



Sondes, orbiteurs et atterrisseurs

LES SONDES, VÉHICULES DE L'ESPACE



On associe traditionnellement l'exploration spatiale aux cosmonautes. En réalité, les acteurs de cette course à l'espace sont... des appareils entièrement autonomes : les sondes. De la plus simple qui se contente de survoler un astre, à la plus complexe, contenant un module capable de se poser au sol, en passant par celle qui s'insère en orbite d'un corps pour en cartographier la surface, les sondes peuvent avoir différentes fonctions. On parle d'orbiteurs lorsqu'elles se mettent en orbite de l'astre cible, d'atterrisseurs lorsqu'elles se posent sur un corps solide, ou de sondes de rentrée lorsqu'elles entrent dans l'atmosphère d'un corps gazeux. Mais quelle que soit sa nature, la sonde, bardée de capteurs et d'appareils divers, observe et mesure, en cours de route et une fois à destination : champs électriques et magnétiques, particules, prélèvements d'échantillons, photographies... Toutes ces données, transmises en direct à la Terre, permettent de mieux comprendre le système solaire.

LE LANCEMENT

Quelle que soit sa destination dans l'espace, la sonde doit d'abord quitter l'attraction terrestre. Cela nécessite une accélération importante et une force considérable. Ce sont donc les lanceurs, comme **Ariane** par



exemple, qui permettent « l'envol » des sondes. Les puissants moteurs d'un lanceur sont alimentés par de bons carburants, liquides ou solides appelés « poudre ».

Au cours de la montée, plus les réservoirs se vident et plus la fusée prend de la vitesse. Dès qu'ils sont vidés, la phase de propulsion du

premier étage est terminée. Les moteurs s'éteignent faute de carburant et l'étage est largué. Le second prend alors le relais en fonctionnant de la même façon. Sa vitesse produite, ajoutée à celle déjà fournie par le premier étage, est très importante mais souvent pas encore assez pour atteindre les objectifs fixés. Le troisième étage termine le travail. Une fois que la fusée arrive à l'altitude voulue et à la vitesse requise, la sonde transportée peut être larguée. Elle a effectué le voyage dans un étage spécial, le compartiment charge utile, au sommet de la fusée. Protégée, au long du trajet, par une coiffe qui se décroche au moment du largage de la sonde, elle commence alors sa vie autonome, ainsi qu'un nouveau voyage.

LA QUESTION DE L'ÉNERGIE

La quantité de carburant qu'une sonde peut emporter est faible. Or non seulement elle a un certain voyage à parcourir, mais en plus, elle doit fonctionner et transmettre des informations en permanence à la Terre. Et cela coûte de l'énergie. D'où l'idée de prévoir une trajectoire qui utilise au mieux l'attraction gravitationnelle des divers astres afin de faire fonctionner le moins possible les moteurs de la sonde. On parle d'assistance gravitationnelle. L'astuce permet de voler de l'énergie à un corps céleste en le frôlant. Plus il est massif, plus le passage est proche, et plus la vitesse acquise est élevée.

Bien sûr, tout ceci ne dispense pas l'appareil d'un moteur. Depuis quelques années, on utilise les moteurs à ions. Dedans, le carburant n'est pas brûlé mais ionisé. Les ions libérés passent par deux grilles fortement chargées électriquement et subissent ainsi une accélération. La force d'accélération cause une force de réaction de sens opposé : c'est la force de propulsion du moteur à ions. C'est le xénon (un gaz rare) qui est utilisé comme « carburant ».

Une alimentation électrique est tout de même nécessaire pour l'ionisation du carburant et l'accélération des ions libérés, pour alimenter les ordinateurs de bord, le système radio, les divers instruments. On connaît deux solutions : l'énergie solaire ou la radioactivité.

Pour convertir la lumière en électricité, on utilise des cellules photovoltaïques regroupées sous forme de panneaux solaires. Les sondes sont également équipées de batteries rechargeables pour

prendre la relève lorsque le soleil est insuffisant.

Pour des trajectoires éloignées, les panneaux solaires ne sont plus pratiques car l'intensité des rayons du soleil est faible. Les sondes sont donc munies de leur propre source d'énergie, du plutonium 238. La radioactivité dégagée produit de la chaleur et celle-ci est convertie en électricité.

Finalement, grâce à tous ces systèmes, une sonde peut fonctionner plusieurs années, voire plusieurs dizaines d'années. Voyager 1, lancée en 1977, est toujours, en 2007, en communication avec la Terre.

