

INSTITUT
MONTAIGNE



Espace : l'Europe contre-attaque ?

Arthur Sauzay

NOTE DÉCEMBRE 2017

L'Institut Montaigne est un laboratoire d'idées - think tank - créé fin 2000 par Claude Bébéar et dirigé par Laurent Bigorgne. Il est dépourvu de toute attache partisane et ses financements, exclusivement privés, sont très diversifiés, aucune contribution n'excédant 2 % de son budget annuel. En toute indépendance, il réunit des chefs d'entreprise, des hauts fonctionnaires, des universitaires et des représentants de la société civile issus des horizons et des expériences les plus variés. Il concentre ses travaux sur quatre axes de recherche :

Cohésion sociale (école primaire, enseignement supérieur, emploi des jeunes et des seniors, modernisation du dialogue social, diversité et égalité des chances, logement)

Modernisation de l'action publique
(réforme des retraites, justice, santé)

Compétitivité (création d'entreprise, énergie, pays émergents, financement des entreprises, propriété intellectuelle, transports)

Finances publiques
(fiscalité, protection sociale)

Grâce à ses experts associés (chercheurs, praticiens) et à ses groupes de travail, l'Institut Montaigne élabore des propositions concrètes de long terme sur les grands enjeux auxquels nos sociétés sont confrontées. Il contribue ainsi aux évolutions de la conscience sociale. Ses recommandations résultent d'une méthode d'analyse et de recherche rigoureuse et critique. Elles sont ensuite promues activement auprès des décideurs publics.

À travers ses publications et ses conférences, l'Institut Montaigne souhaite jouer pleinement son rôle d'acteur du débat démocratique.

L'Institut Montaigne s'assure de la validité scientifique et de la qualité éditoriale des travaux qu'il publie, mais les opinions et les jugements qui y sont formulés sont exclusivement ceux de leurs auteurs. Ils ne sauraient être imputés ni à l'Institut, ni, a fortiori, à ses organes directeurs.

À PROPOS DE L'AUTEUR

Arthur Sauzay, avocat au Barreau de Paris

Arthur Sauzay travaille notamment sur des grands projets, des partenariats public-privé et des questions de régulation complexe. Il est diplômé de Sciences-Po Paris et du Master 2 Droit Public des Affaires de l'université Panthéon-Sorbonne.

INSTITUT
MONTAIGNE



Espace : l'Europe contre-attaque ?

NOTE - DÉCEMBRE 2017

*Il n'est désir plus naturel
que le désir de connaissance*

SOMMAIRE

Introduction	7
I : Un secteur spatial en (r)évolution	9
1 Rappel historique.....	9
2 Un secteur économique important avec des projections de croissance très importantes.....	10
3 Les nouveaux acteurs	13
4 Évolution du marché des lancements commerciaux	19
II : Les lanceurs : l'impact majeur et imminent de la réutilisabilité	23
1 Une technologie désormais maîtrisée par SpaceX	24
2 Des critiques et réserves qui se révèlent peu fondées et en passe d'être levées	32
III : Une stratégie européenne porteuse de risques et insuffisamment ambitieuse	45
1 Contexte : l'Europe a su se tailler une place de choix dans le domaine spatiale	45
2 Les lanceurs : Ariane 6 – continuité technologique, ambitions industrielles et commerciales	47
3 Une gouvernance publique européenne encore largement intergouvernementale et insuffisamment favorable au développement du secteur privé	59
4 Un investissement privé encore insuffisant pour faire émerger de nouveaux acteurs, notamment en comparaison des États-Unis	67

IV : Nos propositions 77

1 Affirmer publiquement l'objectif pour l'Europe d'être l'acteur spatial dominant à l'horizon 203077

2 Accélérer le processus en cours d'optimisation de la filière et la mise en service d'Ariane 678

3 En parallèle d'Ariane 6, maîtriser dès que possible les principales briques technologiques de la réutilisabilité, à commencer par les moteurs79

4 Instaurer un mécanisme de « préférence européenne » pour les lancements institutionnels communautaires et nationaux82

5 Obtenir une augmentation importante du budget spatial de l'Union européenne, en commençant par la négociation du prochain cadre financier pluriannuel de l'Union, et au profit de projets concrets à définir rapidement84

6 Refonder la gouvernance spatiale européenne90

7 Susciter l'émergence de nouveaux acteurs privés en Europe en recourant à des partenariats public-privé innovants92

8 Améliorer la communication autour du secteur spatial, tant par les dirigeants politiques que par les industriels96

Conclusion 98

INTRODUCTION

Alors que l'Union européenne (UE) retrouve des couleurs en cette fin d'année 2017, l'Europe spatiale, elle, connaît une situation paradoxale.

Récemment, elle a connu de grands succès. Citons entre autres : la mission très médiatisée de Thomas Pesquet à bord de la station spatiale internationale (ISS) ; la réussite de la sonde Rosetta/Philae en 2016 ; la mise en service du GPS européen Galileo ; une position de leader encore confirmée en 2016 pour les lancements dits « commerciaux » et la construction de satellites ; et enfin le développement confirmé de la nouvelle fusée Ariane 6, doublée d'une importante réorganisation de la filière.

Pourtant, la position européenne apparaît menacée par l'arrivée de nouveaux acteurs privés – en particulier américains – et par l'accélération des programmes spatiaux autonomes de puissances émergentes comme la Chine et l'Inde.

De nombreux observateurs voient le XXI^e siècle comme le premier véritable siècle spatial, avec le début d'une nouvelle « course à l'espace », par référence à celle qui a opposé soviétiques et américains durant la guerre froide. L'espace pourrait être le terrain d'une nouvelle révolution industrielle mais aussi de nouvelles rivalités géopolitiques et économiques, y compris pour l'occupation des corps célestes (lune, Mars, astéroïdes, etc.) et l'exploitation des ressources spatiales (énergie solaire, eau, minerais, etc.)¹. La notion même de souveraineté spatiale se transforme : d'une souveraineté dans l'accès à l'espace², elle évolue rapidement vers une souveraineté *dans l'espace*³ lui-même, où rivaliseront États et acteurs privés.

Pour l'heure, le premier maillon de ce vaste sujet reste l'accès à l'espace, c'est-à-dire les lanceurs, ou fusées. S'ils ne représentent qu'une minorité de l'activité du secteur spatial européen (hors services) en termes de chiffres d'affaires, les lanceurs constituent le socle d'une industrie spatiale diversifiée et le principal vecteur de la présence européenne dans l'espace. La présente note accorde donc une place particulière à ce sujet et interroge la capacité de l'Europe à s'assurer la maîtrise technologique et

¹ Ce qui soulève d'ailleurs des difficultés concernant le respect du cadre juridique actuel : le droit international public en vigueur (par exemple le traité de l'espace de 1967) semble aujourd'hui remis en cause, voire dépassé. Ce point est abordé dans la note.

² Comprise comme la capacité à placer depuis la terre des objets et des humains dans l'espace, notamment en orbite terrestre aux fins d'observer la terre ou de faciliter les communications sur terre.

³ Avec un accent mis sur l'interaction des objets et des humains dans l'espace lui-même, que ce soit en orbite ou sur d'autres objets célestes.

industrielle nécessaire à un accès sûr, indépendant, rapide et compétitif à l'espace. Les enjeux associés, et notamment les questions de défense et de nouveaux marchés de services et de biens, sont également analysés.

La stratégie européenne est actuellement marquée, d'une part, par un investissement global (public et privé) dans le secteur spatial plus faible que ses principaux concurrents et, d'autre part, par une insuffisante coordination des efforts au niveau européen. Des efforts importants sont engagés depuis 2012 pour réorganiser la filière spatiale face à l'intensification brutale de la concurrence, et des initiatives ont été lancées au niveau de l'Union européenne. Ces initiatives apparaissent pourtant insuffisantes pour être en position de réagir à l'intensification brutale de la concurrence. Le risque est donc grand pour l'Europe de réagir trop tard, c'est-à-dire de passer à côté de nouveaux marchés et de laisser d'autres puissances s'affirmer dans l'espace au détriment de ses intérêts stratégiques. L'enjeu est d'autant plus fort pour la France qu'elle assume une part importante des responsabilités financières du secteur⁴, et conduit depuis plus de cinquante ans une politique de souveraineté en matière d'accès à l'espace. Elle a donc beaucoup à perdre, mais aussi beaucoup à gagner.

8

Pour les pays du continent, l'avenir spatial sera européen ou ne sera pas. Il est donc apparu nécessaire d'ouvrir le débat – au-delà des cercles de spécialistes – sur la place de l'Europe dans l'espace au XXI^e siècle, en prévision des choix à opérer dans le cadre des réflexions en cours sur le devenir de l'UE.

Après avoir brièvement rappelé les grandes évolutions à l'œuvre dans le secteur spatial et notamment la stratégie des nouveaux acteurs **(I)**, le fonctionnement et l'équation économique de la réutilisabilité des lanceurs sont plus précisément détaillés **(II)**. On analyse ensuite la gouvernance actuelle de l'Europe spatiale, la stratégie actuelle dans le domaine des lanceurs et la position européenne sur les nouveaux marchés associés au spatial **(III)**. Plusieurs axes d'évolutions et propositions sont enfin exposés **(IV)**.

⁴ S'agissant d'Ariane 5, un référé n° 65606 publié par la Cour des comptes le 4 avril 2013 indiquait que « c'est toujours la France qui supporte, à près de 80 %, l'ensemble des coûts relatifs au [centre spatial guyanais], et à près de 60 % le soutien à l'exploitation du lanceur Ariane 5 (...) » : https://www.ccomptes.fr/sites/default/files/EzPublish/transport_spatial_France_refere_65606.pdf.

UN SECTEUR SPATIAL EN (R)ÉVOLUTION

1. Rappel historique

L'utilisation de l'espace par l'Homme est un phénomène récent. Seules soixante années nous séparent de l'envoi en 1957 du premier objet artificiel dans l'espace, la sonde soviétique Spoutnik. Douze ans plus tard, Neil Armstrong posait le pied sur la lune au terme d'une « course à l'espace » dans laquelle États-Unis et URSS ont investi de très importantes ressources. Les premiers ont ainsi consacré jusqu'à 4,5 % du budget fédéral à la NASA au milieu des années 1960 (contre moins d'1 % depuis trente ans)⁵.

Depuis la fin des missions habitées lunaires en 1972, l'exploration humaine s'est limitée à l'orbite terrestre. En revanche, l'utilisation civile et militaire de l'espace a connu une intensification continue. Ceci est rendu possible par l'utilisation de satellites, des machines dotées d'équipement et tournant autour de la terre à des vitesses de plusieurs kilomètres par seconde. Elles sont placées en orbite par des fusées (ou lanceurs), machines complexes de plusieurs centaines ou milliers de tonnes capables d'accélérer depuis le sol vers des altitudes de plusieurs centaines à plusieurs milliers de kilomètres d'altitude et aux vitesses requises.

On compte aujourd'hui près de 1 500 satellites actifs⁶, distribués à différentes altitudes et trajectoires⁷. Leurs usages sont multiples et se diversifient. Ils constituent désormais un maillon indispensable de la civilisation humaine contemporaine : télécommunications (civiles et militaires), observation de la terre (pour la météorologie, la défense, la gestion des ressources naturelles, la prévention et la réaction aux catastrophes naturelles, etc.), et bien entendu, positionnement par satellite (GPS), service utilisé quotidiennement pour les transports terrestres, maritimes et aériens.

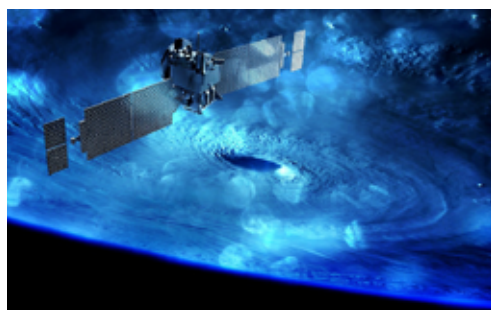
⁵ Voir les chiffres de l' « Office Management and Budget » : <https://www.whitehouse.gov/omb/budget/Historicals/>

⁶ Sans compter les centaines de satellites et objets non utilisés, qualifiables de débris spatiaux et qui commencent à constituer un sérieux problème de sécurité.

⁷ Voir la compilation réalisée par des ingénieurs :

<http://www.ucsusa.org/nuclear-weapons/space-weapons/satellite-database#.Wgli51vWyUm>.

Un lanceur russe Soyouz et un satellite en orbite basse



Source Pixabay – libre de droits – Licence CCO

2. Un secteur économique important avec des projections de croissance très importantes

Au niveau mondial et selon les chiffres publiés par le cabinet de consultants américain Bryce en juin 2017⁸, l'activité directement et indirectement liée au **secteur spatial mondial** s'élève (en chiffre d'affaires) à **260,5 milliards de dollars, soit un doublement entre 2007 et 2016⁹**. Elle se subdivise entre :

- Les équipements au sol (principalement les équipements liés au GPS, par exemple dans les téléphones mobiles, les avions, etc.) : 113 milliards.
- Les services associés aux satellites (par exemple, les services de télécommunications et d'observation terrestre) : 128 milliards.
- La fabrication/vente de satellites : 14 milliards (dont 5 milliards en Europe).
- Les activités de lancement, y compris la fabrication des lanceurs : 5,5 milliards.

Au sein du secteur spatial au sens large, les activités de fabrication/vente de satellites et les activités de lancement sont le **cœur industriel**. **En Europe**, le chiffre d'affaires s'élève à **7 à 8 milliards d'euros annuels**. Pour l'année 2015 et selon l'association professionnelle Eurospace, l'industrie spatiale représentait près de 39 000 emplois directs à plein temps – dont plus du tiers se trouve en France¹⁰.

⁸ Bryce space and technology, juin 2017, « State of the satellite industry report » <http://www.sia.org/wp-content/uploads/2017/07/SIA-SSIR-2017.pdf>.

⁹ Et contre seulement 50 milliards de dollars en 1990 (Henry R. Hertzfeld, « The Space Economy », Space Policy Institute, George Washington University, mars 2009).

¹⁰ Résumé de l'édition annuelle « Space trends 2016 » publiée en juin 2016 : <http://www.eurospace.org/Data/Sites/1/pdf/eurospacefactsandfigures2016pressrelease.pdf>.

Pour l'avenir, l'optimisme actuel et les transformations en cours se traduisent par des **projections de croissance très importantes**, émanant principalement du développement des activités commerciales (et non plus principalement, comme aujourd'hui, des activités gouvernementales).

Bien qu'il faille prendre de telles analyses avec prudence, deux études parues en octobre 2017 sont représentatives des anticipations du secteur¹¹. Elles insistent toutes deux sur le facteur dominant que constitue la baisse rapide des coûts d'accès à l'espace, dont l'impact à venir de la réutilisabilité :

- La banque Morgan Stanley estime que le secteur spatial devrait atteindre un chiffre d'affaires de 1 100 milliards annuel d'ici à 2040. En particulier, la fourniture d'un accès à internet aux zones aujourd'hui peu ou pas desservies pourrait générer 400 milliards de dollars (voir ci-dessous l'encadré sur les constellations internet)¹².
- La banque Bank of America - Merrill Lynch anticipe, elle, un chiffre d'affaires global de 2 700 milliards de dollars dans trente ans, soit quasiment une multiplication par dix par rapport à aujourd'hui¹³.

L'intérêt pour le secteur se propage au-delà des cercles traditionnels. Par exemple, la prestigieuse revue The Economist a organisé le 9 novembre à Seattle une conférence : « A new space age – The business case to dream » (« Un nouvel âge spatial – le plan d'affaires pour rêver »)¹⁴.

Exemple de nouveaux marchés avec les projets de constellations internet :

Les États-Unis devant mais l'Europe impliquée grâce à l'investissement d'Airbus dans Oneweb

Le développement de projets de fourniture d'accès à internet depuis l'orbite terrestre répond à la conjonction de besoins de connectivité toujours plus grands et d'avancées technologiques et industrielles permettant d'abaisser les coûts de

¹¹ Réalisées par des banques d'affaires, les études ne sont pas publiques.

¹² Michael Sheetz, 2017, « Morgan Stanley predicts space industry will triple in size : Here's how to invest » CNBC <https://www.cnbc.com/2017/10/12/morgan-stanley-how-to-invest-in-1-trillion-space-industry.html>.

¹³ Michael Sheetz, 2017, « The space industry will be worth nearly \$3 trillion in 30 years, Bank of America predicts » CNBC <https://www.cnbc.com/2017/10/31/the-space-industry-will-be-worth-nearly-3-trillion-in-30-years-bank-of-america-predicts.html>.

