

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'écroulement 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 souffle 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

bon marché pour la recherche martienne, à un moment où les agences spatiales du monde entier peinent à financer la poursuite de l'exploration de Mars.

Environ 90 pour cent des 194 pays de la planète ne sont pas partenaires de la Station spatiale internationale et ont donc peu de perspectives d'accès à cette grande station unique en son genre. Pour des nations telles que la Chine, l'Inde et la Corée du Sud, des stations spatiales commerciales privées pourraient être la meilleure voie pour des séjours de longue durée dans l'espace en vue de recherches scientifiques et techniques, sans parler du prestige national.

La première (et la plus connue) de ces initiatives est la station spatiale privée de *Bigelow Aerospace*. Sans trop de publicité, la société a déjà construit deux prototypes de station spatiale qu'elle teste en orbite terrestre basse. En proposant des places pour un maximum de six chercheurs, la première station habitée de *Bigelow* doublera le nombre de chercheurs en orbite. Ce faisant, et en utilisant des taxis spatiaux privés tels que le CST-100 en préparation chez *Boeing* ou le *Dragon* de *SpaceX* (tous deux conçus pour transporter des astronautes sur la Station spatiale internationale), la station de *Bigelow* pourrait bien offrir aux chercheurs, aux agences nationales et aux entreprises privées un accès plus rapide à l'espace pour un coût au moins deux fois inférieur au prix estimé d'un lancement *Soyouz* et d'un séjour sur la Station spatiale internationale.

Des stations spatiales privées

Mais *Bigelow* n'est pas la seule entreprise sur le créneau. Une autre société, *Excalibur Almaz*, projette de construire une station similaire, mais plus petite, qui utilisera des modules de station spatiale de rechange et des véhicules de transport d'équipage datant de l'ère soviétique.

Les capsules spatiales *Dragon* de *SpaceX* pourraient aussi être utilisées comme stations spatiales durables. Actuellement, les véhicules *Dragon* sont sous contrat avec la NASA pour faire la navette avec du fret jusqu'à la Station spatiale internationale. Dans un avenir proche, elles pourraient aussi transporter des astronautes, mais le potentiel des capsules *Dragon* ne s'arrête pas là. *SpaceX* projette à la fois des missions « DragonLab » automatiques et habitées qui peuvent monter en orbite terrestre, s'y



2. LE VAISSEAU *DRAGON* de *SpaceX* ravitaille la Station spatiale internationale pour la première fois en mars 2013.

■ SUR LE WEB

Programme de la NASA de développement commercial pour équipages : www.nasa.gov/offices/c3po/home

Fédération des vols spatiaux commerciaux : www.commercialspaceflight.org

■ BIBLIOGRAPHIE

D. Freedman, *Vers la privatisation des vols spatiaux*, *Pour la Science*, n° 400, février 2011.

M. Belfiore, *Rocketeers : How a Visionary Band of Business Leaders, Engineers, and Pilots Is Boldly Privatizing Space*, Harper Perennial, 2008.

attarder quelques semaines ou quelques mois pour effectuer des recherches avec des charges utiles internes ou externes, et cela pour un coût inférieur à celui que factureront vraisemblablement les stations spatiales commerciales.

Ces innovations représentent les premières options fondamentalement nouvelles que nous avons pour aller dans l'espace depuis les années 1950 et 1960, époque où sont apparus la recherche suborbitale, les missions planétaires et les satellites en orbite terrestre. Mais nous en sommes encore à la première phase de cette révolution commerciale, et de nombreuses questions subsistent. Dans quelle mesure les entreprises émergentes vont-elles modifier la science spatiale et inspirer le grand public ? Parviendront-elles rapidement à convaincre davantage d'entrepreneurs de rejoindre la révolution spatiale commerciale ? La réponse dépend notamment de la capacité à innover dont les chercheurs et les agences spatiales feront preuve, et de la rapidité avec laquelle ils apprendront à s'adapter au monde de l'espace commercial et à l'exploiter.

Si l'aventure commerciale suborbitale et orbitale connaît le succès, elle pourrait ouvrir une nouvelle voie pour explorer les astéroïdes et les planètes du Système solaire. La science en tirerait des bénéfices comparables à ce qu'elle a connu quand des expéditions privées ont accédé aux régions polaires. Mais, contrairement aux pôles, dans l'espace, on peut aller toujours plus loin... ■

- L'amphithéâtre romain était à l'origine une *spectacula*, c'est-à-dire une installation conçue pour donner à voir des combats.
- D'abord en bois, il a dans un premier temps gardé la forme arrondie que lui avaient donnée les charpentiers.
- Puis l'arène elliptique, qui évite tout angle mort, est apparue. Elle s'est généralisée, sauf dans les cas où l'amphithéâtre devait aussi jouer le rôle de théâtre.
- L'amphithéâtre a alors atteint une perfection technique, qui explique que les arènes de Fréjus, d'Arles et de Nîmes soient toujours utilisées.

L'



1. LE COLISÉE À ROME, immense amphithéâtre dont l'arène est elliptique, pouvait accueillir jusqu'à 75 000 spectateurs. Ceux-ci observaient la scène sans angles morts, et sans risques de mouvements de foule dangereux.