SUIVRE UNE SONDE

Une sonde doit garder une communication radio avec la Terre, d'une part pour nous envoyer les données qu'elle a recueillies et d'autre part pour que l'on puisse lui envoyer de nouvelles commandes. Pour cela, elle doit constamment diriger son antenne en direction de notre planète. La sonde doit également orienter ses instruments en des points précis pour prendre les mesures désirées. Cela implique que son altitude et son orientation dans l'espace doivent être contrôlées et stabilisées, en permanence.

L'orientation de la sonde est contrôlée par trois mouvements de base : le roulis, le lacet et le tangage. Ces trois mouvements sont effectués sur des axes traversant la sonde par son centre de gravité et sont orientés à 90 degrés les uns par rapport aux autres. La façon la plus facile pour stabiliser une sonde est de la faire tourner sur elle-même. Pour

réajuster l'un de ces axes, on active des petits réacteurs.

Pour connaître la distance sonde-Terre, un transmetteur sur Terre envoie une impulsion sur l'onde porteuse de la radio sonde à intervalles réguliers. Lorsque la sonde reçoit l'impulsion, elle la retransmet aussitôt vers la Terre. On mesure alors le temps entre la transmission de l'impulsion et la réception de la réponse sur Terre de l'impulsion provenant de la sonde. À l'aide de ce temps, les ondes radio se propageant à la vitesse de la lumière, on peut en déduire la distance sonde-Terre.

Pour déterminer sa vitesse et sa trajectoire, on se sert de deux émetteurs radios terrestres situés de chaque côté de la Terre, de la fréquence des ondes radio du système de communication de bord et de l'effet Doppler. Bien sûr, la mesure n'est pas directe et nécessite de nombreux calculs. Notamment des calculs vectoriels puisque les deux radios obtiennent chacune un vecteur et que le troisième vecteur correspond au diamètre de la Terre. Lorsque la distance sonde-Terre est très grande, le calcul vectoriel est moins précis puisque le triangle ainsi formé est très aplati et l'angle utilisé faible. On utilise alors un point de référence supplémentaire comme une étoile très brillante.

QUELQUES INSTRUMENTS INDISPENSABLES

Une sonde, c'est un concentré de technologies : l'envoi d'un kilo dans l'espace coûtant 22 000 dollars, une sonde pesant en moyenne quelques centaines de kilos, on comprend

qu'aucun gramme ne soit inutile. Que trouve-t-on dans une sonde ?

Des spectromètres en tout genre. Un spectromètre est un appareil permettant de décomposer un faisceau lumineux en ses éléments simples, son spectre. Le terme de spectromètre désigne une grande famille d'instruments permettant d'étudier le large éventail de longueurs d'onde allant des rayons gamma à l'infrarouge.

Généralement, un appareil ne fonctionne que sur une petite partie du spectre, ce qui explique que ces instruments prennent des formes très différentes et utilisent des technologies spécifiques en fonction de la longueur d'onde.

La variable mesurée est l'intensité de la lumière et la quantité sa longueur d'onde. Au-dessous des fréquences optiques (c'est-à-dire les micro-ondes, les ondes radio), on emploie un dispositif électronique étroitement lié, appelé l'analyseur de spectre.

- **Analyseur de poussières** : des spectromètres permettent également d'analyser des gaz, poussières et autres échantillons prélevés.

- **Un magnétomètre** : c'est un appareil qui sert à mesurer l'aimantation d'un système. Selon le principe de l'induction magnétique (un courant électrique génère un champ magnétique et inversement), le champ magnétique dans lequel baigne le capteur génère donc un courant électrique proportionnel. Les magnétomètres sont capables d'identifier les différentes sortes de particules par la mesure de leur vitesse, de leur énergie et de leur charge.

- **Des caméras** : bien souvent, une sonde est munie de caméras dans

Premiers de la classe

Luna 2

Premier engin à atteindre un corps céleste, la Lune, le 14 septembre 1959.

Luna 9

Premier atterrisseur en douceur sur la Lune, le 31 janvier 1966.

Luna 10

Première sonde en orbite autour de la Lune, le 3 avril 1966.

Luna 16

Luna 16 prélève les premiers échantillons lunaires et les ramène sur Terre le 24 septembre 1970.

Pioneer 6

Avec plus de 35 ans de mission, Pioneer 6 est la sonde spatiale présentant la plus grande longévité.

Pioneer 10

Premier objet terrestre à s'aventurer au-delà de Pluton, en 1987.

L'assistance gravitationnelle



Grâce au champ de gravité d'une planète, on peut modifier naturellement la vitesse et la trajectoire d'une sonde.

