

rieur. *Virgin Galactic* envisage de facturer 200 000 dollars la place de 100 kilogrammes (charge utile ou chercheur), soit environ dix fois moins cher qu'avec un lancement de fusée classique. Le prix annoncé par XCOR et par *Armadillo Aerospace* est même plus proche de 100 000 dollars.

La révolution des fusées réutilisables permettra aussi d'avancer dans de nouveaux domaines scientifiques. Par exemple, les chercheurs auront accès à la région atmosphérique de haute altitude, comprise entre 30 et 200 kilomètres. Ils la nomment l'« ignosphère », car elle est trop haute pour être atteinte par des avions ou des ballons, mais trop basse pour que les satellites y évoluent sans retomber sur Terre. Les chercheurs pourront alors étudier de nombreux phénomènes atmosphériques, par exemple les mystérieuses rafales électriques de haute altitude que sont les farfadets (ou sylphes rouges) et les jets bleus.

Seules les fusées automatisées de la NASA accédaient à cette région mal connue. Or, les nouveaux véhicules offrent la possibilité d'embarquer les chercheurs avec leurs détecteurs. La recherche suborbitale pourrait avoir enfin droit elle aussi à ce dont tous les autres domaines de recherche jouissent depuis longtemps : un environnement de laboratoire où les scientifiques peuvent mener leurs propres expériences, sur place, sans devoir s'en remettre à des robots.

Bien que tout cela semble relever de la science-fiction, les chercheurs de certains laboratoires réservent déjà des places sur les vols pour eux-mêmes et pour leurs expériences. D'ici 2015, la technologie suborbitale de prochaine génération pourrait connaître le même essor que la technologie des fusées-sondes dans les années 1950 : aujourd'hui encore rare, demain presque banale.

Est-ce que cela constituerait en soi un changement radical ? Oui, mais la révolution va plus loin, et ces vols suborbitaux ne sont qu'une première étape ; d'autres types d'offre spatiale commerciale présentant un intérêt pour la communauté de la recherche spatiale sont en train d'émerger.

Aux États-Unis, les lanceurs qui ont historiquement été utilisés pour la plupart des missions scientifiques orbitales de la NASA (les fusées *Pegasus*, *Atlas* et *Delta*) ont tous vu leur coût plus que doubler depuis la fin des années 1990, à cause du statut de quasi-monopole des constructeurs qui peuvent arbitrairement fixer leurs prix. Lancer une petite mission scientifique à bord d'une

fusée *Pegasus* coûtait environ 15 millions de dollars ; cela revient aujourd'hui à plus de 40 millions de dollars. Et le prix des fusées haut de gamme capables d'emporter les plus grosses charges utiles (les « lanceurs lourds » comme *Atlas V*) est passé de 150 à 350 millions de dollars.

Avec des budgets pour la science spatiale pris en étau entre les réductions du financement et les dépassements de coût, les directeurs de programmes spatiaux de la NASA pourraient voir une aubaine dans les nouveaux lanceurs commerciaux.

Prenons par exemple la famille de lanceurs *Falcon* créée par *SpaceX* : l'entreprise a dépensé moins d'argent pour concevoir, dessiner, développer, tester et rendre opérationnelle sa ligne de lanceurs *Falcon* qu'il n'en a fallu au gouvernement pour construire la simple tour de lancement de la fusée *Ares*, aujourd'hui abandonnée. *SpaceX* propose actuellement le *Falcon 9* pour environ 65 millions de dollars (environ la moitié de ce que coûte le lanceur moyen concurrent *Delta II*) et, en 2014, *SpaceX* projette de mettre en service un *Falcon* beaucoup plus gros, le *Falcon Heavy* ou FH. Le FH pourra embarquer environ deux fois la charge des plus grosses fusées *Atlas* et *Delta*, mais pour 100 millions de dollars seulement, moins du tiers du prix de ses concurrentes.

Des solutions moins coûteuses

Historiquement, la NASA a lancé trois à cinq missions de science en orbite par an. En envoyant ne serait-ce que la moitié de ces missions sur un *Falcon Heavy*, on économiserait deux à trois milliards de dollars sur cinq ans. Ces économies sont suffisantes pour monter plusieurs missions de l'envergure de *Discovery* vers d'autres planètes ou jusqu'à une dizaine de missions SMEX (*Small Explorer*, explorateur de petite taille) pour l'astronomie et la physique solaire. Ce serait même assez pour financer un nouveau rover martien ambitieux du type de *Curiosity*.

