SMART : LA NOUVELLE EXPLORATION DE LA LUNE

CHRISTIAN MULLER
INSTITUT D'AÉRONOMIE SPATIALE DE BELGIQUE

La première sonde lunaire européenne, SMART-1, s'apprête à entamer le voyage sans précédent qui l'emmènera au voisinage de notre satellite naturel grâce à la seule poussée de son moteur ionique, testé pour la première fois par l'Agence spatiale européenne comme principal moyen de propulsion.

LA SONDE DE L'ESA est arrivée le 15 juillet dernier à Kourou, en Guyane, et attend en ce milieu de septembre 2003 son tir de Kourou où elle partage un vol d'ARIANE 5 avec deux satellites commerciaux : *INSAT-3E*, de l'Organisation indienne de recherche spatiale (ISRO) et *e-Bird*, un satellite de télécommunications d'Eutelsat. La sonde lunaire sera le plus petit satellite du trio. Elle sera installée en position inférieure, dans un adaptateur cylindrique, et sera la dernière à être libérée dans l'espace.

Le lanceur Ariane-5 générique choisi pour ce vol placera ses trois charges utiles sur une orbite de transfert géostationnaire standard d'où chacune entamera son propre voyage vers son orbite opérationnelle finale. Poussée par son moteur ionique, SMART-1 atteindra son objectif, la Lune, après avoir suivi pendant quelque 16 mois une longue trajectoire en spirale.

Le moteur ionique de SMART-1 servira à accélérer la vitesse de la sonde et à rehausser ainsi son orbite jusqu'à atteindre le voisinage de la lune, à environ 350 000 / 400 000 km de la Terre. Après une série de manœuvres dites "d'assistance gravitationnelle" réalisées autour de la lune à la fin 2004, la sonde sera finalement "capturée" par le champ gravitationnel lunaire au début 2005 et se servira alors de son moteur pour ralentir sa vitesse et réduire l'altitude de son orbite lunaire. On voit que le but poursuivi n'est pas d'atteindre la lune le plus vite mais bien avec le minimum d'énergie et sans l'assistance de propulsion chimique.

TESTER DE NOUVELLES TECHNOLOGIES

SMART-1 ne ressemble pas aux sondes envoyées habituellement dans l'espace. Première des "*petites missions de recherche et technologie de pointe*" de l'ESA, elle a d'abord été conçue pour faire la démonstration de technologiques innovantes, indispensables aux futures missions scientifiques dans l'espace lointain. Une fois parvenue à destination, elle permettra toutefois de procéder à une étude scientifique inédite de la Lune. SMART-1 est un véhicule spatial de très petite taille (à peine 1m^3). Ses panneaux solaires, d'une envergure totale de 14 mètres, lui permettront néanmoins de disposer d'une puissance de 1,9 kW, dont les trois-quarts seront utilisés par son système de propulsion hélioélectrique. La première tâche dévolue à SMART-1 en tant que démonstrateur technologique sera de tester ce nouveau système de propulsion, basé sur l'emploi d'un moteur à faible poussée continue. Celui-ci utilise l'électricité générée par les panneaux solaires pour produire un faisceau de particules chargées qui «poussent» la sonde en avant. Les moteurs de ce type sont communément appelés «moteurs ioniques», et les ingénieurs estiment qu'ils joueront un rôle essentiel dans les futures missions spatiales à long rayon d'action.

Figure 1: *le vaisseau spatial SMART-1 à l'approche de la lune. (document ESA)*

SMART-1 permettra également de procéder aux essais d'une série d'instruments et d'équipements miniaturisés, dont un système de navigation qui permettra aux futurs véhicules spatiaux de se diriger de manière autonome à l'intérieur du Système solaire et d'un dispositif de télécommunications reposant sur l'utilisation de faisceaux laser au moyen desquels la sonde tentera d'établir une liaison avec la Terre. SMART-1 disposera en outre d'un nouveau système de télécommunications par ondes courtes. Le concept de propulsion active sera aussi exploité par une navigation autonome expérimentale de la sonde permettant d'optimiser la croisière en exploitant à la fois les senseurs stel-