Galileo



le 7 décembre 1995

La première sonde en orbite autour de Jupiter

des longueurs d'ondes différentes (visible, infra-rouge, UV) et de résolution différente (à grand angle, microscopique).

• Des radars : ce sont des outils de mesures qui utilisent les ondes radio pour réaliser différentes mesures, notamment cartographier un astre, et permettent de signaler la position de la sonde à la Terre.

• Des interféromètres : ils analysent les émissions lumineuses des atmosphères planétaires, et dévoilent leur spectre.

• Des photopolarimètres : ils mesurent l'intensité de la lumière et son état de polarisation.

PROTÉGER UNE SONDE

Le revêtement doré des sondes n'est pas là pour décorer, mais pour leur éviter de cuire ou de geler. En effet, dans le vide spatial, les températures varient de manière considérable. Les régions exposées au Soleil peuvent atteindre 200 °C, contre -150 °C à l'ombre. Et c'est sans compter la chaleur rejetée par les instruments de bord eux-mêmes.

L'intérieur de la sonde doit impérativement être maintenu à des températures stables, de -20 °C à +20 °C, pour que les instruments de bord puissent fonctionner. Or, dans le vide, les échanges de chaleur se font uniquement par rayonnement. La capacité d'un matériau à rayonner (ce qui va conditionner sa température) dépend de sa couleur. Pour contrôler les températures, on recouvre la sonde de matériaux divers, aux propriétés réfléchissantes et isolantes, comme la feuille de mylar doré. Celle-ci joue exactement le même rôle que les visières dorées des **casques de pompier** sauf que le côté doré est situé



à l'extérieur, pour empêcher le rayonnement infrarouge du soleil de cuire l'intérieur de la sonde.

Les ingénieurs positionnent également à certains endroits des petits rectangles noirs (absorption de la totalité de la lumière solaire, ce qui provoque un échauffement) ou blancs (réflexion de la totalité de la lumière solaire, ce qui provoque un refroidissement), voire des miroirs. Certains systèmes électroniques peuvent également nécessiter des équipements particuliers et être dotés de radiateurs.

Enfin, des panneaux solaires peuvent permettre également d'évacuer la trop forte énergie solaire qui sera reçue. Ils sont composés en grande partie de miroirs, les deux tiers de la surface des panneaux en étant couverte, et le tiers restant accueillant de véritables cellules photovoltaïques.

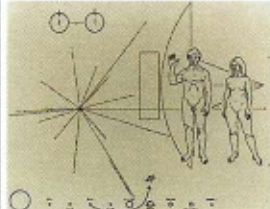
UN LOINTAIN VOYAGE

Qui dit exploration spatiale dit long voyage. Si certaines sondes ont pour

destination une orbite bien précise, une planète bien définie, d'autres sont promises à un très lointain devenir. Jusqu'où vont-elles ? Aussi loin que possible, leur mission étant d'étudier les corps célestes qu'elles croisent sur leur passage, jusqu'à ce que, devenu trop éloigné, leur signal de transmission devienne trop faible pour être capté depuis la Terre.

Ainsi, la sonde américaine **Pioneer 10** est le premier objet terrestre à s'aventurer au-delà de Pluton, en 1987. Lancée en mars 1972, conçue au départ pour survoler Jupiter et durer 2 ans, elle continue d'émettre jusqu'en février 2003, date à laquelle elle se trouve à 12,2 milliards de kilomètres de notre planète, 82 fois la distance de la Terre au Soleil.

Pioneer 10 ne détient pas le record de distance à la Terre, celui-ci appartenant à la sonde Voyager 1, lancée en 1977. Conçue pour aller le plus loin possible, après avoir survolé Jupiter, Saturne et leurs satellites, c'est la première création humaine à franchir la limite de l'héliosphère, une sorte d'immense bulle balayée par les particules émises par le Soleil, le 16 décembre 2004, située à 12,8 milliards de kilomètres de la Terre. Puis, le 15 août 2006, Voyager 1 dépasse les 15 milliards de km et franchit une nouvelle frontière, l'héliopause, limite de l'influence magnétique du Soleil. Elle peut alors mesurer les particules et ondes interstellaires non affectées par les vents solaires, une première dans l'histoire de l'exploration spatiale ! Voyager devrait fonctionner jusqu'en 2020. À cette date, elle sera à 20 milliards de kilomètres du Soleil. Ambassadeurs interstellaires, les sondes Pioneer et Voyager emportent à leur bord, outre les appareils de mesure habituels, d'étranges messages. Pour Pioneer, il s'agit d'une plaque en or où figurent la **description d'un humain, la localisation de la Terre et la date du début de la mission.**



Voyager renferme, elle, un disque de cuivre plaqué or, une aiguille pour le lire et une cellule. Pour le cas où l'une de ces deux sondes serait un jour recueillie par des extraterrestres...

