

qui renverraient bien plus de données que les survols de *Voyager 2* dans les années 1980.

Un autre type de moteur ionique, nommé propulseur à effet Hall, accélère également des ions, mais avec une configuration différente. Ces propulseurs utilisent un champ électrique et un champ magnétique radial qui dirigent les ions, mais, pour une même taille, la poussée est quatre fois supérieure. La Société européenne de propulsion a mis au point un tel moteur qui devrait voler sur le satellite français de télécommunication *Stentor*. Pour le moment, on n'envisage d'utiliser ces systèmes que dans l'espace proche, mais, si les performances s'améliorent, on étendra leur champ d'application. Le gouvernement américain a déjà équipé un satellite militaire d'un tel moteur, et les satellites des flottes de télécommunications *Teledesic* et *SkyBridge* seront munis de propulseurs à effet Hall.

Aujourd'hui, des cellules photovoltaïques alimentent en électricité la plupart des satellites en orbite proche de la Terre. Les ingénieurs cherchent à les améliorer à l'aide de lentilles, qui focalisent la lumière solaire sur les cellules. La sonde *Deep Space 1* est équipée de tels panneaux.

Au lieu de transformer l'énergie solaire en électricité, ne pourrait-on pas l'utiliser directement pour pousser les satellites? L'armée américaine a voté un budget de 290 millions de francs pour la mise au point d'un étage terminal de fusée à énergie solaire qui transférerait les satellites d'une orbite terrestre basse à l'orbite géostationnaire pour une fraction seulement du coût des fusées chimiques. Le SOTV (l'acronyme de *Solar Orbit Transfer Vehicle*, soit «véhicule de transfert orbital solaire») utilisera un miroir très léger qui dirigera la lumière solaire sur un bloc de graphite dont la température atteindra 2 100 degrés. À cette température, l'hydrogène liquide stocké à bord se vaporisera ; le gaz occupant plus de volume que le liquide, une poussée sera produite par son éjection. Trois à huit semaines seront nécessaires pour monter une charge utile sur l'orbite géostationnaire, mais les économies se chiffrent par dizaines de millions de francs pour chaque lancement.

Au-delà de Jupiter, l'énergie solaire est plus diffuse, donc plus difficile à exploiter. La sonde *Galileo*, qui

Les voiles photoniques

Henry Harris

Depuis que les astronomes ont découvert que notre Galaxie contient de nombreuses planètes, les rêves des auteurs de science-fiction semblent plus réalistes. L'étude de ces planètes lointaines pourrait nous en apprendre davantage sur notre place dans l'Univers. Cette perspective conduit les ingénieurs à tourner leur regard vers les étoiles.

L'exploration de ces mondes n'est pas pour demain : avec les moyens techniques actuels, il faudrait des dizaines de milliers d'années pour atteindre les étoiles les plus proches. En 1998, j'ai coordonné pour la NASA une étude des systèmes de propulsion qui permettraient à un véhicule d'exploration de faire l'aller-retour vers une autre étoile en 40 ans, soit la durée d'une carrière pour un scientifique. Trois systèmes semblent envisageables : la fusion (voir l'encadré de la page 50), l'antimatière et la pression de radiation. Aujourd'hui, seul le dernier phénomène est suffisamment bien connu pour qu'on puisse en tester les potentialités.

L'attrait de la pression de radiation est évident : lorsque vous prenez votre voiture pour un long trajet, vous êtes tributaire de la présence de stations-service pour le ravitaillement en carburant et de mécaniciens qui la maintiennent en état. En revanche, les véhicules spatiaux actuels doivent emporter tout le carburant dont ils auront besoin et fonctionner sans intervention humaine. Ne pourrait-on pas laisser le moteur et le carburant sur la Terre? On pourrait alors procéder à des réparations au cours des vols et alléger le véhicule, de sorte qu'il serait accéléré plus facilement.

Dès les années 1980, les ingénieurs en aéronautique ont proposé de pousser des vaisseaux pour les vols de longue durée avec un puissant faisceau laser projeté sur une grande «voile». Les lasers transportent de l'énergie à de très grandes distances, et une surface importante de voile permet à cette dernière de recevoir une quantité d'énergie considérable. D'autres rayonnements sont envisageables : les micro-ondes sont évoqués par Leik Myrabo (voir l'encadré de la page 44), mais on pourrait aussi utiliser des particules chargées qui, atteignant le vaisseau, traverseraient une boucle magnétique supraconductrice, créant ainsi une force électromagnétique qui produirait une poussée. À ce jour, la lumière laser semble être encore la plus efficace.

Lorsqu'un photon émis par un laser atteint la voile, deux phénomènes peuvent se produire. Soit il entre en collision élastique avec le champ électromagnétique qui entoure les atomes de la voile, et il est alors réfléchi ; soit il est absorbé par le matériau de la voile, ce qui chauffe légèrement la voile. Dans les deux cas, la voile est accélérée, mais l'accélération qui résulte de la réflexion est deux fois supérieure à celle qui résulte de l'absorption.

L'accélération due à un laser est proportionnelle à la force qu'il transmet à la voile et inversement proportionnelle à la masse du véhicule spatial. Comme pour d'autres méthodes de propulsion, les performances des voiles photoniques sont limitées par les propriétés thermiques et par la résistance des matériaux, ainsi que par notre capacité à concevoir des structures légères. Les voiles proposées seraient un mince film métallique poli, tendu sur une structure de soutien qui conférerait une résistance structurale à l'ensemble.

La puissance transmise est limitée par l'échauffement de la voile : lorsque sa température augmente, la surface métallique devient moins réfléchissante. Pour refroidir la voile et augmenter ainsi l'accélération, on recouvrirait la face non réfléchissante de matériaux qui dissiperaient efficacement la chaleur.

Pour atteindre des vitesses très élevées, un véhicule spatial devrait accélérer longtemps. La vitesse finale qu'une voile photonique peut atteindre est déterminée par la durée pendant laquelle un laser au sol peut l'éclairer efficacement. La lumière laser est cohérente : l'énergie transmise est constante quelle que soit la distance, dans la limite d'une distance critique nommée distance de diffraction. Au-delà, la puissance transmise devient rapidement négligeable.



Slim Films