Les entreprises spatiales commerciales expérimentent une autre option encore pour réduire les coûts : la possibilité de greffer des charges utiles scientifiques sur des vols commerciaux. Par exemple, chacun des 72 vaisseaux de la constellation de satellites de communications *Iridium* de seconde génération offre (contre rémunération) de la place pour des instruments

L'AUTEUR



Alan STERN a dirigé les programmes de sciences spatiale et terrestre de la NASA. Il travaille à présent à l'Institut de recherche du Sud-Ouest (Southwest Research Institute) à Boulder dans le Colorado, aux États-Unis.



Orbite lunaire (384 000 km)

Un vol suborbital à 200 000 dollars

La société *Virgin Galactic* utilise un avion porteur, le *WhiteKnightTwo*, qui transporte l'avion-fusée *SpaceShipTwo* jusqu'à 15 kilomètres d'altitude. L'avion-fusée, qui embarque six passagers et le pilote, se décroche et entame une ascension verticale pour atteindre environ 110 kilomètres d'altitude. Quand sa vitesse devient nulle, débute une chute libre, peu freinée grâce à la ténuité de l'atmosphère. Les passagers sont alors en impesanteur pendant cinq minutes. Lorsque la densité de l'air devient importante, l'avion termine sa descente à la façon d'un planeur. La durée totale du vol est de deux heures.



Virgin Galactic/Mascha Vornuza

scientifiques. La mission hôte couvre les coûts du lancement du ou des satellites, et les laboratoires ne contribuent que pour une fraction du montant.

Cependant, ce concept de « charge utile hébergée » reste un marché restreint. Il n'est pertinent que quand les instruments scientifiques peuvent tenir à bord de satellites de communications et fonctionner sur les orbites spécialisées de ces derniers. Cela n'est clairement pas destiné à de gros télescopes par exemple, ni à d'autres types de missions qui nécessitent leur propre satellite dédié. Cette solution permet néanmoins de lancer des charges utiles modestes pour quelques dizaines de millions de dollars, quand il en faut aujourd'hui plusieurs centaines pour lancer et exploiter une mission satellitaire.

Ces charges utiles hébergées pourraient bientôt emporter des instruments scientifiques bien au-delà de l'orbite ter-

restre. Plus d'une dizaine d'équipes dans le monde se sont inscrites au concours Google Lunar X PRIZE.

Des groupes tels que *Moon Express* et *Astrobotic* signent déjà des contrats pour transporter des charges utiles scientifiques jusqu'à la Lune. Ces entreprises et d'autres considèrent que le Lunar X PRIZE n'est

CES INNOVATIONS REPRÉSENTENT les premières nouvelles options que nous avons pour aller dans l'espace depuis les années 1950 et 1960.

qu'une première mission de démonstration. L'objectif à long terme est de trouver un revenu régulier en s'adressant aux chercheurs et aux pays qui n'ont pas les centaines de millions de dollars ni l'expérience technique pour aller eux-mêmes sur la Lune, mais qui ont de quoi acheter un compartiment de charge utile sur un alunisseur privé ayant fait ses preuves.

Un billet à dix millions de dollars reste 100 fois moins cher que les missions gouvernementales à un milliard de dollars.

De nombreux spécialistes de la Lune ou des planètes ont bon espoir qu'à de tels prix, le nombre de pays susceptibles d'envoyer des expériences sur la Lune va augmenter, créant une seconde renaissance pour l'étude de notre satellite.

Au-delà de la Lune, *SpaceX* regarde déjà vers Mars et envisage la possibilité de réutiliser les vaisseaux cargo *Dragon*, initialement conçus pour ravitailler la Station spatiale internationale, et de les adapter pour emporter de grosses charges vers Mars. Cela coûterait des centaines de millions de dollars de moins que les récents modules atterrisseurs martiens. Si les responsables de *SpaceX* arrivent à convaincre la NASA ou les agences spatiales d'autres pays, ils réussiront peut-être à développer une nouvelle solution

L'histoire se répète-t-elle ?

La profusion de projets commerciaux privés que l'on observe aujourd'hui, tant vers des destinations orbitales que suborbitales (altitude inférieure à 100 kilomètres), avec des passagers ou des expériences automatiques, a déjà connu une poussée de fièvre similaire au début des années 1990.