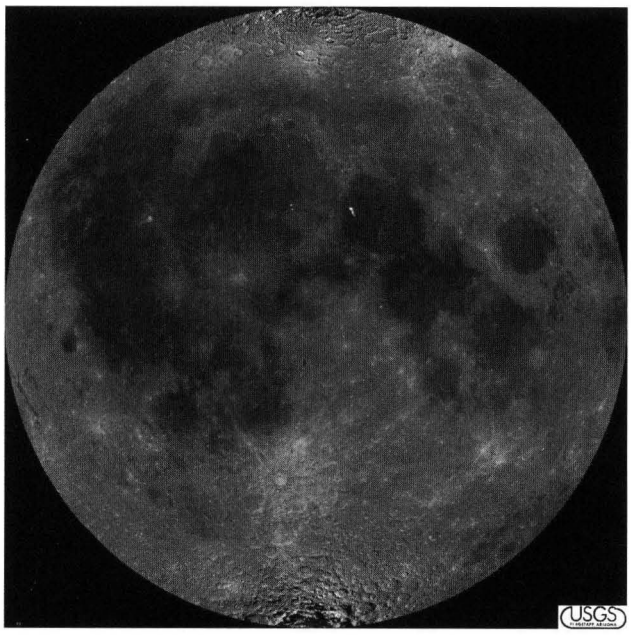

Figure 2: *carte de la face visible de la lune obtenue par la mission Clementine en 1994, on aperçoit bien que le pôle Sud présente des zones d'ombre et de lumière éternelle permettant l'exploitation de l'énergie solaire par une future station lunaire. La cartographie de ces régions a été présentée par l'équipe de Clementine comme une détection possible d'eau. (Document NASA-U.S. Geological Service)*

laires et les positions de la Terre, de la Lune et des astéroïdes vus par la caméra scientifique. La propulsion électrique est envisagée pour les missions habitées vers Mars, mais on peut déjà pressentir que les générateurs solaires ne seront jamais suffisants pour fournir l'énergie électrique nécessaire à un voyage rapide d'un grand vaisseau spatial.

Une fois installée sur une orbite quasi-polaire autour de la Lune, en 2005, SMART-1 jouera le rôle de plate-forme scientifique pour l'observation de notre satellite. La sonde cherchera à déceler la présence de glace d'eau dans les cratères lunaires situés près des pôles, recueillera des données permettant de jeter un jour nouveau sur les origines toujours incertaines de la Lune et contribuera à reconstituer son évolution en cartographiant sa topographie et la répartition des minéraux et des éléments chimiques clés à sa surface.

La science de la Lune

«Aussi surprenant cela soit-il, nous n'avons pas encore de connaissance parfaite de la Lune», déclare Bernard Foing, Responsable scientifique du projet SMART-1. «Il nous reste à comprendre comment le système Terre-Lune s'est formé et comment il a évolué, mais aussi à cerner le rôle joué par certains phénomènes géophysiques comme le volcanisme, la tectonique, la formation des cratères ou l'érosion, dans le modelage de la Lune. Sans oublier, bien entendu, qu'il nous faut trouver des ressources et des sites d'atterrissage en prévision des futures missions d'exploration lunaire et planétaire ». (communiqué ESA du 5-8-2003).

Il reste donc de nombreux mystères à élucider, malgré l'alunissage de six modules Apollo de la NASA (avec équipage) et de trois capsules soviétiques (automatiques), qui avaient permis de rapporter sur Terre des échantillons de roches sélènes. La face cachée de la Lune — celle qu'on ne voit jamais de la Terre – et les régions polaires restent largement inexplorées. Le mécanisme de formation de la lune fait même encore l'objet de discussions. Selon la théorie la plus en vogue, une protoplanète de la taille de Mars serait entrée en collision avec notre planète voici 4500 millions d'années, et les débris évaporés dans l'espace à la suite de cette collision se seraient condensés pour former la Lune.

SMART-1 cartographiera la distribution, à la surface de la lune des minéraux comme les pyroxènes, les olivines et les feldspaths. La microcaméra AMIE (*Asteroid-moon Micro-Imager Experiment*) permettra d'obtenir des clichés précis de différentes régions de la Lune (pour étudier la morphologie, la topographie et la texture de la surface), de les comprimer et de les stocker à bord avant de les transmettre sur Terre. Initialement prévue pour démontrer les possibilités de miniaturisation, elle ne pèse que 450 g, parties optique et électronique inclues, ceci grâce à l'utilisation de circuits imprimés ultra-fins disposés en sandwichs verticaux.