¹⁴ Page de l'évènement : <https://events.economist.com/events-conferences/americas/the-new-space-age/#overview>.

fabrication et d'exploitation. Ces projets reposent, pour leur partie spatiale, sur la mise en orbite de centaines (voire de milliers) de satellites légers à bas coûts. Deux projets de grande envergure sont actuellement en phase de développement actif : Oneweb et SpaceX. Ils visent en particulier les zones rurales ou urbaines d'une densité limitée, et notamment dans les pays émergents où les infrastructures internet restent peu développées.

Le projet *Oneweb* a été lancé par d'anciens employés de Google partis développer leur propre projet de constellation, dont l'américain Greg Wyler¹⁵. La constellation se compose d'environ 900 satellites d'environ 150 kilos naviguant entre 600 et 1 000 kilomètres d'altitude¹⁶, ayant une durée de vie courte (cinq ans) et pouvant faire l'objet de remplacements. L'investissement global nécessaire à la réalisation de ce projet est estimé à plus de 2,5 milliards de dollars. Airbus Defence & Space a été retenu comme fournisseur des satellites et a investi 150 millions d'euros. Le premier lancement de 10 satellites de tests est prévu pour 2018 et sera assuré par Arianespace, dans le cadre d'un contrat d'environ 1,5 milliards d'euros conclu en juin 2016¹⁷. Les actionnaires et investisseurs sont nombreux et incluent, outre Airbus, la banque japonaise SoftBank (un investissement d'un milliard de dollars), Virgin, l'entreprise américaine de télécommunications Qualcomm.

SpaceX développe une constellation similaire en interne (y compris pour la fabrication de satellites) et prévoit de déployer sa propre constellation de satellites internet. La constellation, qui pourrait s'appeler Starlink¹⁸, accuse actuellement un retard par rapport à Oneweb. SpaceX doit encore obtenir plusieurs autorisations nécessaires auprès de la commission fédérale américaine des communications (FCC). Selon ses déclarations publiques, SpaceX envisage de déployer ses premiers satellites en 2018 pour un début de service en 2020-2021 avec environ 800 satellites en orbite.

¹⁵ Lequel avait déjà fondé l'opérateur de télécommunication O3b (« The Other 3 billion », « Les autres trois milliards » par référence aux nombres d'humains n'ayant pas d'accès internet), qui prévoit de lancer une trentaine de satellites construits par Thales Alenia Space.

¹⁶ Une altitude moyenne permet de conserver un délai de transmission court et donc un accès rapide, comparable sinon supérieur à la fibre optique.

¹⁷ Peter B. de Selding, 26 juin 2015, « Launch options were key to Arianespace's OneWeb win » Spacenews <http://spacenews.com/launch-options-were-key-to-arianespaces-oneweb-win/>.

¹⁸ Jon Brodtkin, 20 septembre 2017, « SpaceX's worldwide satellite broadband network may have a name: Starlink » arstechnica <https://arstechnica.com/information-technology/2017/09/spacex-seeks-starlink-trademark-for-its-satellite-broadband-network/>.

Il est difficile de savoir à ce stade s'il existera bien un marché et, surtout, une rentabilité pour ces services. Ces projets soulèvent en outre des questions sérieuses en termes de risques spatiaux (augmentation du risque de collision et de débris en orbite)¹⁹ et de partage des fréquences. Au-delà des lanceurs, les constellations internet pourraient avoir un effet important, en cas de succès, sur le marché des services internet traditionnels. Pour l'Europe, l'investissement d'Airbus dans le projet Oneweb et le contrat obtenu par Arianespace sont très positifs et permettent à l'Europe spatiale d'être impliquée dans ces projets, tout en développant sa capacité à produire des satellites de manière industrielle et à bas coûts. Ils ne garantissent cependant pas que l'Europe bénéficie des retombées du projet en termes de services.

3. Les nouveaux acteurs

L'arrivée de nouveaux acteurs privés, créés ou financés par un investissement au moins en partie privé, constitue le cœur du mouvement qualifié de « *new space* ». La définition du *new space* varie selon les auteurs mais elle agrège place grandissante du secteur privé par rapport au secteur public traditionnel, baisse des coûts, accès facilité à l'espace, création de nouveaux produits et services, irruption de l'entreprenariat et de la logique de *start-up*.

Ce mouvement ne doit pas faire oublier la hausse importante de l'investissement spatial (public) de pays émergents tels que la Chine – même si dans ces pays, de nouveaux acteurs privés sont également en train de naître.

a. Les nouveaux acteurs privés américains dans le domaine des lancements : « *America is back* »²⁰

D'abord discrète et considérée par les acteurs traditionnels comme une « lubie » de riches milliardaires, l'arrivée d'acteurs privés américains est désormais un élément incontournable de l'évolution du secteur spatial. S'ils sont loin d'être les seuls, SpaceX (Elon Musk) et Blue Origin (Jeff Bezos) sont les deux nouveaux « éléphants dans la pièce » spatiale : ils ont en commun (i) le choix d'une technologie de

¹⁹ Voir cet article par exemple : Jeff Foust, 10 octobre 2016, « Mega-constellations and lega-debris » The Space Review <http://www.thespacereview.com/article/3078/1>.

²⁰ Inspiré du slogan du président américain Ronald Reagan durant la campagne présidentielle de 1980.

rupture, la réutilisabilité, (ii) d'importants moyens financiers, (iii) un fort soutien gouvernemental, et enfin (iv) des ambitions fortes en matière de présence humaine dans l'espace.

SpaceX, fondée en 2002, est aujourd'hui la plus avancée des deux. Elle s'est construite au travers du programme COTS/CCDev de la NASA²¹, qui vise à assurer aux États-Unis une capacité de ravitaillement et de transport vers et depuis la station spatiale internationale, afin de remplacer la navette spatiale.

Google et le fonds d'investissement Fidelity ont investi 1 milliard de dollars en 2015 pour acquérir 10 % du capital. Une levée de fonds supplémentaire réalisée en juillet 2017 (351 millions de dollars) évalue l'entreprise à 21 milliards de dollars – soit l'une des entreprises privées (non mises en bourse) les plus valorisées au monde²². À cette date, Elon Musk détenait 54 % du capital et 79 % des droits de vote de l'entreprise²³. Elon Musk est également actif dans d'autres domaines. Il est notamment le dirigeant du groupe Tesla, constructeur automobile et opérateur dans les énergies renouvelable (après l'absorption de SolarCity), dont il détient environ 20 % du capital²⁴. Sa fortune est évaluée à environ 20 milliards de dollars, essentiellement sous la forme de participation dans les entreprises pour lesquelles il travaille²⁵.

En 2017 et malgré des déboires les deux années précédentes²⁶, SpaceX ambitionne de procéder à une vingtaine de lancements et affiche un solide carnet de commandes pour le lancement de satellites, partagé entre les autorités américaines (NASA, armée américaine, etc.) et des acteurs privés. La société dispose d'un lanceur opérationnel (Falcon 9) et d'une capsule (Dragon) permettant de ravitailler la station spatiale internationale (ISS). Elle devrait normalement disposer à court-terme du lanceur le plus puissant au monde (la Falcon Heavy) et d'une capsule de vol habité permettant d'envoyer jusqu'à sept humains en orbite (Dragon 2). Plus récemment encore,

²¹ Lancé en 2005, le programme COTS a visé à développer de nouvelles capacités de vols habités et de ravitaillement pour la station spatiale internationale (ISS), dans la perspective du retrait de la navette spatiale. Voir la section III pour plus de détails.

²² Katie Benner et Kenneth Chang, 27 juillet 2017, « SpaceX is now one of the world's most valuable privately held companies » *The New York Times*
<https://www.nytimes.com/2017/07/27/technology/spacex-is-now-one-of-the-worlds-most-valuable-privately-held-companies.html>.

²³ Informations données dans une annexe (« *Ownership, directors and officers* ») à la demande de fréquences déposée par SpaceX pour son projet de constellation internet auprès de la Federal Communications Commission (FCC) américaine.

²⁴ Marco Papa, 31 mai 2016, « Who are the top 4 Tesla (TSLA) shareholders? », *Teslarati*
<https://www.teslarati.com/tsla-top-shareholders/>.

²⁵ Forbes, « *Profile: Elon Musk* » : <https://www.forbes.com/profile/elon-musk/>.

²⁶ Perte d'un lanceur en vol en 2015 et perte d'un lanceur au sol en 2016. Dans les deux cas, la charge utile a été détruite.

SpaceX a annoncé vouloir remplacer au cours de la décennie 2020 l'ensemble de ses « produits » actuels par un unique lanceur, dénommé « BFR », qui serait le plus puissant jamais développé²⁷.

Bien que régulièrement critiquée par ses concurrents, la société SpaceX a su réinventer largement les procédés industriels de conception et de production, afin de proposer des coûts compétitifs²⁸.

Enfin, le fondateur de SpaceX, Elon Musk, a annoncé en septembre 2016 que son ambition ultime est d'installer une présence humaine permanente sur Mars.

Un peu moins connu, Jeff Bezos (fondateur d'Amazon) a opté pour une stratégie et des buts similaires avec la société **Blue Origin**, fondée au début des années 2000. Il a notamment déclaré en mars 2017²⁹ que *« Notre but – et nous ne nous arrêterons pas tant que nous ne l'aurons pas atteint – est de baisser radicalement les coûts de lancement (...) Cela ne va pas être simple, cela va prendre du temps. Mais que nous atteindrons effectivement ce but, cela fera croître l'ensemble de l'industrie. Nous atteindrons un nouvel équilibre dans cette industrie »*. La spécificité du projet de Jeff Bezos est qu'il peut compter sur l'assise financière du groupe de distribution Amazon, dont il tire chaque année un milliard de dollars de financement en vendant des actions³⁰. À la date de la présente note, Jeff Bezos venait de vendre pour 1,1 milliards de dollars d'actions dans Amazon, dont il détient toujours 16 % – sa fortune totale étant estimée à environ 90 milliards de dollars³¹.

Après avoir développé un petit lanceur destiné notamment au tourisme spatial, la société développe actuellement le lanceur New Glenn, qui sera réutilisable. Prévu pour le début des années 2020, celui-ci aura une capacité proche du Falcon Heavy de SpaceX. Une nouvelle usine est actuellement en construction à cette fin en Floride. L'entreprise dispose déjà de trois contrats de lancement.

²⁷ Le lanceur « BFR » a été présenté en septembre 2016 puis à nouveau en 2017 (dans une version modifiée) lors de la réunion annuelle de la fédération internationale d'astronautique.

²⁸ On peut ainsi citer M. Michel de Rosen, ancien président-directeur général d'Eutelsat Communications : *« On dit que SpaceX "casse les prix". Ne nous y trompons pas. Cette politique vient d'abord d'un homme, visionnaire redoutable, M. Elon Musk, de sa gestion drastique des coûts et de sa stratégie résolument volontariste de fabrique de lanceurs. »*. Catherine Procaccia et Bruno Sido, 2015, « La politique spatiale européenne », Rapport n° 192 : <https://www.senat.fr/rap/r15-192/r15-192.html>

²⁹ Intervention à la conférence Satellite 2017.

³⁰ Jeff Foust, 10 avril 2017, « Blue Origin's status update », The Space Review <http://www.thespacereview.com/article/3214/1>

³¹ Jackie Wattles, 4 novembre 2017, « Jeff Bezos just sold \$1.1 billion worth of Amazon stock », CNN <http://money.cnn.com/2017/11/04/investing/jeff-bezos-stock-sale/index.html>.

D'autres acteurs américains sont également en train de développer de nouveaux lanceurs, sur des créneaux distincts (peu ou pas réutilisables) mais visant des coûts de lancement bas. On peut ainsi citer :

- **Stratolaunch Systems**, fondée et financée par Paul Allen, cofondateur de Microsoft. La société développe le projet de lanceur Stratolaunch. Le système utilise le lancement d'une fusée depuis un avion³².
- **Rocket Lab**, qui développe un lanceur léger Electron capable de lancer des charges de 150 kg en orbite héliosynchrone³³ (utile pour l'observation terrestre).
- **Virgin Orbit**, filiale de la société Virgin Galactic³⁴ du milliardaire britannique Richard Branson, dont les activités sont basées aux États-Unis. Elle développe le lanceur léger LauncherOne, qui utilise le lancement d'une fusée depuis un avion. La société a récemment conclu un accord avec le fonds stratégique saoudien, incluant un investissement d'un milliard de dollars³⁵. Elle dispose également d'un contrat pour le lancement d'une partie de la constellation Oneweb³⁶ et du projet porté par SpaceBelt de fournir des services de cloud (stockage de données) depuis l'espace³⁷.

On peut enfin noter qu'en Europe plusieurs projets de lanceurs ultralégers ont été lancés par de nouveaux opérateurs (par exemple : PLD Space, Zero2Infinity, Celestia Aerospace, SMILE) visant à mettre en service des satellites de petite taille. Aucun n'a à ce jour réalisé de tir.

Ces nouveaux acteurs ne connaîtront pas tous le succès. Leur prolifération est cependant le signe indéniable d'un nouvel intérêt pour le domaine spatial et d'une transformation profonde dans l'accès à l'espace.

³² Pour une capacité non encore définie d'environ 5 à 6 tonnes en orbite basse.

³³ Une orbite héliosynchrone est une orbite terrestre choisie pour que le satellite passe au-dessus d'un même point de la surface de la terre à la même heure locale. Elle est utile pour les satellites prenant des clichés photographiques car l'éclairement du lieu observé change peu d'une photo à l'autre : satellites météorologiques, satellite de reconnaissance, etc.

³⁴ Virgin Galactic développe par ailleurs un vaisseau de tourisme spatial depuis plus de dix ans, sans succès jusqu'à présent.

³⁵ Jeff Foust, 26 octobre 2017, « Virgin signs agreement with Saudi Arabia for billion-dollar investment » spacenews http://spacenews.com/virgin-signs-agreement-with-saudi-arabia-for-billion-dollar-investment/?utm_content=buffer088f9&utm_medium=social&utm_source=twitter.com&utm_campaign=buffer.

³⁶ Virgin Galactic, 25 juin 2015, « Virgin Galactic signs contract with OneWeb to perform 39 satellite launches » <http://www.virgingalactic.com/press/virgin-galactic-signs-contract-with-oneweb-to-perform-39-satellite-launches/>.

³⁷ Michael Sheetz, 14 septembre 2017, « Virgin Orbit announces contract to launch a dozen Cloud Constellation satellites » CNBC <https://www.cnbc.com/2017/09/14/virgin-orbit-announces-contract-to-launch-a-dozen-cloud-constellation-satellites.html>.

b. Les *start-ups* et les nouvelles sources d'investissement

L'objet principal des lanceurs est de placer en orbite des satellites (dénommés « charges utiles ») qui ont des utilisations commerciales diverses³⁸. Être en orbite permet de voir (observations) et de communiquer des données à distance (télécommunications), sur de vastes superficies du globe. S'agissant des télécommunications, des infrastructures ou équipements au sol sont le plus souvent nécessaires, tels que les puces GPS dans les téléphones, antennes ou paraboles, équipements à bord des avions, etc.

En parallèle des évolutions dans le secteur des lanceurs, qui promettent des baisses importantes de coûts et une disponibilité plus grande, de nouvelles activités commerciales sont en cours de développement, portées par les acteurs installés (Boeing, Airbus, etc.) mais également par de nouvelles entreprises, dont un nombre important de *start-ups*.

Certaines sont le fait de riches investisseurs, tels que la société américaine Bigelow Aerospace. Créée en 1999 par l'entrepreneur américain Robert Bigelow (propriétaire d'une chaîne d'hôtels), la société développe notamment des habitats gonflables en orbite, destinés à équiper des stations gouvernementales et, à terme, des hôtels spatiaux. Après plusieurs tests en orbite, un prototype d'habitat gonflable est en cours de test sur l'ISS depuis 2016³⁹.

Les *start-ups* sont également nombreuses dans ce secteur. Cette question est traitée plus en détails ci-après dans la section relative aux enjeux de financement du secteur spatial européen (voir ci-après, III.4).

c. L'accélération des programmes étatiques des pays émergents, en particulier la Chine

L'espace faisant partie des marqueurs de souveraineté, chaque grande puissance développe son secteur industriel et ses capacités technologiques. Au-delà des acteurs installés (États-Unis, Europe, Russie⁴⁰ mais aussi Japon), les dernières années ont été marquées par la montée en puissance des pays émergents.

³⁸ Plus rarement, les lanceurs envoient des « sondes » au-delà de l'orbite terrestre, essentiellement à des fins scientifiques.

³⁹ <https://www.nasa.gov/content/bigelow-expandable-activity-module>.

⁴⁰ La Russie dispose avec Soyouz (lanceur et capsule) d'une capacité de lancement de vols habités, et avec Proton d'un lanceur commercial aujourd'hui compétitif mais qui a connu récemment des problèmes de fiabilité.

Du côté **chinois**, l'objectif est de dépasser l'Union européenne puis la Russie et les États-Unis, pour devenir la principale puissance spatiale avant le milieu du siècle⁴¹.

