composants comme le cyanure d'hydrogène ou l'ammoniaque. L'instrument ROSINA de Rosetta a permis la première détection de la molécule de diazote (N_2) sur une comète. Cette découverte est elle aussi importante car, selon la théorie nébulaire que nous avons présentée précédemment, la Terre ne devait pas avoir d'azote lors de sa formation, or, 78% de l'atmosphère est composée de la molécule N_2 , les comètes auraient donc pu apporter l'azote sur Terre.

Pour vérifier la validité de cette hypothèse, les scientifiques vont procéder comme pour l'eau : ils vont faire un rapport entre deux isotopes de l'azote et le comparer avec le rapport terrestre ; dans ce cas-ci, ce sera le rapport $^{14}N/^{15}N$. Le rapport $^{14}N/^{15}N$ des molécules N_2 est supérieur au rapport terrestre mais celui des atomes d'azote présents dans les composants comme l'ammoniac ou le cyanure d'hydrogène est inférieur au rapport terrestre. Un bon équilibre entre la forme moléculaire et le cyanure d'hydrogène et l'ammoniac donnerait donc le rapport terrestre ; cependant, la comète devrait contenir 15 fois plus de forme moléculaire qu'elle n'en contient, l'azote ne viendrait donc pas des comètes de la famille de Jupiter.

A nouveau, les conclusions ne sont pas irréfutables vu qu'il n'y a, cette fois-ci, qu'une seule comète analysée. Pourrait-il y avoir un rapport différent pour une comète ayant un rapport deutérium/hydrogène semblable à celui de la Terre (comme par exemple la comète 103P/Hartley) ? Les comètes à longue période auront-elles un rapport différent ? De nouvelles analyses s'imposent pour répondre à ces questions.

Détection de composés organiques

L'instrument VITRIS de Rosetta a mis en évidence la présence de matières organiques non-volatiles. Ce n'est cependant pas la première découverte de molécules organiques extraterrestres, des acides aminés ont déjà pu être observés sur plusieurs astéroïdes.

Le champ électromagnétique

L'hypothèse nébulaire suggère que l'accrétion des petits corps se soit faite grâce aux forces électromagnétiques. La gravité, quant à elle, ne devient efficace que lorsque le corps atteint des centaines de mètres, voire des kilomètres de diamètre. Des mesures sur l'intensité du champ magnétique ont été faites lors des chutes et rebonds de Philae par son instrument ROMAP (Rosetta lander magnetometer and plasma monitor) ainsi que par l'instrument RPC (Rosetta Plasma Consortium) de Rosetta. Ces mesures n'ont montré aucun rapport entre la distance de la surface de la comète et l'intensité du champ magnétique. Le noyau n'a donc aucun champ magnétique. Si le noyau de la comète 67P est représentatif de la plupart des comètes, l'hypothèse de l'accrétion par les forces électromagnétiques sera elle aussi sévèrement mise à mal : elle ne serait plus valable pour les corps de plus d'un mètre de diamètre.

Dans ce cas-ci, encore une fois, de nouvelles analyses sur d'autres noyaux cométaires pourraient nous révéler si, oui ou non, l'accrétion des petits corps se fait grâce aux forces électromagnétiques.

Mécanisme expliquant la présence d'hydrogène, d'oxygène et de carbone atomique dans le coma

Une présence d'hydrogène atomique avait déjà été détectée dans le coma de comètes (halo de gaz, formant une sorte d'atmosphère autour du noyau, issus de la sublimation des glaces de celui-ci) avant les analyses de Rosetta. On pensait jusqu'à maintenant qu'ils étaient issus de la photolyse (décomposition d'un composé chimique par la lumière) de l'eau, de tels phénomènes sont présents dans l'atmosphère terrestre. Mais le spectrographe ALICE fourni par la NASA a permis la mise en évidence d'un mécanisme différent. L'ionisation des molécules d'eau par les vents solaires fournit des électrons rapides qui peuvent briser une molécule s'ils entrent en collision, ce serait ce mécanisme qui expliquerait la formation d'hydrogène et d'oxygène atomique. Un procédé analogue permet la formation de carbone atomique sur base de la molécule CO₂.