Les objectifs scientifiques d'AMIE sont les suivants:

- Géologie à haute résolution au moyen d'une analyse stéréo et multi-angulaire.
- Imagerie répétée du Pôle Sud.
- Cartographie des zones de lumière et d'ombre éternelle.
- Recherche de resources pour l'implantation de bases lunaires.

Le spectromètre infrarouge SIR est un instrument à 256 canaux entre 0,9 et 2,4 micromètres de longueur d'onde, couplé à un télescope d'1 mrad de champs et de 70 mm d'ouverture; il ne pèse que 2 kg. On notera que cet intervalle inclut la bande de 1,38 micromètre de la vapeur d'eau.

De plus, un détecteur X : D-CIXS (*Demonstration of a Compact Imaging X-ray Spectrometer*), tout aussi miniaturisé (3.5 kg), identifiera les principaux éléments chimiques présents à la surface et immédiatement en-dessous. C'est probablement cet instrument qui permettra comme son semblable sur Mars-Odyssée d'identifier de l'eau lunaire sur base de l'hydrogène. Ces données permettront aux scientifiques de reconstituer l'évolution géologique de l'astre lunaire et de rechercher des traces de l'impact supposé avec l'astéroïde géant. Si la théorie de la collision se vérifie, la Lune doit contenir moins de fer que la Terre, proportionnellement à des éléments plus légers comme le magnésium et l'aluminium. En établissant pour la première fois de façon exhaustive les quantités relatives des éléments chimiques, SMART-1 apportera une contribution importante à la solution de cette énigme.

Le mystère de l'eau lunaire

La présence d'eau sur la Lune n'a jamais été confirmée, malgré les

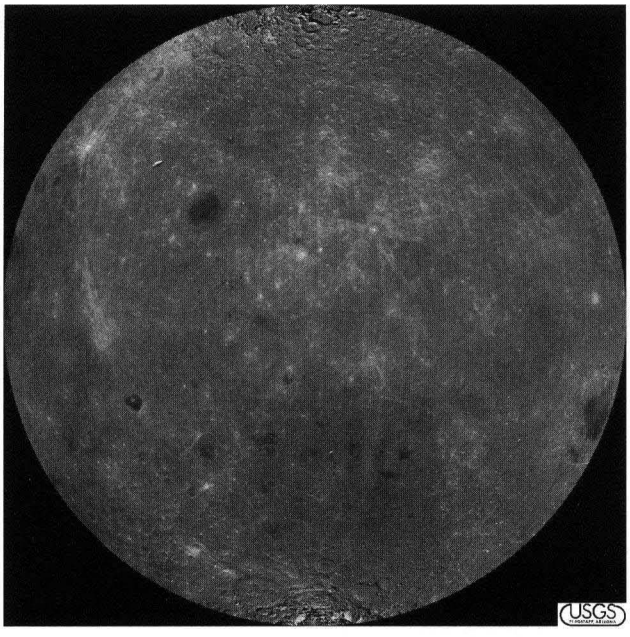

Figure 3: *carte de la face cachée de la lune établie après la mission Clementine en 1994, la remarque concernant le pôle Sud est aussi valable pour cette carte. (Document NASA-U.S. Geological Service)*

preuves indirectes recueillies par les sondes américaines *Clementine* et *Lunar Prospector* en 1994 et 1998 lors de l'observation des cratères polaires (fig. 2 et 3). La mesure effectuée correspond à une détection d'hydrogène et on voit mal quelle molécule autre que l'eau pourrait s'être accumulée aux pôles de Lune. Lors de la fin de la mission Lunar Prospector, une expérience d'impact destinée à provoquer l'évaporation d'éventuelle glace polaire a été négative. Plusieurs tentatives radio-astronomiques n'ont pas non plus donné les signaux escomptés.

