

un moyen bon marché d'aller dans l'espace, mais elle est finalement aussi coûteuse que les lanceurs classiques. De plus, depuis la catastrophe de la navette *Challenger*, en 1986, la navette a été réservée aux études et à la recherche. Si l'on équipait une navette pour conduire 50 passagers dans l'espace, ceux-ci devraient payer chacun 50 millions de francs pour que l'exploitant rentre dans ses frais.

Aujourd'hui, le voyage spatial coûte cher, parce que les étages propulseurs emportent à la fois le comburant et le carburant pour leur court trajet ; sauf pour la navette spatiale, ces étages sont abandonnés et se consomment dans l'atmosphère après quelques ardentes minutes de gloire. Pendant longtemps, les ingénieurs ont espéré réduire les coûts de lancement en construisant des engins réutilisables, qui ne nécessiteraient qu'un réapprovisionnement en carburant et quelques vérifications de routine entre les vols, comme les avions de ligne. Les agences spatiales du monde entier et quelques sociétés

apparues ces dernières années se consacrent à la réduction des coûts de lancement. La plupart cherchent à adapter les techniques existantes afin de proposer des lancements moins coûteux de petites charges utiles en orbite terrestre basse.

Toutefois, la construction de fusées, même classiques, reste difficile. Le premier lanceur *Delta 3* de la Société *Boeing*, la première grande fusée construite par le secteur privé, a explosé peu de temps après son décollage de Cap Canaveral, en août 1998. Une fusée *Titan 4A*, construite conjointement par l'armée américaine et par la Société *Lockheed Martin*, avait explosé au même endroit deux semaines plus tôt, et le premier tir de la fusée européenne *Ariane 5*, en 1996, a été un échec cuisant en raison d'une erreur de conception dans le logiciel de vol. Aux États-Unis, au cours de la dernière décennie, des désaccords sur les financements ont conduit le gouvernement à abandonner plusieurs projets de mise au point de nouvelles fusées non réutilisables.

Les aventuriers

Les entrepreneurs sont toutefois tenaces. L'un d'eux, la Société *Kistler Aerospace*, construit les deux premiers lanceurs d'une série de cinq qui seront équipés de moteurs russes. Le premier étage de ces lanceurs reviendra vers son site de lancement ; le second tournera autour de la Terre avant de revenir. Les deux étages descendront en parachute et atterriront sur des coussins gonflables. La Société *Kistler* a rassemblé 2,6 milliards de francs, et elle cherche un financement supplémentaire de cet ordre. Malgré la crise financière mondiale, les dirigeants de cette société estiment que les premiers vols devraient commencer cette année. Une autre société, *Beal Aerospace Technologies*, construit un lanceur à trois étages qui devrait voler au cours du troisième trimestre de l'an 2000 ; une version réutilisable serait mise au point par la suite.

D'autres sociétés cherchent à réduire les coûts de lancement en utilisant l'oxygène de l'atmosphère :

Fusée à rotation Roton	Date de lancement prévue : 2000	Estimation du coût : 600 millions de francs	Source de propulsion : moteur rotatif à force centrifuge
Le Roton libère sa charge utile en orbite basse Les pales du rotor en rotation libre se déploient pour la descente L'engin commence son retournement et déploie son rotor La fusée entre dans l'atmosphère par la base Le Roton s'élève dans l'atmosphère grâce à son moteur rotatif Les pales sont mues par de petites fusées, et la stabilisation est effectuée par des propulseurs latéraux			

3. LE ROTON de la Société *Rotary Rocket* décolle verticalement, propulsé par un moteur de fusée rotatif. Après la libération de la charge utile, le véhicule retourne sur Terre en dépliant des pales

d'hélicoptère. Il rentre dans l'atmosphère par la base. Les pales sont d'abord en rotation passive, puis elles sont entraînées par de petites fusées montées à leurs extrémités lors de l'atterrissage vertical.

la masse de combustible emporté serait ainsi réduite. À cette fin, on envisage des véhicules qui décolleraient et atterriraient horizontalement. La Société *Pioneer Rocketplane* étudie ainsi un véhicule léger à deux places, propulsé par un moteur fusée et par des réacteurs classiques. Cet engin, avec une charge utile et un second étage dans sa petite soute à cargaison, similaire à celle de la navette, décollerait d'une piste à l'aide de ses réacteurs et monterait à 6 100 mètres. Là, un avion de ravitaillement lui fournirait 64 tonnes d'oxygène liquide. Après séparation des deux avions, l'oxygène servirait à la mise à feu du petit moteur fusée qui propulserait l'engin à Mach 15 (15 fois la vitesse du son, soit 18 500 kilomètres par heure) à 113 kilomètres d'altitude, où il larguerait sa charge utile et son second étage. La plus grosse difficulté est la mise au point d'un mécanisme sûr pour le transfert de l'oxygène liquide.

Inversement, un avion spatial à décollage horizontal est étudié par la Société *Kelly Space and Technology*. Cet *Astroliner* transporterait jusqu'à 32 tonnes de charge utile. C'est une petite navette qui serait remorquée jusqu'à 6 100 mètres d'altitude. Là, on testerait ses moteurs fusées et on déciderait si l'on doit les allumer, afin de propulser l'engin à 122 kilomètres d'altitude. En cas de mauvais fonctionnement des moteurs, l'*Astroliner* reviendrait vers le site de lancement. Les deux premiers véhicules devraient coûter près de trois milliards de francs.