LES ORBITEURS : DES SONDES SATELLITES

Sonde particulière, un orbiteur est un vaisseau qui étudie une planète ou un autre corps céleste en gravitant autour, en orbite autour de cet astre. En effet, certaines sondes sont destinées à être mises en orbite autour d'autres

planètes, satellites de planètes (comme la Lune ou Titan) ou d'astéroïdes (tel l'astéroïde Itokawa).

On parle également de sonde satellite. Il est important de les distinguer des satellites artificiels qui ne sont destinés qu'à être mis sur orbite terrestre. De la même manière que pour un satellite artificiel, la sonde doit parvenir sur l'orbite à atteindre, avec une vitesse déterminée. Une fois en orbite, les moteurs ne sont plus utiles sauf pour des ajustements occasionnels mineurs. Selon les missions, le lanceur peut atteindre plusieurs orbites, préalablement enregistrées dans le « cerveau » de la fusée. Des corrections de trajectoires sont effectuées pendant le vol par petites impulsions données par les moteurs de l'appareil. Cela couvre à la fois les mesures *in situ* (champs électriques et magnétiques, particules dans le vent solaire et les magnétosphères planétaires ; prélèvement d'échantillons) et les observations avec une résolution angulaire inaccessible depuis la Terre ou en orbite terrestre. Qu'est-ce qu'ils apportent ? Ils permettent de cartographier une planète, d'étudier la composition de son atmosphère, sa dynamique, son champ magnétique

QUELQUES ORBITEURS CÉLÈBRES

La sonde Smart 1, lancée en septembre 2003 par l'Es, était en orbite de novembre 2004 à septembre 2006 autour de notre satellite, la Lune. Sa mission s'est achevée par un crash volontaire sur la surface lunaire, destiné à comprendre la composition du sol à cet endroit. Venus est scrutée par la sonde Venus express, lancée en novembre 2005, par l'Es. Insérée en orbite depuis avril 2006, elle étudie l'atmosphère de la planète, sur une orbite s'approchant à 250 km et s'éloignant de 66 000 km du sol vénusien.

Mars est sans doute la planète la plus visitée par les sondes. Citons parmi elles Mariner 9, lancée en 1971 ; Mars Global Surveyor, en 1996 ; Mars Odyssey, en 2001 ; et Mars Reconnaissance Orbiter en 2005. Un peu plus lointaine, Jupiter n'échappe pas non plus à son satellite artificiel. Il se nomme Galileo, et est resté en orbite de 1995 à 2003. Autour de la planète Saturne, orbite **Cassini** depuis 2004. la sonde en a



profité pour larguer dans l'atmosphère de Titan, l'un des satellites de Saturne, la sonde Huygens. Neptune aura prochainement elle aussi sa future mission intitulée Neptune Orbiter. Pluton attend sa sonde pour 2015. Baptisée New horizon, elle a été lancée en janvier 2006.

Les comètes ne sont pas en reste. La sonde Rosetta lancée en 2004 devrait atteindre l'orbite de la boule de roches et de glaces Churyumov-Gerasimenko, en novembre 2014. Le Soleil suscite également beaucoup d'intérêt. Plusieurs dizaines de sondes l'étudient depuis une orbite terrestre, citons, parmi celles qui voyagent en orbite solaire à 45 millions de km de notre étoile, les sondes Helios.

LES ATTERRISEURS

On appelle atterrisseur une sonde spatiale qui explore la surface d'une planète (ou d'un satellite), par opposition à un orbiteur qui l'observe depuis l'espace. On distingue deux grands types d'atterrisseurs : fixes (les landers) et mobiles. Quoi qu'il en soit, ces deux types sont soumis à la même épreuve : la descente sur la planète ou l'astre étudié. Cette descente ne dure pas plus de 15 minutes, une étape courte mais décisive après un voyage de plusieurs mois voire plusieurs années.

Un atterrissage est une manœuvre plus complexe qu'une mise en orbite. Le premier risque auquel s'expose la sonde concerne le site d'atterrissage. En effet, le terrain sur lequel l'atterrisseur va se poser peut être accidenté, sans compter que sa nature est relativement inconnue. Il faudra un minimum de chance pour éviter de se retrouver les trois pieds en l'air sur la pente d'une colline.