SMART-1 recherchera l'eau sous forme de glace dans des zones abritées du Soleil. Ces masses de glace pourraient se nicher au creux de petits cratères dans les régions polaires (Fig. 2 et 3). Ces cratères sont parmi les points les plus froids du système solaire car ils fixent le fond du ciel perpendiculairement au plan de l'écliptique. La glace y proviendrait d'anciennes comètes et s'y serait accumulée en même temps que la poussière cosmique produisant un dépôt noir, mat et froid et donc très difficilement détectable. Scruter le fond de ces cratères constitue peut-être l'objectif le plus délicat que se soient fixé les chercheurs du projet SMART-1. Ils chercheront à en obtenir la signature infrarouge. Non sans mal, puisque ces zones ne sont pas directement ensoleillées. Il se peut toutefois que le rayonnement issu des bords des cratères ensoleillés éclaire suffisamment la glace pour que le spectromètre SIR puisse la déceler. Les estimations de la température de ces glaces varient entre -170° C et -230°C et donc SIR ne peut compter y mesurer que du rayonnement réfléchi. Un éventuel signal positif demanderait d'être confirmé par une mesure d'hydrogène abondant par D-CIXS tandis qu'AMIE devrait indiquer s'il s'agit d'une zone d'ombre éternelle.

Si une réserve d'eau pouvait être identifiée, son caractère de résidu cométaire ancien justifierait son étude scientifique. Plus tard, elle pourrait être exploitée en temps que source d'énergie et d'hydrogène-oxygène par une future station lunaire.

Suite de l'exploration lunaire

En 2004 et 2005, deux missions japonaises, *Lunar A* et *SELENE*, ont pour but d'analyser notre satellite au moyen de deux pénétrateurs équipés de sismomètres et de gravimètres et d'un orbiteur spécialisé dans la géodésie et l'étude des plasmas spatiaux; *Somayana*, une mission indienne, est également à l'étude pour 2007. L'ESA , la NASA et l'Agence Spatiale Japonaise discutent le retour à la Lune dans le cadre d'une étape vers Mars, soit comme démonstrateur technologique, soit même comme camp de départ (fig.4). Dans les deux cas, des études scientifiques de la Lune seront effectuées.

Participation belge

Deux sociétés belges participent à SMART-1 : *Spacebel*, pour le logiciel de bord et *Alcatel ETCA* pour le traitement de puissance pour la propulsion électrique. Il n'y a malheureusement pas de scientifiques impliqués dans les expériences mais les données sont ouvertes à tout professionnel et même amateur désireux de contribuer, et elles seront distribuées après 6 mois sur un site web spécialisé de l'ESA.

Références : Ce texte est en grande partie adapté des documents de l'ESA et du CNES cités.

G. Racca, B. Foing and the SMART project team. *A Solar-Powered Visit to the Moon*, ESA Bulletin, 113,14-27, 2003 http://esapub.esrin.esa.it/bulletin/bullet113.htm

Communiqués ESA du 5/8 et du 12/8/2003, CNES du 12/9/2003

Site internet : http://www.esa.int/export/SPECIALS/ SMART-1/index.html

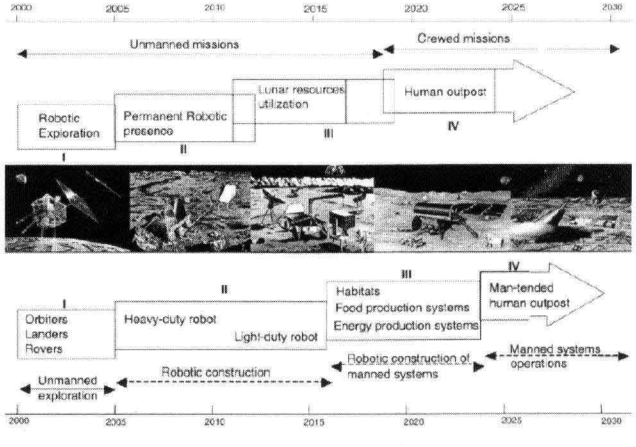

Figure 4: *Un plan d'exploration lunaire en discussion à l' "International Lunar ExplorationWorking Group" mis en place par la NASA, l'ESA et l'Agence Spatiale Japonaise, le parallélisme avec les projets martiens est frappant. (Racca et al, 2003)*