Les projets actuels sont déjà significatifs : on peut ainsi citer le projet de développer une station partielle indépendante (Tian Gong), conjointement au développement du lanceur lourd (non réutilisable) Longue Marche 5, ainsi que la mise en service progressive du système de positionnement global par satellite (GPS) BeiDou, ou encore des robots d'exploration lunaire et martienne.

En plus de disposer d'un accès autonome à l'espace (y compris pour les vols habités), la Chine travaille sur un projet de lanceur et de moteur réutilisables⁴² : des informations parues en juillet 2017 font apparaître des progrès et des ambitions accrues dans ce domaine⁴³. Depuis, les annonces s'accroissent nettement. En novembre 2017, l'agence de presse officielle chinoise Xinhua a fait état d'un projet d'avion spatial réutilisable annoncé pour 2020⁴⁴. En parallèle, l'un des principaux organismes publics de recherche spatiale semble avoir confirmé le développement rapide (pour 2020) d'un lanceur expérimental réutilisable inspiré du modèle développé par SpaceX et Blue Origin⁴⁵. Un rapport publié par un des plus importants opérateurs chinois du secteur, publié le même mois, fait état d'autres projets très ambitieux pour les années 2020.

On peut enfin noter les ambitions d'un nouvel entrant, une nouvelle entreprise privée dénommée Link Space qui développe un concept de fusée réutilisable similaire à celui de SpaceX sur le créneau des satellites légers⁴⁶.

⁴¹ Selon les déclarations faites en octobre 2017 par le président de « China Aerospace Science and Technology Corporation » (CASC), le principal constructeur de lanceurs chinois.

⁴² Peu d'informations sont disponibles : pour les moteurs, voir Bradley Perrett, 7 novembre 2016, « CASC aims for reusability with methane-fuel rocket engine » Aerospace daily : <http://aviationweek.com/zhuhai-2016/casc-aims-reusability-methane-fuel-rocket-engine> ; pour le concept, voir Stephen Chen, 12 juin 2017, « A new SpaceX ? China developing system to recover, reuse space rockets » South China Morning Post : <http://www.scmp.com/news/china/policies-politics/article/2079822/new-spacex-china-developing-system-recover-reuse-space>

⁴³ Henri Kenhmann, 9 juin 2017, « CALT révèle ses projets de lanceur réutilisable » East Pendulum <http://www.eastpendulum.com/calt-revele-ses-projets-de-lanceur-reutilisable>

⁴⁴ Xiang Bo, 31 octobre 2017, « China's reusable spacecraft to be launched in 2020 » Xinhua http://news.xinhuanet.com/english/2017-10/31/c_136718107.htm.

⁴⁵ Information relayée par Andrew Jones, un journaliste spécialisé couvrant le secteur spatial chinois pour le journal GBTimes : https://twitter.com/AJ_Fl/status/931510404127211521. L'agence est la « Shanghai Academy of Spaceflight Technology » (SAST), une division de l'agence spatiale chinoise.

⁴⁶ 17 septembre 2017, « In the footsteps of SpaceX: Chinese company eyes development of a reusable launch vehicle » Astro watch <http://www.astrowatch.net/2017/09/in-footsteps-of-spacex-chinese-company.html>

L'**Inde** développe elle aussi de nouveaux lanceurs (dont le lanceur lourd GSLV⁴⁷) pour disposer de capacités autonomes de lancement de satellites⁴⁸. Elle développe également des projets de sondes lunaires et martiennes.

La **Russie**, enfin, occupe une place à part : nation pionnière dans la conquête spatiale avec entre autres l'envoi du premier satellite en 1957 (Spoutnik), et du premier homme en 1961 (Youri Gagarine), elle continue à disposer aujourd'hui d'une place importante dans le domaine spatial. Participant à la station spatiale internationale, elle dispose en outre de son propre système de positionnement par satellite (GLONASS) et de la capacité à envoyer des humains en orbite (lanceur et capsule Soyouz). Elle continue d'effectuer près de 20 % des lancements, à des fins militaires mais aussi civiles avec une place significative dans les lancements commerciaux. Elle a cependant connu des difficultés ces dernières années (voir ci-après).

4. Évolution du marché des lancements commerciaux

Les revenus des opérateurs de lancement (Arianespace en Europe, SpaceX aux États-Unis, etc.) sont tirés de contrats portant sur la mise en orbite d'objets (qualifiés de « charge utile »), qui incluent le prix du lanceur mais aussi de l'ensemble des services associés.

Plus de quatre-vingt-cinq fusées ont été lancées en orbite en 2016, la Chine, les États-Unis et la Russie assurant environ les trois-quarts de ces lancements⁴⁹ – l'Europe comptant un peu plus de 10 % de lancements⁵⁰.

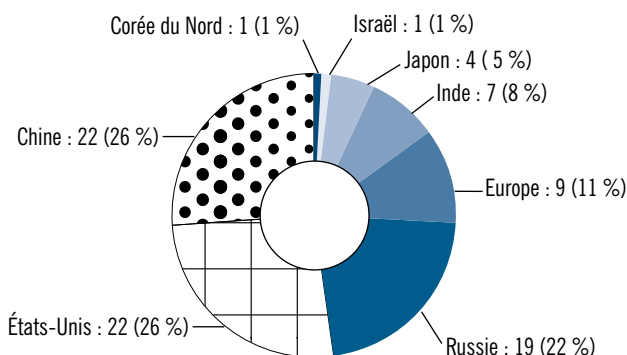
⁴⁷ Stuart Clarck, 8 juin 2017, « India launches powerful new rocket » The Guardian <https://www.theguardian.com/science/2017/jun/08/india-launches-powerful-new-rocket-spacewatch>

⁴⁸ Privant d'ailleurs éventuellement Ariane d'un client potentiel pour Ariane 6.

⁴⁹ Spaceflight, 31 décembre 2016, « 2016 space launch statistics » <http://spaceflight101.com/2016-space-launch-statistics/>

⁵⁰ En excluant le lanceur russe Soyouz, commercialisé par l'opérateur européen Arianespace et lancé depuis le centre spatial guyanais.

Lancements orbitaux⁵¹ par pays pour l'année 2016



Source : *spaceflight101.com*

Cependant, le marché des lancements dits « commerciaux » ne représente qu'une minorité des lancements. En dépit d'une présence de plus en plus importante du secteur privé (nouveaux acteurs, nouveaux financements, nouvelles applications civiles), le secteur public reste encore à ce jour la principale source de revenus et de financement du secteur. Pour s'en tenir aux lancements effectués en 2016, on constate que la part des lancements commerciaux (non financés par de la dépense publique) ne compte que pour un quart des lancements effectués :

Lancements orbitaux selon la catégorie de lancement⁵²

Pays/région	Gouvernementaux (civil et militaire)	Commerciaux	Total
USA	11 (4/7)	11	22
Chine	22 (18/4)	0	22
Russie	15 (12/3)	2	17
Europe	3 (3/0)	8	11
Inde	7 (7/0)	0	7
Japon	4 (4/0)	0	4

⁵¹ Un lancement orbital consiste à placer un objet en orbite (ou au-delà). Cela n'inclut pas les lancements dits suborbitaux.

⁵² Federal Aviation Administration, 2017, « Annual Compendium of Commercial Space Transportation: 2017 » https://brycetech.com/downloads/FAA_Annual_Compendium_2017.pdf

La définition du segment des lancements commerciaux est mouvante : on considère qu'elle correspond aux contrats de lancement passés par des opérateurs privés et faisant l'objet d'une mise en concurrence internationale (appel d'offres) entre les divers opérateurs de lancement. Ces contrats visent, en majorité, à mettre en orbite des satellites lourds (essentiellement de télécommunications), le plus souvent sur une orbite géostationnaire (qui permet au satellite d'être situé en permanence au-dessus de la même zone géographique).

Avec la famille de lanceurs Ariane, développée depuis les années 1970 et constamment adaptée au marché, l'Europe a réussi à assurer un *leadership* sur le segment des lancements commerciaux. En 2016, Arianespace, qui commercialise trois lanceurs (Ariane 5, Soyouz⁵³ et Vega) a lancé dix des dix-neuf satellites commerciaux et remporté sept marchés sur treize, soit plus de la moitié dans chaque cas⁵⁴.

Cette situation est désormais en évolution rapide du fait des tendances déjà décrites plus haut, à savoir l'apparition de nouveaux concurrents et la diversification des satellites à placer en orbite. Outre SpaceX, on peut également citer Blue Origin (États-Unis) mais aussi l'arrivée sur ce segment de la Chine.

Ces évolutions ont d'ores et déjà un effet notable sur la répartition des parts de marché pour les lancements de satellites commerciaux. Par exemple, une étude réalisée par l'américain SpaceX – et donc sujette à caution – portant sur la période 2010-2018 souligne la fin du duopole russo-européen et l'émergence rapide du rival américain⁵⁵. Elle indique seulement une tendance car il est difficile de mesurer de manière objective les parts de marché sur le segment commercial, *a fortiori* de manière prospective⁵⁶.

⁵³ Soyouz est un lanceur russe qu'Arianespace commercialise et lance depuis la base de Kourou aux termes d'un accord avec l'agence spatiale russe Roscosmos.

⁵⁴ Michel Cabirol, 05 janvier 2017, « Lancement de satellites : et c'est toujours Arianespace qui gagne à la fin » La Tribune <http://www.la Tribune.fr/entreprises-finance/industrie/aeronautique-defense/lancement-de-satellites-c-est-toujours-arianespace-qui-gagne-a-la-fin-628094.html>

La différence avec les chiffres de la FAA cités ci-dessus peut s'expliquer par des différences de définition ou de périmètre.

⁵⁵ Tiré d'une intervention de Tim Hughes, Senior Vice-Président de SpaceX devant un comité du Sénat américain, le 13 juillet 2017. Celui-ci a notamment déclaré « Avant l'entrée de SpaceX sur le marché des lancements commerciaux avec le lanceur Falcon 9, les États-Unis avaient de fait cédé ce marché à la France et à la Russie, et aucune entreprise américaine n'avait lancé de mission commerciale en orbite de transfert géostationnaire depuis 2009. SpaceX a ramené ce marché pesant plusieurs milliards de dollars aux États-Unis » (traduction libre) : https://www.commerce.senate.gov/public/_cache/files/8a62dd3f-eadd-42ff-8ac8-0823a346b926/7f1c5970AE952E354D32C19DDC9DDCCB.mr-tim-hughes-testimony.pdf.

⁵⁶ Les sources et la méthodologie n'étant pas précisées, ces éléments sont à prendre avec précaution. Le graphique ne prend par exemple pas en compte les lancements doubles alors qu'Ariane 5 lance le plus souvent deux satellites en même temps (lancements dits « doubles ») là où Falcon n'en lance le plus souvent qu'un. Les prévisions pour 2018 sont particulièrement sujettes à caution.

Ce marché étant essentiellement un « marché d'affaires » (avec un nombre limité de clients et d'offre), il convient d'analyser les informations relatives aux conclusions de nouveaux contrats de lancement. Les données publiques⁵⁷ relatives aux nouveaux contrats de lancement attribués depuis le début de l'année 2017 (hors lancements gouvernementaux) indiquent que SpaceX est parvenu à en remporter plus du tiers, soit environ autant qu'Arianespace. Blue Origin (dont le lanceur ne devrait être opérationnel qu'après 2020) a remporté trois contrats. La Russie n'est plus présente sur ce segment, même si elle a remporté de nouveaux contrats auprès d'agences gouvernementales (l'agence coréenne par exemple avec Glavkosmos). La Chine a remporté un contrat (après un premier contrat en 2016).

⁵⁷ Calculs de l'auteur sur la base des données publiques disponibles. Les contrats conclus avec des gouvernements (y compris des institutions publiques et parapubliques) ne sont pas comptabilisés. Les satellites de moins de 150 kilos ne sont pas pris en compte (sauf si le contrat porte sur le lancement simultané de plusieurs).

LES LANCEURS : L'IMPACT MAJEUR ET IMMINENT DE LA RÉUTILISABILITÉ

Un accès facilité et moins onéreux à l'espace est l'un des facteurs majeurs de transformation du secteur spatial. Dans la période récente, SpaceX a été à la fois le pionnier et désormais l'un des leaders de cette transformation. À la date de la présente note, l'entreprise a lancé en 2017 plus de fusées que tout autre opérateur, et plus de 20 % des lancements mondiaux (16 lancements). Son succès actuel repose sur plusieurs piliers : un soutien gouvernemental fort qui lui a permis de se développer et de bénéficier d'une demande importante (civile et militaire), une remise en question du processus de conception et de fabrication des lanceurs visant principalement à baisser les coûts, une politique commerciale ambitieuse (voire agressive) et enfin une communication efficace sur ses ambitions, centrée sur la personne et la vision de son fondateur.

L'arrivée de SpaceX a d'ores et déjà entraîné une baisse significative des coûts de lancement sur le marché des lancements (commerciaux ou institutionnels). Toutefois, l'entreprise a pour objectif avoué de briser la limite fondamentale que constitue le coût très important de l'accès à l'espace, en développant un nouveau concept de réutilisation des divers éléments d'un lanceur et réduisant plus encore les coûts. D'un point de vue technologique, et à la surprise de la majorité des acteurs établis du secteur, SpaceX a réussi. Cependant, d'importantes objections continuent d'être opposées à la réutilisabilité, s'agissant notamment de son modèle économique. Enfin, d'autres acteurs poursuivent des buts similaires avec des moyens tout aussi, voire plus importants encore.

Compte tenu de ses effets potentiels sur la concurrence entre les divers opérateurs mais aussi plus généralement sur l'utilisation de l'espace, cette question mérite une analyse poussée : si les gains de coûts annoncés se vérifient dans les années qui viennent, l'effet sera majeur sur l'ensemble du domaine spatial. Les développements qui suivent visent ainsi à présenter les principales données du problème ainsi qu'une tentative de synthèse.

1. Une technologie désormais maîtrisée par SpaceX

a. Présentation

Avant de détailler le concept et les effets de la réutilisabilité, il convient de rappeler quelques éléments techniques fondamentaux :

- Bien que fondés sur un principe simple – une explosion contrôlée visant à fournir une poussée suffisante pour arracher une masse à l'attraction terrestre – **les lanceurs sont de vrais bijoux technologiques** dont la construction prend (pour un seul exemplaire) plusieurs mois, mobilise des milliers de personnes et dont la valeur varie de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de millions d'euros par exemplaire.
- **Les lanceurs actuels ont tous en commun d'être « jetables »** (ils sont dits « consommables »), c'est-à-dire qu'ils ne servent qu'une fois et sont abandonnés pour partie en orbite ou détruits lors de leur retour dans l'atmosphère. On peut comparer cette méthode au fait de jeter dans la mer un avion de ligne après un unique vol commercial – ce qui aurait pour effet de rendre plus onéreux le voyage en avion. Elle trouve son origine dans la difficulté technique à ramener le lanceur au sol après avoir atteint des vitesses très importantes (plusieurs kilomètres par seconde) mais aussi dans l'utilisation initiale des lanceurs comme missiles balistiques (et donc destinés à être détruits).
- Le concept n'est pour autant **pas nouveau mais aucun opérateur n'a réussi jusqu'à aujourd'hui à le rendre fiable et compétitif**. La navette spatiale américaine était fondée sur ce principe mais, outre deux accidents tragiques, son coût était prohibitif, conduisant à l'arrêt du programme en 2011. Côté européen, la réutilisabilité avait déjà fait l'objet d'études poussées de la part de plusieurs agences spatiales et d'industriels⁵⁸. L'ESA a d'ailleurs un temps considéré ce modèle pour remplacer Ariane 5⁵⁹.

⁵⁸ Voir de tentatives commerciales avec la navette spatiale américaine qui ambitionnait de réutiliser une partie significative du lanceur (à l'exception du réservoir extérieur). Ceci s'est avéré être un échec, compte tenu des frais de remise en état de vol qui ont été estimés à environ 500 millions de dollars par vol.

⁵⁹ Dès 1999. Voir: Tim Furniss, 21 juillet 1999, « ESA looks ahead to replace Ariane 5 », [flightglobal.com](https://www.flightglobal.com/news/articles/esa-looks-ahead-to-replace-ariane-5-54162/%22/)
<https://www.flightglobal.com/news/articles/esa-looks-ahead-to-replace-ariane-5-54162/%22/>

Le programme Falcon 9 de SpaceX : une courte durée de développement et un coût remarquablement faible

Le lanceur Falcon 9 s'inscrit dans la lignée de la famille de lanceurs développée depuis le lancement de SpaceX au début des années 2000. Le premier lanceur à réussir une mise en orbite a été Falcon 1 (en 2009), conçu largement en interne et en grande partie sur fonds privés. SpaceX a pu bénéficier de l'assistance technique de la NASA, notamment pour l'élément-clef que constitue le moteur Merlin (qui propulse à la fois le premier étage du lanceur et le second), avant d'en poursuivre le développement et l'amélioration.