Le cycle de la glace d'eau

Les scientifiques se demandaient depuis longtemps s'il existait un processus qui réapprovisionnait la surface de la comète en eau, l'instrument VITRIS de Rosetta a permis de répondre à cette question. L'exposition d'une face de la comète va la faire chauffer et l'eau va se sublimer. Quand la comète aura tourné, cette face sera à l'ombre et la surface va se refroidir, mais l'intérieur de la comète se refroidit plus lentement, l'eau présente à l'intérieur de la comète continue donc de se sublimer et migre vers la surface à travers le sol poreux. Arrivée à la surface, l'eau se solidifie à nouveau. Cette nouvelle couche de glace pourra donc se sublimer lorsque la face sera à nouveau exposée au Soleil. Ce mécanisme met aussi en évidence le fait que la comète ne s'assèche pas qu'en surface mais dans son ensemble.

Les deux lobes de la comète

Lorsque l'on voit la comète 67P/Tchourioumov-Guérassimenko, la première question que l'on se pose est : "Pourquoi la comète a-t-elle deux lobes ?". Une analyse détaillée a permis de répondre à cette question : la comète 67P résulte de la collision entre deux comètes qui ont fusionné après l'impact. Chaque lobe témoigne d'une des deux comètes « primitives ».

Détection d'oxygène moléculaire

Rosetta a mis en évidence de l'oxygène sous forme d'O₂, résultat assez inattendu vu que c'est une molécule très réactive et qu'elle aurait dû réagir pour former autre chose. De nombreuses hypothèses sont lancées pour expliquer la présence de cette molécule, notamment une remettant en question la température à l'intérieur de la nébuleuse protosolaire.

L'utilité des missions spatiales

Nous avons pu voir avec tous les éléments cités que les missions spatiales peuvent être très importantes du point de vue scientifique, la mission Rosetta a pu remettre en doute plusieurs fondements de l'astrophysique moderne (tels que la théorie nébulaire), ces missions apportent une des seules observations directes pour l'astronomie, primordiale pour toute science. Comme nous avons pu le voir, plusieurs phénomènes peuvent être invisibles ou mal compris lors d'une observation à distance, les missions de grands télescopes spatiaux (comme Herschel) sont donc très importantes mais ne suffisent pas, il doit y avoir, en plus, des missions se déroulant à très petite distance des corps étudiés pour en comprendre au mieux tous les principes et fonctionnements.

Budget

La mission a coûté, en tout et pour tout, près 1.4 milliards d'euros. Dans cette somme, 220 millions ont servi pour Philae et le retard d'un an de la mission. La mission a été financée et construite grâce à l'association de plusieurs pays. En effet, 50 investisseurs parmi 14 pays européens y ont participé, le principal étant Astrium Allemagne. Quant à la construction, un consortium de pays européens et américains a travaillé sur Rosetta et un autre, de pays européens seulement cette fois, sur Philae.

Si cette somme n'est pas si énorme en comparaison d'autres projets de cette envergure (la moitié du prix d'un sous-marin moderne, par exemple), il est légitime de se demander si cet argent est rentabilisé et si oui, comment. D'un point de vue purement financier, il est évident qu'une mission comme celle-ci ne rapporte rien. Mais hormis l'aspect scientifique qui en reste néanmoins le principal objectif, il y a d'autres desseins derrière ce genre de mission.

Pour les investisseurs (essentiellement des états), ce genre de projet permet, notamment, d'améliorer leurs images. Pour la France, des journaux comme le Figaro mettront en évidence la participation française (essentiellement via le CNES) à la réussite de la mission. Ensuite, cela permet la création d'emplois. Si on ne connaît pas le nombre de postes créés pour cette mission, on sait néanmoins qu'elle a nécessité la participation de près de 2000 personnes travaillant dans des industries. Enfin, cela permet d'intéresser les jeunes aux domaines du spatial.

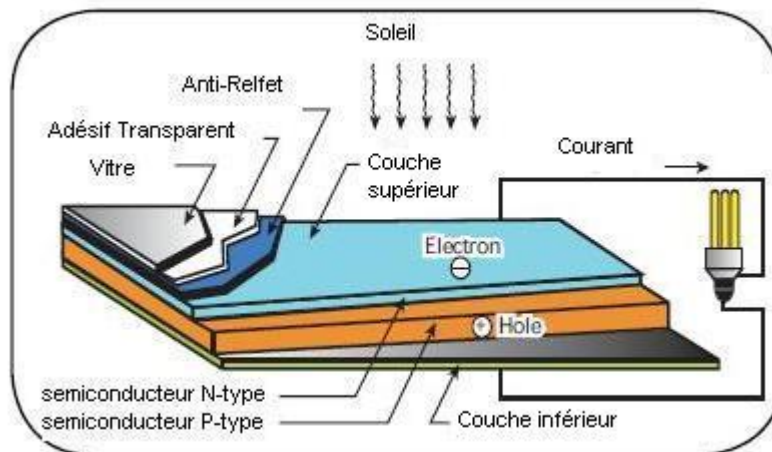
En conclusion, si effectivement, des missions comme Rosetta ne sont pas financièrement rentables, il est bon de noter que les états qui participent à leur mise en place y trouvent tout de même leur compte. Enfin, on pourra rajouter qu'au-delà des missions scientifiques, il y a d'autres types de missions qui ont des buts militaires (le GPS au départ) ou utilitaires (télécommunications) qui, elles, sont directement utiles aux pays.

