



HAL
open science

ISS, Lune, Mars : jusqu'où ira SpaceX ?

Paul Mesnier, Dimitri Chuard, Gregory de Temmerman, Jean-Baptiste Rudelle

► **To cite this version:**

Paul Mesnier, Dimitri Chuard, Gregory de Temmerman, Jean-Baptiste Rudelle. ISS, Lune, Mars : jusqu'où ira SpaceX ?. Usbek & Rica, 2021. hal-03268738

HAL Id: hal-03268738

<https://hal.science/hal-03268738v1>

Submitted on 23 Jun 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ISS, Lune, Mars : jusqu'où ira SpaceX ?

Paul Mesnier^{1,2}, Dimitri Chuard^{1,2}, Greg De Temmerman^{2,1} et Jean-Baptiste Rudelle²

Même sans suivre l'actualité spatiale, vous avez sûrement déjà entendu parler de SpaceX. Fondée par Elon Musk, l'entreprise s'est imposée comme la référence dans le domaine des lanceurs, grâce aux fusées réutilisables Falcon. C'est d'ailleurs à bord d'une telle fusée que Thomas Pesquet s'est envolé vers la station spatiale internationale (ISS) le 23 avril dernier. De plus, SpaceX vient d'être choisi par la NASA pour construire l'atterrisseur du programme qui doit ramener les États-Unis sur la Lune avant la fin de cette décennie. Ce module sera adapté de la future fusée Starship, actuellement développée pour servir les ambitions martiennes de Musk, et dont le dernier vol d'essai a fait les gros titres.

Depuis sa création en 2002, SpaceX s'est imposé sur le marché des vols commerciaux et a permis aux américains de ne plus dépendre de la Russie pour envoyer des astronautes dans l'espace. Le buzz autour de l'entreprise californienne, les déclarations chocs d'Elon Musk et la complexité du sujet peuvent déconcerter. Alors, où en est vraiment SpaceX ? Comment expliquer ses réussites ? Quelle sera leur influence pour le futur du spatial ?

Forte baisse des coûts

C'est en faisant fortement baisser les coûts de lancement que SpaceX s'est imposé, jusqu'à prendre 65 % du marché des lancements commerciaux en 2018. Alors que les coûts de lancement ont longtemps stagné autour de 10 000 dollars pour envoyer un kilogramme de charge utile en orbite basse, la fusée Falcon 9 permet d'atteindre aujourd'hui environ 3000 dollars, soit environ trois fois moins. Le lanceur lourd Falcon Heavy devrait permettre d'atteindre un coût encore inférieur, autour de 2300 \$/kg. À titre de comparaison, la future Ariane 6, dont le premier lancement est prévu pour 2022, vise 4500 \$/kg et partira donc avec un sérieux désavantage.

Plusieurs facteurs expliquent cet écart. SpaceX tire parti d'un design simplifié, avec un lanceur réduit à deux étages et un unique moteur polyvalent utilisé en dix exemplaires sur Falcon 9. La société produit aussi ses fusées en série, sur un même site, afin d'optimiser ses coûts logistiques.

SpaceX table également sur une politique commerciale offensive en affichant des prix très inférieurs à ce qu'elle facture aux agences gouvernementales américaines pour leurs lancements [1]. Ce soutien via la commande publique a contribué à placer l'entreprise californienne en tête du marché des vols commerciaux et a permis aux États-Unis de retrouver un accès indépendant à l'espace pour leurs astronautes, faisant oublier l'échec de la navette spatiale. C'est dans le prolongement de cette stratégie d'externalisation auprès d'acteurs privés que la NASA vient d'attribuer à SpaceX un contrat de 2,9 milliards de dollars pour faire du deuxième étage du Starship le module lunaire du programme Artemis qui doit permettre le retour des astronautes sur la Lune pour la première fois depuis 1972.

Médiatique réutilisabilité

Si la future Ariane 6 rappelle qu'il est possible de diviser les coûts de lancement par deux sans réutilisabilité, les efforts de SpaceX dans ce domaine sont emblématiques. Les images du premier étage se posant après avoir accompli sa tâche ont fait le tour du monde. Actuellement, SpaceX réutilise le premier des deux étages des fusées Falcon, ainsi que leur coiffe. Le futur

¹ MINES Paris, Université PSL, Institut des Hautes Études pour l'Innovation et l'Entrepreneuriat (IHEIE), 75006 Paris, France

² Zenon Research, 75006 Paris, France

Starship, dont le deuxième étage vient d'être récupéré pour la première fois avec succès, doit lui être réutilisé en totalité, ce qui devrait conduire à une nouvelle baisse des coûts.