Dans le cadre du programme de développement de capacités commerciales de lancement engagé par la NASA (programmes COTS puis CCDev), SpaceX a décidé de développer directement Falcon 9. Sélectionné par la NASA, le lanceur a été développé en quatre années (2006-2010) et a fait son premier vol de test en 2010. Il a reçu sa qualification en 2012 pour les missions de ravitaillement de l'ISS. Au cours de ce programme, le service d'audit interne de la NASA a réalisé un audit du programme COTS et a analysé les coûts de développement du lanceur Falcon 9.

Un rapport d'avril 2011 de la NASA indique que « *SpaceX a publiquement indiqué que le coût de développement du lanceur Falcon 9 a été d'environ 300 millions de dollars. En outre, 90 millions de dollars ont été dépensés pour développer le lanceur Falcon 1, qui a contribué en partie au Falcon 9, portant le total à 390 millions de dollars. La NASA a vérifié ces coûts.* » En utilisant son outil interne d'évaluation, la NASA avait initialement anticipé pour SpaceX un coût de développement d'environ 1,7 milliards de dollars⁶⁰.

Même en tenant compte d'une possible sous-estimation ainsi que des coûts postérieurs à 2010 (visant à obtenir la qualification de la NASA et à rendre le lanceur pleinement opérationnel), le coût total pour développer un lanceur de classe orbitale (capable de placer des objets en orbite) est resté limité au regard des programmes comparables.

⁶⁰ NASA, avril 2011, « Commercial Market Assessment for Crew and Cargo Systems »
[https://www.nasa.gov/sites/default/files/files/Section403\(b\)CommercialMarketAssessmentReportFinal.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/files/Section403(b)CommercialMarketAssessmentReportFinal.pdf)

Une étude récente réalisée par un analyste de la NASA portant sur le programme COTS est venue préciser que le recours à SpaceX a permis de diviser les coûts par trois environ, comparé à un lanceur développé par la NASA elle-même⁶¹.

La rupture opérée par SpaceX (mais également à l'avenir par Blue Origin) repose sur un nouveau concept. Celui-ci consiste à ramener l'ensemble du premier étage⁶² du lanceur en position verticale, qui représente environ 70 % du coût d'un lanceur entier, afin de le remettre en état de vol (mode dit « *toss back* »)⁶³. Il trouve son origine dans un article publié par trois auteurs japonais en 1998⁶⁴.

Le mode « *toss back* » constitue un challenge technologique majeur qui nécessite de disposer notamment des éléments clefs suivants : (i) des moteurs rallumables en vol et dont la poussée est modulable ; (ii) une technique et une technologie de rentrée permettant de préserver l'étage des températures élevées liées à la décélération lors du passage à haute vitesse dans les couches denses de l'atmosphère ; (iii) des dispositifs de contrôle de la trajectoire de descente des éléments à ramener ; (iv) d'un système autonome embarqué de calcul en temps réel de la trajectoire de descente⁶⁵ (il n'y a pas de pilotage humain) et enfin ; (v) de méthodes de remise en état de vol rapides et relativement peu coûteuses.

b. La maîtrise technologique obtenue par SpaceX

SpaceX est à ce jour le seul opérateur à maîtriser correctement le concept pour un lanceur de classe orbitale (Falcon 9), au moins pour le premier étage. Une des

⁶¹ Edgar Zapata (NASA), 2017, « An Assessment of Cost Improvements in the NASA COTS/CRS Program and Implications for Future NASA Missions »
<https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20170008895.pdf>

⁶² Le premier étage correspond à la partie basse du lanceur comprenant notamment les moteurs et les réservoirs. Il est séparé du lanceur, le second étage portant le satellite continuant ensuite son ascension.

⁶³ Techniquement, il s'agit de la combinaison.

⁶⁴ Yoshiyuki Ishijima et al., 1998, « Re-entry and Terminal Guidance for Vertical-Landing TSTO (Two-Stage to Orbit) », American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc.
<https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.1998-4120>.

⁶⁵ Voir sur ce sujet l'article de Lars Blackmore, issu du MIT et ingénieur chez SpaceX, spécialisé sur la question de la rentrée, de la descente et de l'atterrissage (entry, descent and landing, EDL) : Lars Blackmore, 2016, « *Autonomous Precision Landing of Space Rockets* », The Bridge, National Academy of Engineering, p. 15-20
http://web.mit.edu/larsb/www/nae_bridge_2016.pdf

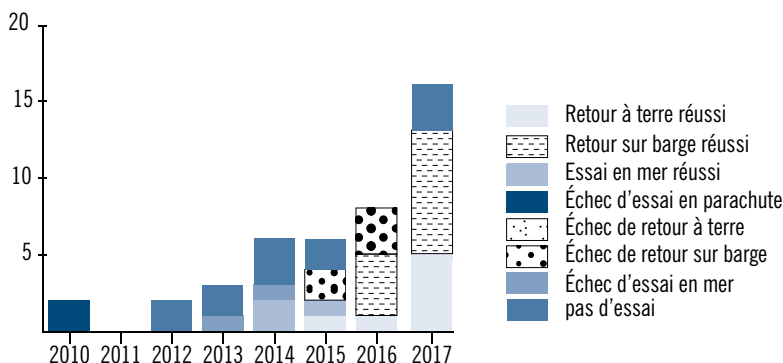
Une thèse portant sur le sujet a été soutenue en 2005 par un doctorant de l'école polytechnique : Julien Laurent-Varin, 2005, « Calcul de trajectoires optimales de lanceurs spatiaux réutilisables par une méthode de point d'intérieur ».

originalités de la méthode choisie a été de développer Falcon 9 d'abord comme lanceur consommable classique mais à bas coûts, puis de développer dans un second temps la réutilisabilité de ce lanceur. Ceci a nécessité de tenir compte de cette évolution dès la conception du lanceur⁶⁶.

Il ne faut pas sous-estimer la difficulté de mener à bien ce programme, qui est sans équivalent dans l'histoire récente de l'aérospatial. Le programme de développement lui-même présente un caractère novateur et ambitieux : il a été mené sur cinq ans, initialement en 2012-2014 avec deux démonstrateurs à basse altitude appelés Grasshopper. Ensuite, en 2014-2015, SpaceX a développé la méthode directement dans le cadre de lancements commerciaux, selon la méthode dite de « *test as we fly* »⁶⁷. Ceci traduit une véritable culture de la prise de risque maîtrisée, à bien des égards remarquable et sans précédent depuis l'époque des programmes Mercury et Apollo.

Cette stratégie est illustrée par la courbe d'apprentissage des tentatives successives de retour du premier étage :

Vois de Falcon 9 en fonction de l'atterrissage⁶⁸



⁶⁶ Par exemple, le choix de ne pas recourir à des « boosters » (non-réutilisables), ou encore la définition du diamètre du premier étage pour tenir compte de la nécessité de le transporter par route après la récupération post-vol.

⁶⁷ Le lanceur délivre normalement sa charge utile en orbite, mais le vol permet en même temps de tester le retour au sol du premier étage une fois que ce dernier a fait son « travail ».

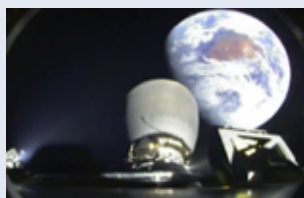
⁶⁸ Page Wikipedia « *Falcon 9 first-stage landing tests* » : https://en.wikipedia.org/wiki/Falcon_9_first-stage_landing_tests#History

Le concept est aujourd'hui largement validé et maîtrisé d'un point de vue technique, comme l'ont démontré les nombreux retours (plus d'une vingtaine depuis 2015) effectués avec succès.

Présentation sommaire de la méthode de récupération du premier étage du lanceur Falcon 9⁶⁹

Bien que les caractéristiques d'un vol soient différentes selon les missions, les principales étapes du retour contrôlé peuvent être résumées de la manière suivante⁷⁰. La configuration ici décrite correspond à un retour du premier étage vers la base de lancement⁷¹ :

- 1. Ascension et séparation du premier étage** : deux minutes et 40 secondes environ après le lancement, le premier étage (9 moteurs Merlin rallumables et à la poussée modulable⁷²) s'arrête puis se détache après avoir accéléré le lanceur à environ 6 000-8 000 km/h, à environ 70-80 kilomètres d'altitude (ces paramètres dépendent du profil de mission). Le second étage portant la charge utile (objet à mettre en orbite, par exemple un satellite) allume son unique moteur et continue sa course⁷³.



- 2. Demi-tour et mise à feu de retour** (« *Backflip* » et « *Boostback* ») : là où, pour un lanceur classique, le premier étage est détruit lors de sa retombée,

⁶⁹ Les éléments présentés viennent de sources publiques disponibles sur internet, y compris des vidéos de vol diffusées par SpaceX.

⁷⁰ La fusée peut également être lancée de manière « classique » (consommable) pour emporter une charge utile plus lourde.

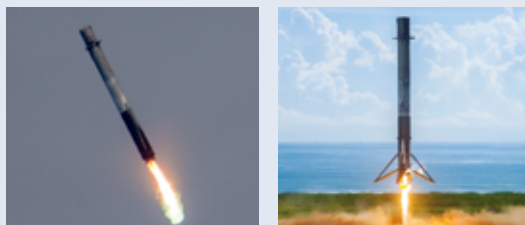
⁷¹ En fonction du profil de la mission, le retour se fait à terre ou sur une barge automatisée au large des côtes. Un exemple de vol avec un retour à terre (mission CRS-10) est visionnable sur Youtube : https://www.youtube.com/watch?v=COTGN_LGuAs.

⁷² Pour le moteur Merlin 1D. Développé et produit en interne chez SpaceX, le moteur Merlin équipe le premier (9 moteurs) et le second étage (1 moteur en version « vacuum » adapté au fonctionnement dans l'espace).

⁷³ Photo SpaceX, libre de droits, source : <https://www.flickr.com/photos/spacex/16673034486/in/album-72157648810647953/>.

le premier étage de la fusée Falcon 9 entame une procédure de retour contrôlé vers le sol. Le système de guidage interne du premier étage prend les commandes en s'appuyant sur des capteurs internes et un positionnement GPS. Le premier étage effectue un demi-tour grâce à plusieurs systèmes de propulsion à gaz froid localisés le long de l'étage, puis rallume trois de ses neuf moteurs pendant environ 20 à 30 secondes afin de se diriger vers son aire d'atterrissage. Elle atteint alors son apogée (environ 100-110 kilomètres) et déploie quatre surfaces de contrôle localisées à la tête de l'étage afin de le guider (« *grid fins* »).

3. **Mise à feu de réentrée** (« *Reentry burn* ») : au moment d'atteindre les couches denses de l'atmosphère (soit environ une trentaine de kilomètres), les trois moteurs sont à nouveau rallumés pendant une vingtaine de secondes. Outre la décélération opérée, cette procédure permet de protéger l'étage de l'échauffement et la pression dus à la friction de l'atmosphère, en éloignant la vague de compression du lanceur et notamment des moteurs⁷⁴. Il s'agit là de l'innovation conceptuelle majeure de SpaceX⁷⁵, mais pas du seul concept envisageable⁷⁶.
4. **Mise à feu d'atterrissage** (« *Landing burn* ») : à une altitude d'environ 4 kilomètres et à une vitesse d'environ 1 000 km/h, un unique moteur (compte tenu de la poussée nécessaire et du poids allégé de l'étage) est rallumé à environ 60-70 % de sa puissance maximale, permettant de ralentir complètement en une trentaine de secondes. Pendant cette phase, les *grid fins* permettent un pilotage fin et une précision d'atterrissage de l'ordre de quelques mètres⁷⁷.



⁷⁴ Une peinture ablative sur la partie basse de l'étage apporte une protection complémentaire.

⁷⁵ Outre son avantage potentiel en termes de coût, ce type de retour dit « rétropulsé » a également pour avantage d'avoir la capacité de poser des masses importantes sur d'autres corps que la terre où l'atmosphère est inexistante ou trop fine pour qu'un parachute suffise. Cette méthode a donc deux intérêts : un intérêt économique et financier potentiel, et la maîtrise d'une technologie pour l'exploration du système solaire.

⁷⁶ Il est possible que Blue Origin utilise une méthode différente ne nécessitant pas de mise à feu de réentrée.

⁷⁷ Photos SpaceX, libre de droits, source : <https://www.flickr.com/photos/spacex/34948230531/>.

5. En environ 8 à 10 minutes, le premier étage franchit donc plusieurs centaines de kilomètres de distance, monte puis redescend d'une altitude de 100.000 mètres environ. Il passe de 0 à environ 7 000 km/h puis à nouveau à 0 – le tout pour un premier étage de près de quarante mètres (noter ci-dessous la taille humaine comparée⁷⁸).



Le premier étage ainsi récupéré est ensuite stocké pour être remis en condition de vol et intégré à un nouveau lanceur.

Au-delà du premier étage, l'objectif de SpaceX est de maîtriser la réutilisabilité quasi-complète du lanceur :

- La récupération et réutilisabilité de la **coiffe** (partie haute du lanceur qui protège la charge utile) font l'objet d'un programme actif. Le coût de la coiffe est estimé entre cinq et six millions de dollars (soit environ 10 % du prix d'un lanceur). Des essais de retour contrôlé ont déjà été effectués⁷⁹. L'objectif de SpaceX est de récupérer la coiffe (y compris ses systèmes intégrés) au cours d'une mission dans le courant de l'année 2017, puis de la réutiliser l'année suivante avant de généraliser, le cas échéant, cette méthode à toutes ses missions⁸⁰.

⁷⁸ Photo SpaceX, libre de droits, source : <https://www.flickr.com/photos/spacex/27776228443/>.

⁷⁹ La technique développée consiste à guider la descente des deux composantes de la coiffe avec des systèmes de propulsion à gaz froid puis de les ralentir avec un parachute.

⁸⁰ Intervention d'Elon Musk à la conférence « ISS R&S » du 19 juillet 2017. À noter que la méthode de récupération n'est pas encore connue.

Coiffe de Falcon 9⁸¹, un équipement coûtant cinq à six millions d'euros pièce



- La réutilisabilité de la **capsule Dragon**⁸², utilisée pour ravitailler l'ISS, a été démontrée avec la mission CRS-11. Elle consiste à récupérer la capsule après son retour sur terre depuis l'ISS et l'utiliser à nouveau sur un vol suivant. Son utilité économique et financière n'est cependant pas connue à ce stade avec précision. Elon Musk a indiqué que pour CRS-11 le coût de remise en état de vol a été équivalent, voire supérieur, aux coûts de production d'une nouvelle capsule – mais qu'il espère baisser ce ratio à 50 % dans un avenir proche⁸³. Il s'agit là encore d'une première dans le secteur. SpaceX prévoit désormais de n'utiliser que des capsules ayant déjà volé pour les missions restantes de livraison de fret à destination de l'ISS⁸⁴.

31

Capsule Dragon au lancement et après sa récupération en mer



Source : SpaceX – libre de droits.

⁸¹ Photo SpaceX, libre de droits, source : <https://www.flickr.com/photos/spacex/17108097439/>.

⁸² La capsule Dragon permet d'emporter en orbite du fret, et de le transférer dans la station spatiale internationale. Elle a été développée en étroite collaboration et avec le soutien de la NASA, en particulier pour développer un nouveau bouclier thermique dénommé « Pica-X ». Le bouclier protège la capsule de l'échauffement créé par le frottement de l'air à haute vitesse. Le bouclier « PICA » (« Phenolic Impregnated Carbon Ablator ») a été développé par la NASA pour sa mission de sonde « Genesis » destinée à collecter et à rapporter sur terre des particules de vent solaire.

⁸³ *Ibid.*

⁸⁴ Eric Ralph, 25 juillet 2017, « SpaceX to reuse Cargo Dragons on all missions after CRS-12 launch in August » Teslarati <https://www.teslarati.com/spacex-reuse-cargo-dragons-missions-crs-12-launch-august/>

- Le retour du **second étage** est aussi étudié, même s'il est bien plus difficile car le second étage atteint une vitesse trois à quatre fois plus élevée que le premier étage. Ceci implique d'être en mesure de dissiper une énergie plus grande lors du retour sans trop dégrader les capacités du lanceur.

SpaceX aurait déjà dépensé, selon l'un de ses représentants, environ 1 milliard de dollars pour développer cette capacité⁸⁵. Ces coûts viennent s'ajouter aux coûts de développement du lanceur Falcon 9 (cf. ci-dessus). On peut cependant estimer qu'au total l'ensemble des coûts (en comptant Falcon 9 puis la réutilisabilité du lanceur) ne semblent pas avoir dépassé les deux milliards de dollars.