Avancées technologiques

Panneaux photovoltaïques

Lors de la mise en place des missions spatiales, les chercheurs rencontrent des problèmes qui mènent généralement à des innovations techniques. Lors de la conception de Rosetta, il a fallu trouver un moyen pour que la sonde génère de l'énergie durant toute la durée de son voyage. Le meilleur moyen pour cela a été d'utiliser des panneaux photovoltaïques. Lors de voyages spatiaux, il y a cependant plusieurs problèmes qui se posent.

Un panneau photovoltaïque est composé de cellules photovoltaïques (deux couches d'un élément semi-conducteur). Lorsqu'elles sont frappées par un photon (ce qui compose la lumière), un électron de l'élément semi-conducteur reçoit son énergie, ce qui aura pour effet de le libérer de son atome. Il se crée donc un "électron libre" de charge négative et un "trou", qui est l'absence de l'électron dans l'atome, de charge positive. Les trous et les électrons libres sont séparés grâce à un champ électrique. Les électrons libres pourront rejoindre les trous en faisant un détour en passant par un circuit extérieur, ce qui crée un courant électrique continu.



Le rendement des panneaux dépendra notamment de la matière utilisée pour les cellules photovoltaïques et de la distance par rapport au soleil. Lorsque les panneaux s'éloignent du soleil, le rendement devient plus faible car une même surface perçoit moins de rayons du soleil. Pour la sonde, il a donc fallu développer des nouveaux panneaux qui permettent d'avoir un rendement énergétique le plus élevé possible et dont les cellules résistent aux très faibles températures de l'espace. Malheureusement, ce genre de panneaux coûte cher à produire et pour les panneaux qu'on utilise sur Terre, on préfère des panneaux avec un plus faible rendement pour un moindre coût. Cependant, il existe des champs de panneaux solaires qui ont pour but de générer le maximum d'énergie. Pour cela, on utilise les panneaux développés sur base de ceux des missions spatiales.

Persiennes

Un autre défi fût de trouver le moyen pour que la sonde ne brûle pas lorsqu'elle sera proche du soleil et qu'elle ne gèle pas lorsqu'elle en sera éloignée. Pour cela, la sonde a été équipée de persiennes qui s'ouvrent lorsqu'elle est dans le système solaire interne (où ses systèmes peuvent atteindre jusqu'à 50°C) pour que la chaleur puisse s'échapper et ainsi éviter la surchauffe des systèmes. Au contraire, lorsqu'elle atteint le système solaire externe, les persiennes se referment pour garder un maximum de chaleur.

Seulement, ce genre de système n'a pas réellement d'utilité sur Terre mais pourra être réutilisé pour d'autres missions. En effet, les chaleurs sur Terre ne varient pas autant que lors d'un voyage à travers le système solaire. Mais pour les prochaines missions de l'ESA (qui devront atteindre Pluton ou Jupiter), ce système de persiennes pourrait être intéressant pour conserver ou faire s'échapper facilement la chaleur des sondes.

Conclusion

Les missions spatiales scientifiques, bien qu'elles ne soient pas rentables financièrement, permettent de faire de grandes avancées scientifiques et technologiques. Certaines de ces nouvelles technologies peuvent être utilisées sur Terre, notamment à des fins écologiques. Elles permettent aussi d'améliorer l'image d'un ou plusieurs pays ayant participé à la réussite des missions et de créer des emplois. Enfin, nous voudrions terminer par une citation de David Scott, commandant de la mission Apollo 15, alors qu'il était sur le point de devenir le 7e homme à avoir marché sur la lune :

"Alors que je me tiens ici, dans les merveilles de l'inconnu, à Hadley, je réalise en quelque sorte une vérité fondamentale de notre nature : l'homme doit explorer... Et cette exploration est la plus grande".