À l'époque, une nouvelle classe de charges utiles prenait son essor : les constellations de satellites de télécommunication en orbite basse. La miniaturisation de l'électronique a favorisé la conception de satellites de communication beaucoup plus petits que les grosses plates-formes placées en orbite géostationnaire.

Une constellation en orbite basse est constituée d'un grand nombre de satellites, situés entre 600 et 1500 kilomètres d'altitude, sur des orbites dont le plan orbital présente un angle d'au moins 60 degrés par rapport au plan de l'équateur. À tout endroit sur la Terre, même au voisinage des pôles, la visibilité simultanée de plusieurs satellites permet une bonne connexion qui n'est perturbée ni par la traversée de l'atmosphère ni par la distance.

Le projet le plus emblématique de l'époque fut sans doute *Teledesic*, proposé par Bill Gates. Le marché

visé était celui des services Internet haut débit. Le projet initial prévoyait 840 satellites identiques, sans compter les satellites de rechange, placés sur une orbite circulaire à 700 kilomètres d'altitude. Le projet fut ensuite revu à la baisse, avec « seulement » 288 satellites (d'une masse au lancement de 1400 kilogrammes chacun).

De nombreux projets similaires ont été proposés à cette période, notamment le *MSTAR*, qui prévoyait 72 satellites de deux tonnes à 1000 kilomètres d'altitude, *Skybridge* (80 satellites à 1450 kilomètres d'altitude), *Ellipso*, *Ecco*, *Iridium*, *Globalstar*...

Pour les concepteurs et les opérateurs de lancement, un tel nouveau marché représentait le Graal. La perspective d'avoir à lancer plusieurs milliers de satellites de plus de une tonne en orbite basse, quand le marché total de l'époque représentait une quinzaine de satellites en orbite basse et une trentaine de satellites géostationnaires par an, permettait d'envisager des changements draconiens dans les lanceurs et les opérations associées.

On vit alors fleurir un grand nombre d'initiatives privées, proposant des lanceurs plus originaux les uns que les autres, le plus souvent avancés par

de grosses fortunes de l'Internet, à l'instar de ce qu'on note aujourd'hui.

Au début des années 1990, l'écrimage naturel et les lois de la physique ont fait le tri ! De nombreux projets étaient totalement ou partiellement réutilisables : le *Roton*, par exemple, était équipé d'un immense rotor d'hélicoptère, pour le freiner lors de sa rentrée dans l'atmosphère, et d'un moteur rotatif de grand diamètre innovant ; le *Kistler K1* comportait un premier étage réutilisable, revenant se poser à la verticale sur sa base de lancement en Australie.

D'autres propositions étaient plus classiques : le *Conestoga* américain était composé d'un fagot de sept moteurs identiques ; une économie d'échelle devait réduire les coûts de production. Il explosa malheureusement lors de son premier vol ; le *Litt-LEO*, proposé par les Anglais de *BAE Systems*, était conçu de façon analogue, fagot de propulseurs solides et bon marché ; *Aérospatiale* (actuellement *Astrium*), associée à *Arianespace* et *SEP*, avait également étudié très sérieusement le *PLS*, Petit Lanceur spatial, dérivé d'étages à propulsion solide existants. La liste est longue...

Cet engouement pour l'espace culmina avec le concours Ansari X-

Prize, lancé en 1996. Cette compétition récompensait la première organisation non gouvernementale qui lancerait dans l'espace un véhicule habité et réutilisable. Doté d'une récompense de dix millions de dollars, le prix fut remporté en 2004 par *SpaceShipOne*. Au total, 26 candidats ont participé au concours, dont une soucoupe volante, un lanceur sous ballon, un qui flottait dans l'océan avant son décollage... Cette compétition a permis le développement de cinq ou six concepts actuels identifiés dans l'article.

Puis le soufflé est retombé. Est-ce en raison de la complexité de l'accès à l'espace, sous-évaluée par ces opérateurs privés, ou, plus vraisemblablement, à cause de l'effondrement du marché lié à l'émergence des technologies de communication de proximité, fibre optique, câbles haut débit... ? Quelques constellations ont survécu avec des ambitions commerciales revues à la baisse, et les lancements se font avec les lanceurs éprouvés et qualifiés à cette fin.

Souhaitons aux initiatives actuelles de connaître un destin plus florissant !

Christophe BONNAL
Académie internationale
d'astronautique