L'entreprise nourrit enfin des ambitions similaires pour sa fusée Falcon Heavy, une version lourde constituée schématiquement des trois premiers étages de Falcon 9 accolés, l'ensemble étant surmonté d'un second étage, lui aussi issu du Falcon 9. Celle-ci devrait en principe faire son premier vol de test début 2018 et bénéficie déjà de contrats de lancements. Au-delà, SpaceX développe un nouveau lanceur lourd (le plus puissant jamais conçu) entièrement réutilisable, le « BFR », qui devrait remplacer à terme l'ensemble de ses produits actuels⁸⁶.

2. Des critiques et réserves qui se révèlent peu fondées ou en passe d'être levées

Outre sa complexité technologique, la réutilisabilité fait depuis longtemps l'objet de trois principales critiques, qui lui sont encore régulièrement opposées :

- **l'absence réelle de réduction des coûts de relancement, du fait des coûts de remise en état de vol.** Tirant argument de l'échec de la navette spatiale américaine, les critiques soulignent que les vérifications, changements de matériel et tests à effectuer annuleraient tout ou partie des gains espérés **(a)** ;
- **l'étroitesse du marché (c'est-à-dire du nombre de satellites à lancer),** laquelle ne permettrait ni de couvrir les coûts de développement de la réutilisabilité, ni les coûts fixes des opérateurs **(b)** ;

⁸⁵ Déclarations de Tom Ochinero faites le 11 octobre 2017, relatées par le site Spaceintelreport.com : Peter B. de Selding, 12 octobre 2017, « SpaceX reassures commercial satellite market : Falcon 9 won't soon be scrapped for BFR » Space Intel Report

<https://www.spaceintelreport.com/spacex-reassures-commercial-satellite-market-falcon-9-wont-soon-scrapped-bfr/>.

⁸⁶ Peter B. de Selding, 12 octobre 2017, « SpaceX reassures commercial satellite market : Falcon 9 won't soon be scrapped for BFR » Space Intel Report

<https://www.spaceintelreport.com/spacex-reassures-commercial-satellite-market-falcon-9-wont-soon-scrapped-bfr/>.

- **l'absence de garanties concernant la fiabilité**, c'est-à-dire le risque inacceptable pour les clients de voir leur charge utile détruite par un dysfonctionnement du lanceur. Trop exigeante en termes technique, la réutilisabilité ne se ferait qu'au prix d'un risque exacerbé d'échec **(c)**.

Une fois analysées ces critiques au regard des éléments disponibles, les conditions de la viabilité économique de la réutilisabilité et l'effet de cette dernière sur la compétition entre opérateurs sont ensuite synthétisés **(d)**.

a. Limite tenant aux coûts et aux délais de remise en état de vol des éléments réutilisables

Bien que les informations soient très parcellaires, il est légitime de penser que la réduction des coûts est non seulement réelle, mais qu'elle pourrait à terme être très significative. L'analyse est toutefois plus complexe qu'une simple explication intuitive tenant à la réutilisation d'un premier étage ayant déjà volé.

SpaceX est encore en cours d'apprentissage concernant la méthode, les coûts et les délais de remise en état de vol. À ce jour, seuls deux premiers étages ont volé une seconde fois après plusieurs mois de travail – tandis que l'objectif officiel est de pouvoir, à terme, remettre un premier étage en état de vol en moins de 24 heures, sans changement de matériel, puis de le faire revoler plus d'une dizaine de fois⁸⁷.

S'agissant des coûts de remise en état de vol, les informations sont pour l'instant parcellaires (car non publiques) : la directrice de l'exploitation de SpaceX, Gwynne Shotwell, a déclaré en avril 2017 que le coût de remise en état du premier étage avait été substantiellement inférieur à la moitié du coût de construction d'un nouveau lanceur⁸⁸. La prochaine étape sera la mise en service de la version « Block 4 » puis « Block 5 » de la fusée Falcon 9, qui intégrera de nombreuses améliorations techniques facilitant la réutilisabilité.

Il est donc raisonnable de penser que l'obstacle des coûts de remise en état de vol sera levé au cours des prochaines années. Mais **ce qui se dessine désormais, c'est la constitution d'une véritable flotte de lanceurs Falcon 9 réutilisables**

⁸⁷ SpaceX a d'ores et déjà fait des essais en testant au sol un premier étage ayant déjà volé lors de dix cycles de vol entier pour vérifier sa capacité à revoler de multiples fois.

⁸⁸ Jeff Foust, 5 avril 2017, « SpaceX gaining substantial cost savings from reused Falcon 9 » spacenews <http://spacenews.com/spacex-gaining-substantial-cost-savings-from-reused-falcon-9/>.

(et, le cas échéant, Falcon Heavy), prêts à être lancés rapidement en fonction de la demande adressée à SpaceX. Le nombre de nouveaux premiers étages à produire serait limité. En cas de succès du développement de la réutilisabilité des coiffes, ces dernières seraient intégrées à la flotte ainsi constituée. L'entreprise se concentrerait principalement sur la récupération des lanceurs, leur maintenance et leur lancement – ainsi que sur le développement et la construction de nouveaux produits.

À cet égard, SpaceX a annoncé le développement pour le milieu de la décennie 2020 d'un nouveau lanceur lourd destiné, à terme, à remplacer les Falcon 9 et Falcon Heavy : le lanceur « BFR ». En plus d'intégrer l'ensemble des avancées obtenues en termes de réutilisabilité, ce lanceur a pour objectif d'offrir une réutilisabilité complète et une grande polyvalence pour des missions de mise en orbite, de transfert vers et depuis la lune et Mars, voire de transport terrestre par le biais de vols suborbitaux⁸⁹.

b. Limite tenant à un nombre trop limité de lancements pour couvrir les coûts associés à la réutilisabilité

Il s'agit de la principale objection actuelle au modèle de la réutilisabilité, et celle sur laquelle de réelles incertitudes demeurent. L'équation économique dépend beaucoup de la capacité de l'opérateur à :

- **couvrir les coûts de développement**, c'est-à-dire rentabiliser l'investissement initial requis pour maîtriser toutes les étapes techniques de la réutilisabilité ;
- **couvrir les coûts fixes de l'opérateur**. En effet, la réutilisation d'éléments (par exemple un premier étage) fait baisser les besoins de production de nouveaux éléments. Ceci rend plus difficile la couverture des coûts fixes (entretien des usines, coûts de personnel, etc.) et tend à augmenter le prix unitaire d'un nouveau lanceur.

La variable principale est le nombre de lancements par an et, parmi ceux-ci, le nombre de vols d'éléments réutilisés. À cet égard, les responsables européens ont avancé le chiffre d'au moins trente-cinq à quarante lancements par an⁹⁰. D'autres chiffres, plus bas (vingt), ont été avancés. SpaceX n'a pas communiqué d'informations précises à ce sujet et il est possible que l'entreprise n'ait pas encore de réponse claire à cette question.

⁸⁹ Voir la présentation faite par Elon Musk à l'IAC 2017 à Adelaïde (Australia). Par exemple : Mike Wall, « SpaceX to phase out everything but its mars-colonizing 'BFR' rocket », Space.com <https://www.space.com/38323-spacex-phasing-out-rockets-for-mars-bfr-spaceship.html>.

⁹⁰ Peter B. de Selding, 25 avril 2016, « SpaceX's reusable Falcon 9: What are the real cost savings for customers? », spacenews. <http://spacenews.com/spacexs-reusable-falcon-9-what-are-the-real-cost-savings-for-customers/>

L'économie de la réutilisabilité : une littérature parsemée

Au-delà des considérations technologiques et techniques, le bien-fondé du recours à la réutilisabilité dépend surtout de sa viabilité économique et financière. Les études disponibles⁹¹ sur le sujet sont rares, en particulier sur les aspects microéconomiques.

De l'autre côté de l'Atlantique, on peut citer une récente publication « *Launch Vehicle Recovery and Reuse* » de Ragab, McNeil Cheatwood, Hughes et Lowry (2015)⁹². Les auteurs y dressent un panorama des efforts accomplis en matière de réutilisabilité depuis le début de l'ère spatiale et détaillent les options actuellement ouvertes. Ils mentionnent, de manière relativement succincte, les principaux déterminants du modèle économique afin de comparer diverses options de réutilisabilité.

Ces auteurs font à cet égard référence aux travaux de George Sowers, un ingénieur travaillant pour l'opérateur américain ULA. Celui-ci a en effet publié ce qui semble être le modèle économique théorique le plus détaillé à ce jour⁹³ : son étude conclut à un avantage relatif des modèles limités au retour des seuls composants onéreuses (bloc moteur notamment), comparé au modèle de retour du premier étage poursuivi par SpaceX et Blue Origin (lequel ne serait, selon le modèle, pas rentable avant au moins dix vols par premier étage). Ce modèle a cependant fait l'objet de critiques⁹⁴.

En Europe et en France, les études disponibles se concentrent essentiellement sur les aspects techniques de la réutilisabilité. Les aspects économiques ne sont traités que de manière partielle et sans recours aux outils d'analyse microéconomique. On peut cependant mentionner un récent article de deux

⁹¹ On imagine que les divers opérateurs spatiaux (SpaceX, Arianespace, ESA, etc.) ont réalisé des études internes sur le sujet. Leurs résultats ne sont cependant pas publics.

⁹² Ragab, R., McNeil Cheatwood, F., Hughes, J., Lowry, A., 2015, « *Launch Vehicle Recovery and Reuse* », American Institute of Aeronautics and Astronautics
http://www.ulalaunch.com/uploads/docs/Published_Papers/Supporting_Technologies/LV_Recovery_and_Reuse_AIAASpace_2015.pdf

⁹³ Sur le site « forum.nasaspacelife.com » : <http://forum.nasaspacelife.com/index.php?topic=37390.0>.

Une note explicative peut être téléchargée ainsi qu'un fichier Excel appliquant la formule.

⁹⁴ Notamment s'agissant de l'hypothèse d'une pénalité de performance liée au carburant nécessaire au retour : voir la discussion sur le site Reddit
https://www.reddit.com/r/spacex/comments/3z8ga5/recalculating_the_ula_reusability_analysis_in/.

ingénieurs du CNES, Sébastien Lombard et François Farago. Celui-ci constitue une synthèse intéressante des enjeux environnementaux, juridiques et techniques de la réutilisabilité, sans toutefois détailler les déterminants économiques⁹⁵.

La rareté des publications sur le modèle économique de la réutilisabilité justifierait donc une analyse approfondie de la part d'ingénieurs et d'économistes européens.

On se limitera donc ci-après à quelques considérations générales.

En premier lieu, **la difficulté à couvrir les coûts de développement de la réutilisabilité dépend, au premier chef, du montant de l'investissement.** Or, sur ce point, SpaceX semble avoir réussi à maintenir ces coûts à un niveau raisonnable (autour d'un milliard de dollars) par rapport à des programmes comparables de développement de nouveaux lanceurs. Il lui sera ainsi d'autant moins difficile de couvrir tout ou partie de ces coûts.

En second lieu, **la couverture des coûts fixes dépend en grande partie de l'évolution du nombre de lancements potentiels et de la flexibilité de l'appareil de production.**

D'une part, plus le nombre de lancements augmente, plus le nombre de nouveaux éléments à produire augmente. Les anticipations concernant le nombre de lancements sont difficiles à réaliser. On peut cependant constater que le marché commercial s'élargit au-delà du segment des satellites géostationnaires (plusieurs tonnes), lequel connaît actuellement un retournement important. On observe ainsi par exemple de nouveaux projets tels que les constellations de milliers de « micro » satellites (100 à 200 kilos) visant à fournir un accès à internet, ou encore l'essor rapide des « nano » satellites⁹⁶.

⁹⁵ Lombard, S., Farago, F., 2016, « Risques et opportunités pour les lanceurs spatiaux de demain », 20^e Congrès de maîtrise des risques et de sûreté de fonctionnement, Saint-Mao 11-13 octobre 2016 http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/61695/lm20_com_5A_4_095_Lombard.pdf?sequence=1&isAllowed=y

⁹⁶ Il est possible de lancer ces satellites 'en grappe' avec des adaptateurs spéciaux. Des lanceurs spécifiques de petite puissance sont également développés spécifiquement pour ce segment.

La miniaturisation et la standardisation des satellites : un effet encore incertain sur le marché des lanceurs

La miniaturisation des satellites (commerciaux ou non) crée une réelle incertitude sur l'évolution du marché des lanceurs. Cette tendance est favorisée par les avancées technologiques en matière de miniaturisation, de méthodes de fabrication (standardisation des processus) et de la demande anticipée pour de nouveaux services utilisant des satellites spatiaux (services internet par satellite, etc.). Elle aboutit à des satellites de quelques centaines de kilos dont le coût peut être abaissé jusqu'à moins d'un million d'euros pour les satellites de la constellation Oneweb développés par Airbus⁹⁷. Dans le même temps, certains satellites de télécommunication continuent de s'alourdir (6 à 7 tonnes).

Cette bipolarisation du marché est de nature à augmenter la demande pour les services de lancement mais aussi le nombre d'opérateurs capables d'y répondre. En réaction, de nouveaux opérateurs développent en effet des lanceurs légers visant à offrir des coûts de lancement faibles. La plupart sont non-réutilisables (Virgin ou Electron par exemple) même si le nouvel opérateur chinois Link Space a déclaré développer un lanceur léger réutilisable sur un modèle proche de celui de SpaceX. Inversement, les lanceurs plus lourds (dont ceux de SpaceX et Arianespace) indiquent pouvoir offrir des coûts suffisamment bas et une cadence de tir à même de répondre à cette demande nouvelle.

Il reste difficile à ce stade d'anticiper l'impact de cette évolution sur le marché des lanceurs mais aussi, au-delà, sur le marché des satellites commerciaux géostationnaires.

Par ailleurs, il faut tenir compte de **l'élasticité de la demande par rapport au prix** de vente, même si cette dernière n'a jusqu'à présent pas été démontrée. Il est clair que le coût actuel de l'accès à l'espace contribue à limiter considérablement l'éventail des activités et produits qu'il est justifié de développer en orbite. Il est cependant possible que le nombre de satellites augmente encore en réaction à des coûts de

⁹⁷ Vincent Lamigeon, 27 juin 2017, « Fabriquer deux satellites OneWeb par jour : l'incroyable défi d'Airbus » Challenges https://www.challenges.fr/entreprise/aeronautique/fabriquer-deux-satellites-oneweb-par-jour-l-incroyable-defi-d-airbus_483249.

lancement plus faibles. De multiples projets en la matière pourraient ainsi émerger en réaction à une baisse significative des coûts de lancement⁹⁸.

D'autre part, la flexibilité de l'appareil de production permet de compenser en partie l'effet de la réutilisabilité. On peut d'abord **adapter l'outil de production** en conséquence, par exemple :

- en produisant moins de premiers étages (qui sont réutilisés) et plus de seconds étages au fur et à mesure de l'expansion du marché ;
- en réaffectant ensuite à d'autres programmes les ressources auparavant destinées au développement et à la production des éléments réutilisés. C'est le cas de SpaceX qui développe, en parallèle des capacités de vol habités, un nouveau lanceur (le « BFR ») et un nouveau moteur (le Raptor), une nouvelle capsule (Dragon 2, devant remplacer le Dragon désormais réutilisé), une constellation internet (dont des satellites) ;
- ou encore en rendant la chaîne de production la plus automatisée possible ou en recourant à la sous-traitance.

Dans cette équation difficile, il est donc vrai que **l'Europe a aujourd'hui un désavantage réel** en raison notamment (i) du faible nombre de lancements institutionnels par rapport aux Etats-Unis ou à la Chine ; (ii) de l'absence de préférence européenne (voir ci-dessous, III.4) ; et (iii) de contraintes politiques fortes (règle du retour géographique).

Indépendamment de l'évolution du nombre de lancements à réaliser, certaines conditions doivent donc être réunies, notamment la capacité à contenir à un niveau raisonnable les coûts de développement et d'exploitation de la réutilisabilité, et la flexibilité de l'appareil de production.

c. Limite tenant à une insuffisante fiabilité

Cette critique traduit une prudence peut-être excessive et, certainement, une sous-estimation des capacités de SpaceX. Il est bien évident que les clients sont réticents à prendre le risque d'une perte de leur charge utile, compte tenu des ressources engagées et des coûts élevés (coûts de production, d'assurances, risques de retard, etc.). Par ailleurs, l'Europe spatiale a été très marquée par les quelques échecs

⁹⁸ On peut citer par exemple les projets visant à fournir des services aux satellites directement en orbite (par exemple pour faire le plein d'ergols, ou carburant), à « nettoyer » l'orbite terrestre des débris spatiaux, ou encore les projets visant à développer une exploitation des ressources d'astéroïdes.

enregistrés lors du développement des différentes versions d'Ariane 5. Elle peut légitimement s'enorgueillir des taux de fiabilité exceptionnels atteints depuis, ainsi que d'une qualité de service unanimement reconnue.