La sonde Rosetta

**Nous voudrions adresser un remerciement tout particulier
aux personnes suivantes :**

Dr. Jorissen, responsable de l'institut d'astronomie et d'astrophysique de l'université libre de Bruxelles, pour les renseignements au sujet de la théorie nébulaire qu'il nous a fournis ainsi que pour son syllabus.

Dr. Baele, chargé de cours dans le département Mines-Géologie de l'université de Mons, pour les renseignements au sujet de la ringwoodite qu'il nous a fournis.

Mme Celva pour le soutien qu'elle nous a donné.

Mme Depetris, notre professeur de français, pour l'aide apportée sur le projet.

Mme Leriche, notre professeur de physique, pour le soutien, les renseignements et le temps qu'elle nous donne dans tous nos projets.

Références

Scientifiques

-Dr. Alain Jorissen, responsable de l'institut d'astronomie et d'astrophysique de l'université libre de Bruxelles.

-Dr. Jean-Marc Baele, chargé de cours dans le département Mines-Géologie de l'université de Mons.

-Mme Leriche, professeur de physique à l'Athénée Provinciale de La Louvière.

Présence et/ou lecture de différents cours

-Cours public d'astronomie à l'université libre de Bruxelles, deuxième module de l'année 2014-2015 : "Croisière dans le système solaire d'aujourd'hui" par Alain Jorissen.

-Syllabus du cours "La structure de l'univers" par Alain Jorissen à l'université libre de Bruxelles.

Sites Web

<http://arxiv.org/abs/1307.6869>

<http://astrobites.org/2013/08/01/studying-space-water-measurements-of-the-dh-ratio-in-comet-45p/>

<http://pulse.edf.com/fr/des-cellules-solaires-a-haut-rendement-issues-du-spatial>

<http://sci.esa.int/juice/>

<http://sci.esa.int/plato/>

<http://sci.esa.int/rosetta/12198-new-louvers-ensure-that-rosetta-is-real-cool/>

<http://sci.esa.int/rosetta/2279-summary/>

<http://www.atlantico.fr/decryptage/conquete-spatiale-dizaines-milliards-que-envoyons-en-air-seront-jour-rentables-jacques-villain-2022108.html>

<http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/univers/eauCometes.html>

<http://www.directmatin.fr/espace/2014-11-14/lombre-le-petit-robot-philae-vit-ses-dernieres-heures-694669>

http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta

http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/Comet_rendezvous

http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/Europe_s_comet_chaser

http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/First_detection_of_molecular_oxygen_at_a_comet

http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/Frequently_asked_questions

http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/History_of_cometary_missions
http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/Getting_to_know_Rosetta_s_comet
http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/Life_and_survival_in_deep_space
http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/Rosetta_fuels_debate_on_origin_of_Earth_s_oceans
http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/Rosetta_makes_first_detection_of_molecular_nitrogen_at_a_comet
http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/Rosetta_reveals_comet_s_water-ice_cycle
http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/The_long_trek
http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/Ultraviolet_study_reveals_surprises_in_comet_coma
http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/Why_Rosetta
http://www.esa.int/ESA/Our_Missions
http://www.esa.int/For_Media/Highlights/ESA_budget_2015
<http://www.lefigaro.fr/conjoncture/2014/11/12/20002-20141112ARTFIG00176-mission-rosetta-un-pari-spatial-a-pres-de-14-milliard-d-euros.php>
http://www.lemonde.fr/sciences/article/2014/11/12/mission-reussie-pour-philae-qui-a-atteint-sur-la-comete-tchouri_4522515_1650684.html
<http://www.nmspacemuseum.org/halloffame/detail.php?id=68>
<https://www.obspm.fr/comete-hartley-2-herschel-nouveau-regard-sur-l.html>
<http://www.sciencemag.org/content/347/6220/aaa0628>
<http://www.spacequotations.com/apollo.html>

Images

-Diapositive du cours public d'astronomie à l'université libre de Bruxelles, deuxième module de l'année 2014-2015 : "Croisière dans le système solaire d'aujourd'hui" par Alain Jorissen.

<http://sci.esa.int/rosetta/43356-2867-steins/>
<http://www.cite-espace.com/actualites-spatiales/les-etapes-de-rosetta-2/>
http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2015/12/Comet_on_12_December_2015_from_OSIRIS_narrow-angle_camera
<https://www.flickr.com/photos/europeanspaceagency/4781143008/>
<http://www.telesignal.ca/panneau.php>