La réutilisabilité permet de répartir les coûts de construction sur un grand nombre d'utilisations. Il existe cependant un plancher en-dessous duquel les coûts ne peuvent pas descendre, en raison notamment des opérations de nettoyage des moteurs et de reconstruction du second étage, qui représentent environ un tiers du coût initial de la fusée. La réutilisabilité implique aussi une diminution significative de la masse utile pouvant être lancée, d'environ 40 % en orbite basse pour Falcon 9. Selon nos estimations, les coûts de lancement en orbite basse sur Falcon 9 devraient être d'environ 1800 \$/kg après une dizaine de réutilisations, et tendre vers 1500 \$/kg avec l'augmentation du nombre de réutilisations. Cela ne semble pas irréaliste puisque SpaceX vient de faire voler le même étage inférieur pour la dixième fois. La réutilisation d'un étage pour un vol habité comme celui de Thomas Pesquet confirme d'ailleurs la confiance dans cette technologie. En considérant que l'augmentation du nombre de vols de Falcon 9 permettra à SpaceX de diminuer ses coûts de construction, le prix d'un lancement pourrait encore être divisé par deux.

SpaceX développe actuellement Starship, un lanceur super-lourd pouvant emmener une centaine de tonnes de charge utile en orbite basse, complètement réutilisable, et destiné à envoyer des humains sur Mars – le grand rêve de Musk. Par analogie avec Falcon 9, nous estimons qu'il serait possible d'atteindre 1200 \$/kg pour l'orbite basse après dix réutilisations de Starship, sans tenir compte de l'amortissement des coûts de développement du lanceur. Musk promet pourtant d'aller bien au-delà, en atteignant seulement quelques dizaines de dollars par kilogramme [2]. Il compte pour cela sur deux leviers : faire baisser drastiquement les coûts de construction et réutiliser chaque lanceur plusieurs centaines de fois chaque année. À supposer que cela soit possible, il nous semble qu'il sera néanmoins difficile de descendre sous la barre des 500 \$/kg.

Quelles conséquences ?

Mais au final, quelle sera l'influence de cette baisse des coûts d'accès à l'espace ? Que ce soit sur le marché des gros satellites ou pour les missions habitées vers la Lune, le lancement ne représente qu'une faible part du coût total du projet, largement dominé par les coûts de développement et de construction. Il n'est donc pas évident que l'impact sera significatif. En revanche, la polyvalence de Starship pourrait en faire un lanceur utilisable pour des applications très variées.

Historiquement, le développement d'un lanceur dédié a représenté 40 % des coûts du programme Apollo, et le développement du lanceur SLS est estimé à 30 milliards de dollars, soit 30 % du coût total du nouveau programme lunaire Artemis. Disposer d'un lanceur très polyvalent, capable de se poser sur la Lune et sur Mars, mais également de desservir les orbites basse et géostationnaire, représenterait donc un potentiel significatif de réduction des coûts de développement pour un large ensemble de missions et de destinations. Une tribune a même récemment suggéré que la NASA abandonne son lanceur lunaire au profit de Starship [3]. L'actualité récente semble ne pas exclure cette possibilité puisque le SLS, objet d'un audit interne à la suite d'importants retards et dépassements budgétaires, pourrait apparaître comme un doublon inutile et coûteux du Starship au sein du programme Artemis.

Pleinement opérationnel à la fin de cette décennie, tirant bénéfice de sa participation au retour des États-Unis sur la Lune, Starship pourrait ainsi devenir un élément incontournable pour la suite de l'exploration spatiale. Quelle sera la place de l'Europe dans ce nouvel environnement très concurrentiel ? Le futur lanceur Ariane Next, prévu pour succéder à une Ariane 6 déjà dépassée avant même son premier vol, pourra-t-il combler le retard et relancer l'Europe sur

le marché des vols commerciaux ? Au vu des enjeux, nul doute que les prochains tests du Starship continueront d'être scrutés avec attention.

[1] https://www.challenges.fr/entreprise/aeronautique/le-lanceur-spatial-reutilisable-de-spacex-une-equation-economique-incertaine-pour-arianespace_30254

[2] <https://www.numerama.com/sciences/567541-spacex-starship-elon-musk-annonce-un-prix-a-peine-croyable-pour-l'exploitation-la-fusee.html>

[3] <https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2021-02-18/scrap-nasa-s-space-launch-system>