Toutefois, il serait réducteur de présenter Ariane 5 et Ariane 6 comme le choix de la fiabilité là où les concurrents (dont SpaceX) seraient des choix certes moins chers mais beaucoup plus risqués. S'agissant de SpaceX, les échecs passés sont la conséquence logique d'une courbe d'apprentissage importante – rappelons que la société a été fondée il y a seulement quinze ans. L'entreprise a certes connu récemment quelques échecs très médiatisés, et il est tout à fait possible que d'autres échecs aient lieu dans les mois et années qui viennent. Pour autant, il est probable que le taux de succès augmente rapidement. En outre, plusieurs éléments récents confortent l'acceptabilité grandissante des premiers étages réutilisés :

- les courtiers en assurances semblent désormais demander des primes similaires à celles demandées pour les premiers étages n'ayant pas volé⁹⁹ ;
- plusieurs clients acceptent désormais d'utiliser des premiers étages réutilisés¹⁰⁰. Tant la NASA¹⁰¹ que l'armée de l'air américaine (USAF)¹⁰² semblent proches d'accepter de les utiliser pour leurs prochaines missions avec SpaceX.

On pourrait, en définitive, retourner l'argument : en multipliant les vols et les réutilisations d'éléments ayant démontré leur capacité à voler, un opérateur est en mesure de récupérer et d'analyser une masse importante de données en vue d'améliorer le lanceur et les méthodes. La fiabilité globale des lanceurs orbitaux, aujourd'hui supérieure à 90 % à l'échelle mondiale¹⁰³, pourrait donc augmenter significativement.

⁹⁹ Déclaration d'un dirigeant de SpaceX, Tom Ochinero, le 11 octobre 2017 : Peter B. de Selding, 12 octobre 2017, « SpaceX reassures commercial satellite market : Falcon 9 won't soon be scrapped for BFR » Space Intel Report <https://www.spaceintelreport.com/spacex-reassures-commercial-satellite-market-falcon-9-wont-soon-scrapped-bfr/>.

¹⁰⁰ Dont les opérateurs SES et Iridium.

¹⁰¹ William Graham, 30 octobre 2017, « SpaceX Falcon 9 successfully launches Koreasat 5A » NASA spaceflight.com <https://www.nasa.gov/spacex-falcon-9-successfully-launches-koreasat-5a>.

¹⁰² « The US air force space command is "completely committed" to recycled rockets » Futurism <https://futurism.com/the-u-s-air-force-space-command-is-completely-committed-to-recycled-rockets/>.

¹⁰³ Ce chiffre varie d'une année sur l'autre : en 2016, 86 lancements orbitaux ont été tentés, dont quatre échecs (en comptant la perte de Falcon 9 sur le pas de tir le 1^{er} septembre 2016), soit une fiabilité supérieure à 95 %. En 2017, le taux d'échec semble en hausse (Eric Berger, 1 septembre 2017, « With Indian rocket launch failure, 2017 seeing a higher accident rate » arstechnica <https://arstechnica.com/science/2017/09/with-indian-rocket-launch-failure-2017-seeing-a-higher-accident-rate/>).

d. Effet global de la réutilisabilité : essai de synthèse avec l'exemple de SpaceX

S'agissant des seuls coûts, la question est indéniablement complexe car il s'agit d'une équation dont les variables ne sont pas connues avec précision. Les principales sont :

- i. le coût de développement de la capacité technique de réutilisabilité ;
- ii. la part réutilisable du lanceur (en pourcentage du coût total) ;
- iii. le coût complet de production, puis de remise en état de vol des éléments réutilisables ;
- iv. le nombre de réutilisation des éléments (par exemple : nombre de vols possibles pour un même premier étage) ;
- v. le nombre total de lancements par an pour l'opérateur, dont dépend la couverture des autres coûts fixes et variables de l'opérateur (notamment la taille de l'appareil de production à maintenir).

En l'état des données disponibles, il n'est pas possible de donner, pour SpaceX, d'éléments chiffrés pour chacune des variables. Cependant, la maîtrise technique semble désormais acquise (variable (i) – un milliard de dollars dépensés selon SpaceX) et SpaceX progresse rapidement sur les quatre autres variables.

On s'en tient donc ci-après principalement aux déclarations publiques récentes – parfois contradictoires – des dirigeants de SpaceX. Il faut prendre ces derniers au sérieux : certes l'entreprise a souvent été prise en défaut sur les délais annoncés, mais ses équipes ont jusqu'à présent accompli les avancées techniques promises, y compris en matière de réutilisabilité. Ainsi :

- la directrice de l'exploitation de SpaceX a indiqué en octobre 2016 que le *discount* offert était de 10 %¹⁰⁴, tout en laissant entendre qu'une baisse de 30 % par rapport aux prix proposés (60 millions de dollars environ pour le prix catalogue) était envisageable ;
- dans une déclaration datant de mai 2017 (et peu médiatisée), le responsable de la propulsion de SpaceX, Tom Mueller, a indiqué qu'il espérait avec le lanceur Falcon 9 « *une division peut-être par dix des coûts, comparé à ce que propose*

¹⁰⁴ Peter B. de Selding, 5 octobre 2016, « SpaceX's Shotwell on Falcon 9 inquiry, discounts for reused rockets and Silicon Valley's test-and-fail ethos » spacenews <http://spacenews.com/spacexs-shotwell-on-falcon-9-inquiry-discounts-for-reused-rockets-and-silicon-valleys-test-and-fail-ethos/>.

ULA, les Russes ou les Chinois »¹⁰⁵, eux-mêmes étant déjà parmi les moins chers du marché ;

- un dirigeant de SpaceX a récemment déclaré en octobre 2017 que « *l'entreprise devait récupérer une partie [du milliard d'euros investi pour maîtriser la réutilisabilité], mais pas entièrement car sinon cela pourrait prendre de l'ordre de dix ans ou plus* ». Par ailleurs, il n'anticipe pas que la différenciation actuelle entre les premiers étages réutilisés (pour lesquels un prix plus faible a été offert) et les premiers étages neufs ait vocation à durer¹⁰⁶.

Les positions d'autres acteurs informés doivent aussi être mentionnées. Celles-ci sont divergentes :

- Une analyse approfondie d'avril 2016, réalisée par une banque d'investissement (Jefferies International LLC) concluait à la possibilité d'une baisse de 40 % du prix de lancement « catalogue », à 37 millions de dollars contre 62 aujourd'hui¹⁰⁷. Compte tenu des informations publiques limitées concernant les coûts de SpaceX, une telle analyse n'a cependant qu'une valeur probante limitée.
- L'opérateur de satellites SES, basé au Luxembourg et partenaire commercial historique de SpaceX, est très confiant dans l'effet de la réutilisabilité en termes de coûts et de disponibilité. L'avis de cet opérateur, deuxième plus important au monde en termes de chiffres d'affaires, est donc pertinent pour cerner l'appréciation des principaux clients commerciaux acteurs du secteur. Son directeur de la technologie, Martin Halliwell, a indiqué en juin 2017 lors d'une conférence d'investisseurs que « *les données économiques [de la réutilisabilité] vont en fait être assez stupéfiantes* »¹⁰⁸. Dans une interview plus récente, il a indiqué que « *l'ère des lanceurs réutilisables* » allait advenir plus tôt que certains ne l'avaient anticipé, et que les concurrents de SpaceX étaient significativement moins avancés. Il insiste sur l'avantage financier de la réutilisabilité que constitue,

¹⁰⁵ Interview Skype du 2 mai 2017, diffusée sur le site Reddit, et dont une retranscription est disponible ici : https://www.reddit.com/r/spacex/comments/6b043z/tom_mueller_interview_speech_skype_call_02_may/dhiygzml/

¹⁰⁶ Déclarations de Tom Ochinerio à la conférence APSCC 2017, relatées par le site Space Intel Report : Peter B. de Selding, 12 octobre 2017, « SpaceX reassures commercial satellite market : Falcon 9 won't soon be scrapped for BFR » Space Intel Report <https://www.spaceintelreport.com/spacex-reassures-commercial-satellite-market-falcon-9-wont-soon-scrapped-bfr/>.

¹⁰⁷ Peter B. de Selding, 25 avril 2016, « SpaceX's reusable Falcon 9: What are the real cost savings for customers? » spacenews <http://spacenews.com/spacexs-reusable-falcon-9-what-are-the-real-cost-savings-for-customers/>
Plusieurs hypothèses sont prises pour le calcul, et notamment 15 réutilisations de chaque lanceur.

¹⁰⁸ Conférence d'investisseurs tenue le 28 juin 2017, rapportée par le site Space Intel Report : Peter B. de Selding, 30 juin 2017, « SES : Happily Malthusian on launch services, favors salami on satellites » Space Intel Report <https://www.spaceintelreport.com/ses-happily-malthusian-launch-services-favors-salami-satellites/>

selon lui, la capacité pour SpaceX de disposer de lanceurs réutilisables pour mettre rapidement les satellites en orbite (lesquels commencent donc à générer des revenus au lieu d'attendre, une fois prêt, une date de lancement). Il indique ne pas attendre à court-terme une baisse significative des prix proposés par SpaceX, l'entreprise devant selon lui encore affiner son modèle économique et financier et sa compréhension des divers coûts associés à la réutilisabilité¹⁰⁹. Dans une intervention le 16 novembre 2017 aux rencontres « *NewSpaceEurope* » à Luxembourg, le dirigeant de SES, Karim Michel Sabbagh, a indiqué que, de 100 millions de dollars pour un satellite de 3,5 tonnes, les prix se sont rapprochés de 60 millions de dollars. Il s'attend désormais à une diminution de moitié de ce prix. Néanmoins, SES soutient également activement l'arrivée d'Ariane 6 sur le marché.

- Le responsable de l'agence russe Roscosmos s'est montré plus réservé en juillet 2017, et confiant dans la capacité de son nouveau lanceur Soyouz 5 (prévu pour 2021) à être compétitif. Selon lui, la réduction des prix de lancement de SpaceX ne devrait pas excéder 20 % dans les cinq prochaines années, même si la réutilisabilité est bien le futur du secteur¹¹⁰.
- Un des employés fondateurs de SpaceX ayant depuis quitté l'entreprise, Jim Cantrell, a estimé qu'il serait difficile pour SpaceX d'atteindre la rentabilité au moyen de la réutilisabilité en raison d'un nombre de lancements trop faibles par premier étage réutilisé. Il a souligné que l'intérêt principal résidait en réalité dans l'augmentation du nombre de lancements (générant une hausse du chiffre d'affaires) et la maîtrise indispensable de cette technologie pour les missions martiennes de SpaceX¹¹¹.

En conclusion, il convient de distinguer, en fonction de leur degré de certitude, les différentes questions posées par la réutilisabilité.

¹⁰⁹ Interview accordée au site Universe Today, publiée le 14 octobre 2017 : Ken Kremer, 16 octobre 2017, « Musk's era of routinely re-flown rockets (ala SpaceX) a 'major sea change getting closer every day' says SES CTO Halliwell : SES-11 launch gallery » Universe Today <https://www.universetoday.com/137482/musks-era-of-routinely-re-flown-rockets-ala-spacex-a-major-sea-change-getting-closer-every-day-says-ses-cto-halliwell-ses-11-launch-gallery/>.

¹¹⁰ Peter B. de Selding, 4 juillet 2017, « Roscosmos : Rocket reusability's the future, but we can compete with SpaceXnow », Space Intel Report <https://www.spaceintelreport.com/roscomos-rocket-reusabilitys-future-can-compete-spacex-now/>

¹¹¹ Voir sa réponse sur une question posée sur le site Quora.com : <https://www.quora.com/How-much-does-SpaceX-save-by-reusing-a-Falcon-rocket/answer/Jim-Cantrell>.

S'agissant des éléments qui semblent désormais solidement établis pour SpaceX, seule société à maîtriser actuellement cette technologie :

- la réutilisabilité du premier étage d'un lanceur (dont ses moteurs) et de la capsule est technologiquement démontrée ;
- le degré de fiabilité atteint est, à ce stade, important et il ne semble pas exister d'obstacle à ce que celui-ci atteigne puis dépasse celui des lanceurs entièrement neufs ;
- le marché (clients et courtiers en assurance) est en train de basculer vers une acceptation des lanceurs réutilisables ;
- il existe un avantage potentiel réel en termes de coûts mais aussi de cadence de tir, attesté par des clients de SpaceX. Disposant de deux (et bientôt trois¹¹²) bases de lancement, l'entreprise peut raisonnablement viser une cadence théorique de 20 à au moins 40 lancements par an dans les années qui viennent.

Parmi les éléments qui restent incertains, voire très incertains :

- la capacité de SpaceX à abaisser le délai de remise en état de vol des premiers étages, actuellement autour de six mois, sans compromettre la fiabilité ni augmenter les coûts d'exploitation de manière excessive ;
- la réutilisabilité de la coiffe et du second étage, pour laquelle il faudra attendre quelques années pour en apprécier le potentiel en terme de réduction des coûts ;
- l'impact final sur le coût complet de lancement de SpaceX, compte tenu notamment de la nécessité de rentabiliser l'investissement initial ;
- le nombre de lancements à effectuer par an pour justifier le développement de la réutilisabilité, qui dépend lui-même de nombreux facteurs. Il est cependant très probable que le nombre actuel de lancements réalisés par l'Europe (10 à 12 lancements) soit insuffisant ;
- l'impact qu'aura l'arrivée sur le marché de Falcon Heavy (qui n'a pas encore volé) et, *a fortiori*, du lanceur ultralourd entièrement réutilisable « BFR », dont le début de la construction est annoncé pour 2018 et la mise en service au plus tôt en 2022 ;
- l'impact qu'aura le lanceur New Glenn de Blue Origin, annoncé pour 2021 au plus tôt et qui met en œuvre des préceptes proches de ceux de SpaceX.

¹¹² SpaceX construit actuellement une troisième base de lancement à Boca Chica, au Texas, qui devrait être opérationnelle en 2018.

Dans ce contexte, et pour se limiter là encore à SpaceX, on peut raisonnablement anticiper les effets suivants :

- **sur les prix** : à moyen-terme, la baisse du coût d'un lancement de Falcon 9 est difficile à évaluer mais une fourchette de 10 à 20 millions de dollars à l'horizon 2020-2025 est sérieusement envisageable. La question des coûts ne préjuge toutefois pas des prix effectivement proposés aux clients, lesquels dépendront notamment de la concurrence et de la marge recherchée par SpaceX pour financer ses autres projets. Un prix catalogue compris dans une fourchette de 30 à 40 millions de dollars paraît envisageable dès les premières années de la décennie 2020, mais restera probablement supérieur (50 à 60 millions) tant que la concurrence n'imposera pas une baisse des prix. Il faut également tenir compte de la capacité de SpaceX à proposer des prix artificiellement bas à l'international pour pénétrer des marchés ou affaiblir la concurrence ;
- **sur la cadence et la disponibilité** : l'« effet de flotte » obtenu par la réutilisabilité et la disponibilité de plusieurs bases de lancement permettront à SpaceX de répondre rapidement à la demande et d'offrir un service de lancement rapide, réduisant le temps d'attente des clients.

La combinaison de ces deux avantages compétitifs, couplée à une fiabilité élevée, feront dans tous les cas de SpaceX un compétiteur redoutable. En tenant compte également de l'arrivée de Blue Origin à l'horizon 2020, l'ensemble de ces éléments confirme l'impact majeur de la réutilisabilité sur le marché des lanceurs, l'accès à l'espace et, au-delà, sur les activités spatiales humaines dans les décennies à venir.

UNE STRATÉGIE EUROPÉENNE PORTEUSE DE RISQUES ET INSUFFISAMMENT AMBITIEUSE

Un bref rappel de la construction historique de l'Europe spatiale est d'abord nécessaire, en présentant ses principales forces et faiblesses actuelles (1). On analyse ensuite plus en détails la stratégie européenne dans le domaine des lanceurs, et en particulier sa réaction face à l'entrée de nouveaux compétiteurs et au défi posé par la réutilisabilité (2). La gouvernance spatiale européenne, fruit d'une construction historique complexe, est ensuite présentée (3). Il faut également apprécier dans quelle mesure le tissu économique européen est en position, ou non, de capter une partie de la croissance anticipée des activités spatiales (4). Les faiblesses identifiées conduisent à dégager un scénario défavorable dans lequel l'Europe prendra une place secondaire dans l'espace du XXI^e siècle (c).