La descente en elle-même est également une épreuve : l'entrée dans l'atmosphère de l'astre et l'accélération due à la gravité crée une hausse des températures. Il faut donc d'une part décélérer l'engin, et d'autre part le refroidir, ou du moins, le protéger de la chaleur.

Pour ralentir la chute de la sonde sont prévus des propulseurs pour maintenir la sonde correctement alignée sur sa trajectoire, puis le déploiement d'un parachute, des airbags pour protéger de l'impact et l'allumage de rétrofusées. Pour lutter contre la chaleur, un bouclier thermique, qui pourra monter à plus de 1 500 °C et qui sera largué avant l'atterrissage. Une fois au sol, la première tâche de l'atterrisseur consiste à déployer ses panneaux solaires : ils permettront de fournir de l'énergie aux appareils embarqués à bord.

FIXE, MOBILE OU KAMIKAZE ?

Les engins destinés à descendre sur une planète ou sur un autre corps céleste peuvent être de 3 types : fixes, mobiles ou de rentrée. Les atterrisseurs prévus pour rester immobiles au sol sont les landers. Après avoir déployé leurs pieds et leurs panneaux solaires, ils réalisent des prises de mesures grâce à des bras articulés et des appareils d'analyse, et prennent des photos grâce à diverses caméras. Ainsi l'atterrisseur de la sonde Viking 1 atterrit sur Mars en 1976, photographie pour la première fois sa surface et termine sa mission en 1982. Depuis, 4 landers fixes ont été envoyés avec succès sur la planète rouge. D'autres atterrisseurs vont plus loin : une fois à destination, en véritables explorateurs, ils se déplacent à la

surface de l'astre étudié. Ce sont des rovers tout terrain, tels que Spirit et Opportunity sur Mars. Eux aussi sont équipés de hordes d'appareils de mesure, d'imagerie et d'analyse. Les sondes de rentrée, elles, ont une courte durée de vie : elles se contentent de réaliser une descente sur l'astre étudié, pendant laquelle elles réalisent des mesures et à l'issue de laquelle elles sont détruites par les conditions du milieu. Parfois, tandis que la sonde principale continue son orbite, seul un module est précipité au sol ou dans l'atmosphère de l'astre étudié. En 2005, la sonde Cassini envoie ainsi son module Huygens sur Titan, satellite de Saturne. Cette « dégringolade », qui ne dure que quelques minutes, permet tout de même à l'engin d'analyser les gaz présents, de photographier la surface et de fournir de précieuses informations à la Terre.

SUCCÈS MARTIEN

Incroyable longévité pour Spirit et Opportunity, les deux rovers de la Nasa, lancés sur Mars en 2003 ! Arrivés sur la planète rouge en janvier 2004, et prévus pour effectuer des mesures pendant 3 mois, ils sont finalement toujours en service à l'automne 2007, après avoir traversé plusieurs tempêtes de sables grâce à leurs panneaux solaires produisant 700 watts/heure capables de se dresser à la verticale pour faire glisser la poussière martienne accumulée. Les deux rovers ont fait preuve d'une robustesse inégale et continuent d'arpenter le sol martien et de nous en envoyer des images.

Que sont ces véhicules ? Jumeaux, les deux rovers, munis de 6 roues motorisées, font la taille d'une petite voiture et pèsent 185 kg. Chacun comporte un ordinateur de bord et ses batteries qu'il doit maintenir à une température contrôlée (entre -40 °C et +40 °C) pour garantir le bon fonctionnement des circuits électriques et des batteries. Pour le reste, ce sont des concentrés de technologie. Parmi leurs appareils, 2 batteries rechargeables, un bras robotisé capable de creuser la roche, 2 spectromètres, une caméra microscope, 3 antennes radio pour communiquer avec la Terre, thermomètres, thermostats, radiateurs, système d'évacuation de la chaleur, un mât portant des instruments de navigation et scientifiques : une caméra panoramique, des caméras de navigation, des caméras scientifiques et un spectromètre thermique.

ET LES COMÈTES ?

Le paysage des sondes est vaste. Outre les voyageuses au long cours, les orbiteurs et les atterrisseurs et autres sondes de rentrée, il existe des sondes « inclassables », telle la mission Stardust. Lancée en 1999, la sonde est chargée de prélever quelques poussières de la queue de la comète Wild 2. Environ 3 cuillères à café sont récoltées en 2004, dans l'aérogel de la sonde qui ramène sur Terre ses précieux échantillons en 2006 en larguant une capsule de 46 kg dans l'atmosphère terrestre, au dessus d'un désert.