D'autres sociétés explorent des techniques plus originales. L'un des projets les plus fascinants émane de la Société *Rotary Rocket*, qui construit une fusée habitée à décollage et atterrissage verticaux. La caractéristique originale du projet, nommé *Roton*, est son moteur : le comburant et le carburant alimenteront 96 chambres de combustion à l'intérieur d'un disque horizontal de sept mètres de diamètre qui tournera à 720 tours par minute avant le lancement. La force centrifuge, créant la pression nécessaire à la combustion, éviterait les turbopompes, massives et coûteuses. Le *Roton* redescendrait à l'aide de pales d'hélicoptères repliables, mises en rotation par de petites fusées montées à leur extrémité, comme un soleil pyrotechnique (voir la figure 3). La Société *Rotary Rocket* estime ainsi réduire le prix de la mise en orbite terrestre basse

Les moteurs aérobies

Charles McClinton

Depuis des années, les ingénieurs rêvent de construire un avion qui atteindrait des vitesses hypersoniques, supérieures à Mach 5 (cinq fois la vitesse du son). Propulsé par un réacteur qui consommerait l'oxygène de l'air, un avion hypersonique pourrait même se mettre en orbite. Les progrès de l'aéronautique et les besoins de l'aérospatiale ont récemment conduit les ingénieurs à étudier de tels systèmes.

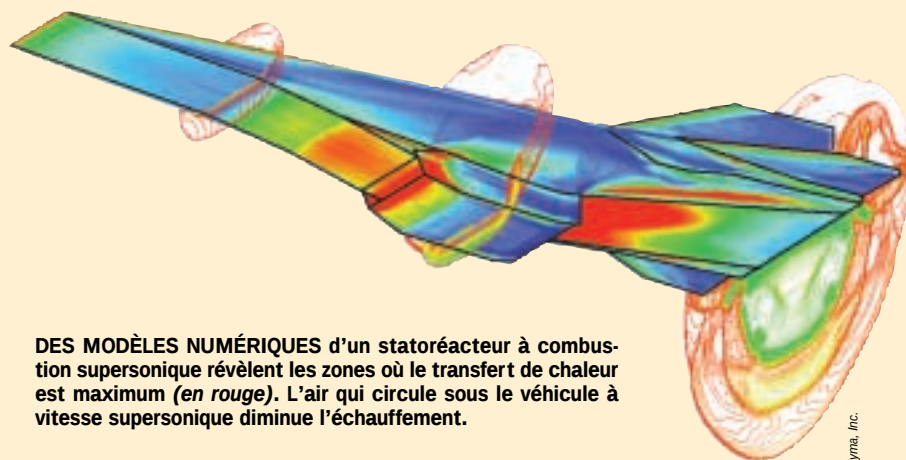
Les moteurs «aérobies» présentent plusieurs avantages par rapport aux fusées : utilisant l'oxygène de l'atmosphère, ils ne consomment pas de comburant, ce qui les allège et réduit le coût de leur fonctionnement. En outre, les véhicules à moteurs aérobies exploitent plus les forces de portance que la poussée, de sorte qu'ils sont plus maniables et plus sûrs : en cas de panne de moteur, le véhicule revient vers la Terre en vol plané. Les missions sont également plus flexibles.

Toutefois, les moteurs aérobies sont moins perfectionnés que les fusées étudiées depuis 40 ans. Certes, les ingénieurs maîtrisent bien les turboréacteurs, qui fonctionnent par compression de l'air atmosphérique et par combinaison de ce dernier avec un carburant, suivi de la combustion du mélange et de la détente des produits de combustion. Cependant, les turboréacteurs actuels ne propulsent les avions qu'à des vitesses inférieures à Mach 4 ; au-delà, la turbine et les pales qui compriment l'air sont endommagées par la surchauffe.

Heureusement, à ces vitesses supersoniques, la turbine devient superflue si le moteur est équipé d'une prise d'air qui comprime et ralentit l'air en mouvement. Ces statoréacteurs ne pouvant fonctionner qu'à grandes vitesses, on les a associés à des turboréacteurs, comme sur l'avion expérimental français *Griffon II*, qui a atteint la vitesse de 2 330 kilomètres par heure lors d'un vol en 1959. Des statoréacteurs ont également été associés à des fusées dans des missiles.

À des vitesses supérieures à Mach 6, la chambre de combustion atteint une température telle que les produits de combustion (l'eau) se décomposent. Pour atteindre des vitesses supérieures, les statoréacteurs à combustion supersonique doivent réduire la pression de l'air à l'entrée ; l'écoulement de l'air dans le réacteur restant supersonique, sa température n'augmente pas autant que dans les statoréacteurs classiques. Le carburant est injecté dans l'air supersonique auquel il se mélange et où il doit brûler en une milliseconde. La vitesse maximale des statoréacteurs à combustion supersonique (nommés *scramjet*) reste à déterminer, mais elle semble être supérieure à la vitesse de satellisation (Mach 20 à 25). Toutefois, à ces vitesses considérables, les avantages des statoréacteurs à combustion supersonique par rapport aux fusées sont minimes, voire discutables, en raison des fortes contraintes structurales que leur conception engendre.

Des moteurs aérobies hypersoniques fonctionnent avec des carburants variés, tels l'hydrogène et les hydrocarbures. L'hydrogène liquide qu'utilise la navette spatiale américaine ou le lanceur européen *Ariane 5* est avantageux, car il refroidit le moteur et le véhicule



DES MODÈLES NUMÉRIQUES d'un statoréacteur à combustion supersonique révèlent les zones où le transfert de chaleur est maximum (en rouge). L'air qui circule sous le véhicule à vitesse supersonique diminue l'échauffement.

FAIBLE

TRANSFERT DE CHALEUR

ÉLEVÉ

FOC/Nyma, Inc.