1. Contexte : l'Europe a su se tailler une place de choix dans le domaine spatial

45

L'Europe a d'abord connu des débuts modestes, dans l'ombre des États-Unis et de l'URSS. A l'initiative de la France, qui a lancé son premier satellite « Astérix » grâce à une fusée « Diamant » en 1965, l'Europe a progressivement su se faire une place parmi les acteurs majeurs du secteur spatial¹¹³. Historiquement, ses forces sont :

- une place de premier rang pour les lancements dits « commerciaux » avec le programme de fusées Ariane ;
- une place de *leader* (en chiffre d'affaires) dans les télécommunications spatiales et dans l'exploitation de satellites avec le français Eutelsat et le luxembourgeois SES (l'autre grand acteur étant l'américain Intelsat) ;
- une place de leader dans la construction de satellites avec trois opérateurs de premier rang – Airbus (européen), Thalès Alenia Space (franco-italien) et OHB (allemand) ;
- l'existence de programmes ambitieux dans l'exploration et la recherche scientifique ;

¹¹³ La France faisant figure de leader devant l'Allemagne, l'Italie et le Royaume-Uni. Le Royaume-Uni s'est retiré du développement des lanceurs depuis Ariane 5. Technologiquement et industriellement, le Brexit n'est donc pas susceptible d'avoir un effet majeur sur les lanceurs européens.

- un système de positionnement par satellite avec Galileo, qui donnera à l'Europe une capacité indépendante de positionnement par satellite et dispose de capacités techniques supérieures (la précision, notamment) à ses concurrents (le GPS américain notamment) ;
- un programme de niveau mondial en matière d'observation spatiale (Copernicus et missions Sentinel) ;
- un capital humain de premier rang, grâce à la qualité de son système d'enseignement supérieur et de recherche publique.

Mais ses faiblesses sont également bien réelles, notamment :

- un investissement global (public et privé) limité dans le secteur spatial (voir encadré ci-après) ;
- La complexité de sa gouvernance, qui fait intervenir de nombreux acteurs publics et privés, et contraste singulièrement avec les autres grandes puissances spatiales ;
- L'Europe n'est pas autonome pour les vols habités et dépend, comme les États-Unis actuellement, de la Russie¹¹⁴ – contrairement à la Chine qui dispose depuis 2003 de cette capacité.

L'Europe spatiale : des résultats importants avec un budget global limité

L'Europe arrive à occuper une place de premier rang avec des dépenses qui sont globalement limitées comparées à celles des autres puissances mondiales.

L'Agence Spatiale Européenne (l'acronyme anglais ESA¹¹⁵ étant le plus utilisé) dispose d'un budget d'environ 4 à 5 milliards d'euros par an. S'ajoutent à ce budget le volet national des budgets des agences spatiales nationales, notamment française, allemande et italienne (environ 1,5 milliards cumulés). Il faut encore y ajouter les fonds publics de l'Union européenne pour des programmes spécifiques (environ 1 milliard par an, dont une partie transite par l'ESA, essentiellement pour les programmes Copernicus et Galileo) – soit un total d'environ 7,5 milliards d'euros. En comparaison, le budget annuel de l'agence spatiale américaine (NASA) est d'un peu moins de 20 milliards de dollars pour le seul spatial civil¹¹⁶. Il faut encore ajouter que l'armée américaine dépense près de 20 milliards supplémentaires pour les activités spatiales militaires.

¹¹⁴ L'ESA collabore actuellement avec la NASA sur le véhicule américain Orion servant à transporter des humains dans l'espace. Les États-Unis devraient par ailleurs dès 2018 retrouver des capacités autonomes de vol habité.

¹¹⁵ Pour « European Space Agency ».

¹¹⁶ NASA - https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/fy_2018_agency_fact_sheet.pdf

L'OCDE a calculé pour l'année 2014 le « budget spatial » par pays et par habitant (en dollars et en parité de pouvoir d'achat). Les pays européens investissent relativement peu dans ce secteur : 38 dollars pour un français, 20 dollars pour un allemand ou un italien ; soit environ deux fois moins par habitant que les russes (60 dollars), et trois à quatre fois moins que les américains (123 dollars)¹¹⁷.

Dans ce contexte, les résultats obtenus par l'Europe sont impressionnants, tout particulièrement pour les missions scientifiques (observation terrestre, sondes spatiales, télescopes spatiaux, etc.) et pour le lancement des satellites commerciaux. La question se pose de savoir comment la position européenne peut être maintenue dans un contexte en évolution rapide et face à des nations qui investissent significativement plus.

2. Les lanceurs : Ariane 6 – continuité technologique, ambitions industrielles et commerciales

Après une période d'hésitation et de débat au sein de la filière, la décision de lancer Ariane 6 s'est cristallisée en 2015 : le lanceur s'inscrit dans la continuité d'Ariane 5 **(a)**. En revanche, dans un contexte de concurrence accrue, un programme ambitieux de réorganisation de la filière et de modernisation des procédés industriels a été lancé et se poursuit actuellement **(b)**. Dans un contexte concurrentiel en évolution rapide, les projets visant à prévenir une potentielle perte de compétitivité sont pourtant laissés au second plan **(c)**.

a. Après une longue genèse, un lanceur dans la continuité d'Ariane 5

Les responsables européens ont pris conscience dès le milieu des années 2000 de la nécessité de planifier le futur d'Ariane 5. Celui-ci a des limites liées à sa conception¹¹⁸, son coût d'exploitation et un risque d'inadéquation grandissante avec

¹¹⁷ OCDE, 2014, « The space sector in 2014 and beyond » (ch. 1) in The Space Economy at a Glance 2014 http://www.oecd-ilibrary.org/economics/the-space-economy-at-a-glance-2014/the-space-sector-in-2014-and-beyond_9789264217294-5-en;jsessionid=4vvis1st1fk9.x-oecd-live-03.

¹¹⁸ Ariane 5 avait notamment été conçue pour lancer une navette spatiale européenne (baptisée Hermès), programme par la suite abandonné, comme l'ont été les projets européens visant à disposer d'une capacité à envoyer des astronautes dans l'espace.

les besoins exprimés par ses clients¹¹⁹. Ces travaux ont été menés dans un premier temps par les agences européennes française, allemande et italienne, puis en y associant l'ESA.

La réflexion menée et les recommandations structurantes ont été synthétisées dans un rapport de mai 2009, « L'enjeu d'une politique européenne de lanceurs : Assurer durablement à l'Europe un accès autonome à l'espace »¹²⁰, co-rédigé par le président du centre national d'études spatiales (CNES), le délégué général pour l'armement (DGA, ministère de la défense) et l'administrateur général du commissariat à l'énergie atomique (CEA). Le rapport, sollicité par le Premier ministre de l'époque, a défini les objectifs généraux du successeur d'Ariane 5 : doter l'Europe d'un lanceur de souveraineté (maîtrise technologique et industrielle), en s'appuyant marginalement sur le marché commercial pour étaler une partie des coûts fixes¹²¹.

Les jugements rétrospectifs sont toujours aisés mais il est néanmoins intéressant de noter l'approche technologique retenue à l'époque concernant le nouveau lanceur : « (...) *Aucune configuration technique précise n'avait été identifiée comme devant être privilégiée ; un consensus fut néanmoins réuni sur le fait qu'à cet horizon [2020], les technologies de "lanceurs réutilisables" ne seraient pas mûres et qu'il convenait en conséquence de privilégier des études de "lanceurs consommables"* »¹²².

Après plusieurs années de réflexion et de désaccord franco-allemand¹²³, la décision de développer un nouveau lanceur a été favorisée par deux tendances lourdes. D'une part, l'évolution des satellites eux-mêmes rendait Ariane 5 de plus en plus obsolète, du fait de coûts élevés et d'un manque de flexibilité¹²⁴, déplaçant en outre les missions institutionnelles européennes vers d'autres lanceurs¹²⁵ ; d'autre part,

¹¹⁹ Notamment, l'inadéquation de la technique de lancements doubles en orbite géostationnaires, et l'absence de moteur rallumable pour le second étage.

¹²⁰ Bernard Bigot, Yannick d'Escatha et Lauren Collet-Billon, 2009, « L'enjeu d'une politique européenne de lanceurs : Assurer durablement à l'Europe un accès autonome à l'espace » <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/var/storage/rapports-publics/094000223.pdf>.

¹²¹ À noter qu'Ariane 5 est aujourd'hui utilisée principalement pour effectuer des lancements commerciaux. On est donc déjà éloigné du scénario « institutionnel dynamique » et l'Europe a actuellement, plus que les autres puissances spatiales, besoin des lancements commerciaux.

¹²² Bernard Bigot, Yannick d'Escatha et Laurent Collet-Billon, 2009, « L'enjeu d'une politique européenne de lanceurs : Assurer durablement à l'Europe un accès autonome à l'espace », p. 25. <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/var/storage/rapports-publics/094000223.pdf>

¹²³ On peut aussi noter les désaccords sur la part devant être financée par les industriels parties au projet.

¹²⁴ Par exemple du fait de l'absence d'un moteur rallumable pour le second étage. Cela prive le lanceur de la capacité de placer des satellites à des orbites distinctes.

¹²⁵ Y compris des lanceurs non-européens tels que le lanceur russe Soyuz.

la concurrence accrue sur le marché des lancements et la pression à la baisse sur les prix rendaient Ariane 5 trop onéreuse. Cette décision a donné lieu à des débats intéressants¹²⁶.

Dans ce contexte, l'ESA a finalement décidé, d'abord en 2012 puis en décembre 2014, de développer un nouveau lanceur appelé à remplacer Ariane 5 à l'horizon 2020, après une période de coexistence. Ariane 6 sera disponible en deux versions pour remplir des profils de mission variés : une version dite « 62 » avec deux propulseurs d'appoint à poudre (« solid rocket boosters ») destinée initialement aux lancements institutionnels ; et une version « 64 » avec quatre propulseurs d'appoint destinée plutôt au marché commercial.

Le choix a été fait de développer Ariane 6 dans la continuité technologique d'Ariane 5, en intégrant un certain nombre de nouveaux éléments¹²⁷. Le choix technologique est aussi le fruit de plusieurs éléments structurants, notamment :

- un compromis politique entre la France, qui souhaitait un nouveau lanceur, et l'Allemagne qui privilégiait initialement une simple évolution d'Ariane 5. On peut imaginer que ce compromis n'a pas été favorable à une prise de risque technologique majeure, d'autant plus que la France a pu sembler dans un premier temps vouloir imposer ses choix techniques et industriels¹²⁸ ;
- un choix stratégique de ne pas retenir la réutilisabilité en dépit des évolutions en cours de l'autre côté de l'Atlantique. Plusieurs nouveaux arguments ont été mis en avant par les responsables européens, qui ont souligné dans un premier temps la difficulté technique, puis l'incertitude concernant les coûts réels de remise en état de vol, puis désormais principalement le nombre insuffisant de lancements permettant de justifier le recours à cette méthode (voir ci-dessus, partie II).

Lorsqu'il a été fait en 2014-2015, le choix pouvait sembler cohérent : la stratégie retenue était proche de celle des principaux concurrents « traditionnels »¹²⁹.

¹²⁶ Voir par exemple la note de l'IFRI : « Ariane 6 : les défis de l'accès à l'espace en Europe », de Guilhem Penent https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/actuelles_guilhem_12_nov_14.pdf

¹²⁷ Avec un lanceur non-réutilisable utilisant notamment des « boosters » à propulsion solide fournissant environ 90 % de la poussée initiale et un seul moteur Vulcain pour le premier étage. La principale nouveauté est le nouveau moteur Vinci pour le second étage, dont la capacité à être rallumé en vol accroîtra la flexibilité des profils de mission. Il s'appuie sur la méthode du cycle à expandeur, qui a une meilleure performance et est plus simple que d'autres méthodes.

¹²⁸ Voir, pour plus de détails sur les compromis politiques entre États, la communication de la commission des affaires européennes en date du 4 novembre 2014 : http://www.assemblee-nationale.fr/14/europe/communications/Comm_politique_spatiale_europeenne.pdf

¹²⁹ Par exemple, le concurrent américain United Launch Alliance (une joint-venture entre Lockheed et Boeing) a fait un choix technologique similaire avec son projet de lanceur Vulcan.

Elle s'appuyait sur des analyses réalisées (mais non rendues publiques) sur les conditions à réunir pour tirer avantage de la réutilisabilité : celles-ci semblaient conclure à un bilan trop risqué. Peut-être ce choix sous-estimait-il aussi la capacité d'opérateurs tels que SpaceX à développer les moyens technologiques requis et à les commercialiser avec succès.

Sur la base de cette décision, l'ESA et ArianeGroup ont signé en août 2015 puis en novembre 2016 un contrat d'une valeur totale de 2,4 milliards d'euros pour le développement d'Ariane 6. L'objectif est d'effectuer un premier tir dès 2020 et d'obtenir des coûts de lancement compétitifs par rapport aux principaux concurrents, dont SpaceX. Le coût total estimé est de 3 milliards d'euros, dont 600 millions pour la construction d'un nouvel ensemble de lancement sur la base de Kourou (centre spatial guyanais ou CSG), confiée au CNES¹³⁰. Pour la première fois en Europe, les industriels participant au projet ont pris l'engagement d'investir environ 400 millions d'euros.

S'agissant des prix de lancement, il est prévu de diviser par deux environ les prix d'Ariane 5, estimé à approximativement 160 millions d'euros en moyenne par lancement, subventions comprises¹³¹. Les objectifs affichés en 2014 sont d'environ :

- 70 millions d'euros pour Ariane 62 aux « conditions économiques » 2014 – soit environ 78 millions d'euros en prix 2017, compte tenu notamment de l'inflation¹³² ;
- 100 millions d'euros pour Ariane 64 (la version plus puissante) – et aujourd'hui environ 130 millions d'euros en prix 2017, selon des informations rapportées par la presse¹³³.

¹³⁰ Le coût de développement de la fusée Falcon 9 (hors réutilisabilité mais en comptant la capsule Dragon) n'est pas connu avec précision. Il a été estimé à environ un milliard de dollars.

¹³¹ Tristan Vey, 28 janvier 2016, « Ariane 6 sera fabriquée à l'horizontale » Le Figaro <http://www.lefigaro.fr/sciences/2016/01/28/01008-20160128ARTFIG00292-ariane-6-sera-fabriquee-a-l-horizontale.php>

¹³² Peter B. de Selding, 23 juin 2017, « Squaring the circle: Europe wants launcher autonomy and low launch prices » Space Intel Report <https://www.spaceintelreport.com/squaring-circle-europe-wants-launcher-autonomy-low-launch-prices/>.

¹³³ Stefan Barends, 28 novembre 2017, « Les vrais chiffres de la compétitivité d'Ariane 6 » Aerospatium <https://www.aerospatium.info/vrais-chiffres-de-la-competitivite-ariane-6/>.
L'article précise que « Il [s'agit] alors bien de prix et non de coûts, valables pour la période de transition jusqu'au retrait d'Ariane 5, prévu au début de 2023. Durant cette période, Arianespace exploitera conjointement Ariane 5 et Ariane 6, tous deux avec une cadence réduite et donc sans bénéficier des avantages d'une forte cadence sur aucun des deux. En période de croisière, avec une cadence de onze vols par an en moyenne, ces chiffres devraient être significativement inférieurs. »

Même si la comparaison des prix de lancement réels est un exercice difficile compte tenu du peu de transparence et des subventions, on peut constater que les prix annoncés sont comparables aux prix « catalogue » actuels de SpaceX pour Falcon 9 et Falcon Heavy. Ces prix n'intègrent cependant pas encore l'effet attendu de la réutilisabilité, récemment maîtrisée par SpaceX et dont l'effet sur les prix ne devrait se faire sentir qu'à l'horizon 2020 (voir sur ce point *supra*, II. 2).

On peut enfin noter que sur le créneau des lanceurs légers (dont la charge utile en orbite est plus légère qu'Ariane 6 ou Falcon 9), les Européens (Italie en tête, avec la société Avio) ont fait un choix proche de celui d'Ariane 6. Il a ainsi été décidé l'amélioration du lanceur Vega (opérationnel depuis 2012). Vega C, plus puissante que Vega, devra elle aussi être opérationnelle en 2019. Elle non plus n'est pas réutilisable, avec une utilisation extensive des « boosters » à poudre¹³⁴. Comme pour Ariane 6, Vega C devra affronter la concurrence de nouveaux acteurs (ce qui pourrait faire l'objet d'une analyse distincte).

La nouvelle famille de lanceurs européens arrivera en outre sur un marché particulièrement encombré avec plusieurs nouveaux lanceurs, notamment : la fusée Falcon Heavy (concurrente directe d'Ariane 64), la H3 japonaise, la fusée Vulcan de l'américain ULA, un nouveau lanceur de l'américain Orbital ATK, la fusée Soyouz 5 du russe Roscosmos, ainsi que le lanceur New Glenn de Blue Origin.

b. Un effort ambitieux de réorganisation de la filière et des processus industriels

Afin de réduire les coûts, le lancement du programme Ariane 6 s'est doublé d'une **réorganisation importante de la filière et des méthodes.**

S'agissant de la filière, les rôles sont clarifiés et concentrés au sein de l'industrie :

- Pour le développement et la production, Airbus (ex-EADS) et Safran (Herakles et de SNECMA) ont créé en 2015 une *joint-venture* (à égalité) dénommée Airbus Safran Launchers (ASL), renommée **ArianeGroup** à partir de juillet 2017. L'ensemble, qui emploie environ 9 000 salariés dans onze filiales, assurera la majeure partie de la production et de l'assemblage du nouveau lanceur. Son chiffre d'affaires est d'environ 3 milliards d'euros annuels, soit une part relativement faible du chiffre d'affaires et des emplois de ses deux actionnaires ;

¹³⁴ Un « booster » commun aux deux lanceurs (P120) est développé, afin de rationaliser le processus de développement et de production et baisser les coûts.

- Pour assurer la commercialisation et les services liés au lancement d'Ariane 6 (ainsi que de Soyouz et Vega), **Arianespace** devient une filiale d'ArianeGroup. Le **CNES** a vendu sa participation mais conserve un rôle majeur, notamment pour la gestion de la base de Kourou (CSG).

Il faut en outre souligner que l'activité d'ArianeGroup ne se limite pas aux lanceurs civils puisqu'une part significative de son chiffre d'affaires provient du programme M51 de missile balistique à propulsion solide, qui constitue le cœur de la dissuasion nucléaire océanique française. Ariane 5, Ariane 6 et le programme M51 ont donc en commun de reposer sur une propulsion solide utilisant du perchlorate d'ammonium comme produit de propulsion (« propergol »). Cette caractéristique n'est pas pour rien dans le choix final de l'architecture d'Ariane 6 : pour fournir l'essentiel de la poussée des lancements, le lanceur utilise en effet la propulsion solide. Or ce type de propulsion ne permet pas, en l'état actuel des technologies, de recourir à la réutilisabilité.

Concernant les méthodes, l'assemblage horizontal, inspiré d'autres industries et de concurrents russes et américains, remplace l'assemblage vertical. Un important effort de modernisation des usines est mené pour développer notamment le recours à l'impression 3D, la linéarisation des processus industriels, etc.

Cet effort pour accroître le rôle ainsi que les responsabilités des industriels, et pour optimiser l'outil industriel, est encore en cours de réalisation : il explique pour une large part la baisse importante des prix proposés pour les lancements d'Ariane 6 par rapport à Ariane 5.

c. Des initiatives pour maîtriser la réutilisabilité qui restent sous-financées et aux ambitions limitées en comparaison des concurrents américains et chinois

Les risques associés aux évolutions en cours et le scénario d'une compétitivité insuffisante (voir sur ce point III.5 ci-dessous) ont été identifiés et plusieurs alternatives sont étudiées au sein du secteur pour disposer, sinon d'une alternative

à court-terme, au moins d'une capacité à améliorer l'architecture d'Ariane 6, voire à basculer vers la réutilisabilité des lanceurs¹³⁵.

Ce « plan B » européen s'articule, en l'état, autour de deux axes : d'une part, identifier puis maîtriser le concept de la réutilisabilité ; d'autre part, développer un nouveau moteur pour propulser les lanceurs qui soit à la fois compétitif, réutilisable, rallumable et suffisamment puissant. L'horizon affiché est de pouvoir faire évoluer Ariane 6, puis de disposer d'un successeur réutilisable à l'horizon 2030.

La question qui se pose dans ce contexte est de savoir si ce « plan B » est suffisamment financé et ambitieux pour limiter le risque d'un déclassement.

(i) Les efforts de développement des concepts de réutilisabilité : un sous-financement et une dispersion des efforts

Dans l'ombre d'Ariane 6, plusieurs acteurs de l'Europe spatiale ont entamé une réflexion sur le développement d'un lanceur réutilisable. Outre l'enjeu des moteurs (voir ci-après), une coopération a par exemple été engagée en octobre 2015 entre le CNES et l'ONERA¹³⁶ (centre français de recherche en aérospatiale¹³⁷), concentrée sur la récupération du premier étage des lanceurs¹³⁸.

Par ailleurs, plusieurs projets émanant des industriels et des agences spatiales ont été lancés. On se limitera ci-après à une description sommaire des principaux projets¹³⁹.

¹³⁵ Par exemple, lors d'une réunion ministérielle à Lucerne en décembre 2016, l'ESA elle-même, tout en réaffirmant la nécessité de mener le programme Ariane 6, a ajusté sa position comme le montre la résolution adoptée à l'issue de la réunion. Dans une formulation alambiquée et pesée au trébuchet des équilibres politiques, la résolution adoptée indique que « l'agence prendra des mesures pour préparer, en coordination avec l'industrie et tous les États participants, l'évolution et le développement de technologies et de composants requis pour les futures générations de lanceurs, de manière à ce que des technologies maîtrisées, qui devront apporter des avantages en termes de coûts, puissent être intégrées à des lanceurs opérationnels avec un risque minimal et que la transition d'une génération de lanceur à une autre soit soigneusement menée ». http://esamultimedia.esa.int/docs/corporate/For_Public_Release_CM-16_Resolutions_and_Decisions.pdf

¹³⁶ L'ONERA lui-même pointe dans son plan stratégique 2015-2025 que « L'heure est maintenant à la construction d'une exploitation durable et multiple de l'Espace dans un contexte nécessairement international. Les principales ruptures concernent : la réutilisabilité complète ou partielle des lanceurs, les problématiques associées aux débris, l'émergence des nano et microsatellites, ainsi que la nécessité d'une meilleure connaissance de l'environnement spatial pour l'opérationnel (résilience des systèmes satellitaires, performance économique, performance environnementale). »

¹³⁷ L'Office national d'études et de recherches aérospatiales, créé en 1946, est un établissement public industriel et commercial (EPIC) employant 2000 personnes et supervisant environ 250 doctorants. Au-delà des études, il fournit des services (moyens d'essai en soufflerie, moyens de calculs, etc.).

¹³⁸ Communiqué de presse : http://www.onera.fr/sites/default/files/communiqu%C3%A9_de_presse/files/CP-02102015-Lanceurs-reutilisables-Cooperation-CNES-ONERA.pdf

¹³⁹ On ne mentionne pas ici par exemple le projet IXV de l'ESA portant sur une navette spatiale automatique, qui ne concerne pas directement les lanceurs. Pour un article sur le sujet : René Decourt, 28 juin 2017, « L'ESA voudrait privatiser son avion spatial Space Rider », *Futura Sciences*. <http://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/astronautique-esa-voudrait-privatiser-son-avion-spatial-space-rider-57148/>

(A) *Projet Adeline d'ArianeGroup : un concept créatif mais une réutilisabilité partielle*

Dès 2010, ArianeGroup a commencé à travailler sur un projet fondé sur le concept de réutilisabilité partielle, baptisé « Adeline »¹⁴⁰. Contrairement à SpaceX qui fait revenir la totalité du premier étage, ce concept est limité à la récupération de la partie basse du premier étage, qui contient notamment le moteur et l'électronique embarquée (c'est-à-dire les éléments les plus coûteux du lanceur). La partie haute, qui contient notamment les réservoirs, n'est pas concernée¹⁴¹. Le retour s'effectuerait comme un avion et en utilisant des moteurs à hélice supplémentaire pour guider l'ensemble jusqu'à une piste d'atterrissage conventionnelle pour être remis en état de vol dans un nouveau lanceur¹⁴².

ArianeGroup dispose en outre de projets concernant le second étage : l'entreprise propose ainsi de le réutiliser ensuite pour positionner des satellites apportés par un autre lanceur. Il s'agit du concept de « *space tug* » (un véhicule logistique orbital qui ferait la navette entre une orbite basse de parking et l'orbite finale visée). Ce véhicule restant en orbite, sa réutilisation serait plus aisée.

Le concept développé par ArianeGroup reste cependant à un stade peu avancé et peu de ressources y sont affectées. En tout état de cause, sa mise en œuvre nécessite *a priori* de disposer pour le premier étage d'un moteur ré-allumable et réutilisable, ce qui n'est pas le cas aujourd'hui (voir ci-après).

(B) *Projet Callisto du CNES en coopération avec l'Allemagne et le Japon : un premier pas*

Entamée en novembre 2016, cette coopération se fait dans un cadre multilatéral à l'écart de l'ESA et associant trois agences spatiales nationales – le CNES (France), l'agence DLR (Allemagne) et la JAXA (Japon).

Le projet Callisto vise à explorer un concept de réutilisabilité proche de celui développé par SpaceX et Blue Origin (mode dit « *toss back* »). Selon certaines

¹⁴⁰ Acronyme de « ADvanced Expendable Launcher with INnovative engine Economy ».

¹⁴¹ 8 juin 2015, « Airbus présente Adeline, une Ariane réutilisable pour contrer SpaceX » L'Usine Nouvelle. <http://www.usinenouvelle.com/article/airbus-presente-adeline-une-ariane-reutilisable-pour-contrer-spacex.N333885>

¹⁴² Une telle méthode évite de se poser sur une barge en mer avec les problèmes de remise en état que pose la salinité de l'eau, voire l'impossibilité de récupérer l'étage en cas de gros temps.

sources, le véhicule de test aurait environ 10 mètres de hauteur pour un mètre de diamètre, et pourrait atteindre une altitude de 100 kilomètres, lancé depuis la base de Kourou. Il serait propulsé par un moteur à puissance modulable fourni par le Japon (entreprise IHI).

Il s'agit donc d'un concept fortement inspiré du modèle développé par SpaceX et Blue Origin. Si les informations techniques disponibles s'avèrent justes, les dimensions de ce démonstrateur sont plus proches du lanceur New Shepard de Blue Origin¹⁴³ (en termes de puissance notamment) que des lanceurs Falcon 9 ou New Glenn.

Callisto permettra notamment de tester le comportement aérodynamique d'un engin lors du retour vers la terre, et de développer le système de vol et les moyens de contrôle nécessaires au contrôle et à l'atterrissage de précision. De taille modeste, il n'est pas conçu pour maîtriser la totalité du concept mais serait une étape importante.

Son premier vol de test pourrait avoir lieu au plus tôt en 2020, ce qui paraît ambitieux au regard du calendrier des programmes comparables développés par SpaceX (Grasshopper V1.0) et Blue Origin (New Shepard). Les moyens affectés à ce programme ne sont pas connus avec précision mais semblent se limiter actuellement à une dizaine d'experts par agence spatiale, avec un budget potentiel (mais non affecté à ce jour) d'une centaine de millions d'euros¹⁴⁴. Enfin, ce projet reste pour l'instant à l'écart de l'ESA et ne dispose pas d'un soutien politique fort des pouvoirs publics.

Illustration du lanceur Callisto



Source : ©CNES/BLACKBEAR, 2017

¹⁴³ La fusée New Shepard est un lanceur réutilisable, actuellement en phase de tests. Il vise notamment des vols touristiques. Ses vols se limitent à une altitude d'environ 100 kilomètres et elle n'atteint pas l'orbite.

¹⁴⁴ Hassan Meddah, 3 juin 2016, « L'Europe et le Japon montent dans une fusée... réutilisable » L'Usine Nouvelle. <http://www.usinenouvelle.com/article/l-europe-et-le-japon-montent-dans-une-fusee-reutilisable.N394962>

(ii) Le projet de moteur réutilisable Prometheus initié par ArianeGroup et le CNES : une avancée ambitieuse mais à échéance trop lointaine

Disposer d'un moteur fiable, peu cher, réutilisable et à la poussée modulable est l'une des clefs de la réutilisabilité. À cet égard, l'Europe part de loin. En 2015, le CNES et ArianeGroup ont donc entamé le développement du moteur appelé « Prometheus ».

L'ESA a donné son accord au projet en décembre 2016 en décidant de lui allouer 80 millions d'euros (sur un budget potentiel de 200 millions). L'agence a signé un premier contrat avec ArianeGroup en juin 2017 dans le cadre d'un programme ESA incluant plusieurs partenaires industriels européens¹⁴⁵. Plus récemment, le CNES et ArianeGroup ont signé un accord de coopération pour le développement du moteur¹⁴⁶. Néanmoins, le projet est principalement porté par la France et l'Allemagne.

L'objectif mis en avant par ses promoteurs concerne au premier chef les coûts puisqu'il s'agit de baisser les coûts de production à un million d'euros par moteur, contre 10 millions pour le moteur Vulcain modernisé qui sera utilisé par Ariane 6. Une telle baisse des coûts serait obtenue notamment par un design simplifié et une méthode de fabrication utilisant les dernières avancées technologiques, notamment l'utilisation de l'impression 3D.

La principale particularité de ce moteur est de reposer sur un carburant différent de celui utilisé par les moteurs actuels (qui utilisent généralement de l'hydrogène liquide ou un kérosène spécial) : le méthane (sous sa forme liquéfiée par refroidissement et compression), mélangé avec de l'oxygène lui aussi liquéfié. Ce mélange novateur a en effet, en dépit d'une performance un peu plus faible, plusieurs avantages en termes de simplicité, de coûts et réutilisabilité du moteur¹⁴⁷. A plus long terme, on peut noter (même si ce n'est pas la stratégie européenne actuelle) que l'utilisation du méthane ouvre la possibilité de produire, directement sur Mars, l'oxygène et le méthane nécessaires à partir du dioxyde de carbone de l'atmosphère martienne :

¹⁴⁵ L'italien Avio, le suédois GKN, le belge Safran AeroBoosterSource et l'agence spatiale allemande DLR qui fournira un site de tests : Caleb Henry, 22 juin 2017, « ESA kickstarts Prometheus reusable engine with first funding tranche » spacenews

<http://spacenews.com/esa-kickstarts-prometheus-reusable-engine-with-first-funding-tranche/>

¹⁴⁶ Le 15 septembre 2017 :

<https://presse.cnes.fr/fr/le-cnes-et-arianegroup-renforcent-leur-cooperation-dans-le-secteur-des-lanceurs>.

¹⁴⁷ Marcin Wolny, 7 février 2017, « Prometheus, ASL's future rocket engine » tech for space

<https://www.techforspace.com/european-space-sector/prometheus-asls-future-rocket-engine/>

il serait alors possible de produire sur place les ergols (comburant et carburant) nécessaires au départ depuis Mars¹⁴⁸, notamment pour de futures missions habitées : c'est l'une des raisons pour lesquelles SpaceX a retenu cette configuration pour son moteur Raptor (*cf. infra*).

Illustration du moteur Prometheus



Source : ©CNES/BLACKBEAR, 2017

Prometheus pourrait donc servir deux objectifs distincts : fournir un moteur moins cher pour une évolution d'Ariane 6 (désignée « Ariane 6 Neo ») ; et un objectif plus ambitieux de lanceur au moins partiellement réutilisable (« Ariane Next »)¹⁴⁹.

57

Toutefois, là encore, les limites du projet sous sa forme actuelle doivent être soulignées :

- la poussée estimée du moteur (proche de celle du moteur actuel Vulcain ou du moteur Merlin de SpaceX) nécessitera de **développer la capacité de faire voler un lanceur avec plusieurs moteurs en « grappe »** d'au moins 7 à 9 moteurs, dont l'Europe ne dispose plus depuis l'arrêt d'Ariane 4 en février 2003¹⁵⁰. Il n'y a pas là d'obstacle insurmontable, mais des efforts supplémentaires à fournir par rapport au savoir-faire européen actuel ;
- **la capacité de moduler en vol la poussée du moteur n'est à ce jour pas publiquement confirmée.** Or, cette capacité est centrale, dans le mode « *toss back* », pour faire revenir le premier étage au sol à la verticale (afin de moduler la poussée du moteur pour assurer un atterrissage contrôlé et sans endommager l'ensemble). Elle requiert une excellente maîtrise de tous les processus se déroulant

¹⁴⁸ En utilisant la réaction chimique dite de Sabatier. Il s'agit de faire réaction du dihydrogène (apporté depuis la terre) et du dioxyde de carbone, en utilisant des températures et des pressions élevées et un catalyseur de nickel. Il en résulte du méthane et de l'eau. L'eau est ensuite électrolysée pour obtenir de l'oxygène.

¹⁴⁹ Voir le rapport Fioraso précité.

¹⁵⁰ Ariane 4 utilisait plusieurs moteurs à propulsion liquide, mais Ariane 5 et Ariane 6 un seul.

à l'intérieur du moteur, et notamment des processus d'injection des fluides avant leur combustion¹⁵¹ et du refroidissement du moteur ;

- **le calendrier actuel ne permet pas d'espérer un moteur opérationnel avant le milieu de la décennie 2020**, ce qui signifie qu'aucun lanceur réutilisable européen – si un tel projet était lancé – ne pourrait être testé en vol avant cette date, faute de disposer d'un moteur adéquat. Une comparaison avec les principaux compétiteurs développant des projets similaires (voir ci-dessous) montre qu'en réalité **l'Europe ne prend pas d'avance pour les moteurs réutilisables : elle a en fait déjà plusieurs années (trois à cinq ans au moins) de retard.**

Caractéristiques et état d'avancement des programmes de moteurs réutilisables fonctionnant avec du méthane liquide

Nom	Société	Poussée estimée (puissance)	État du développement
Raptor ¹⁵³	SpaceX	1700 kN ¹⁵⁴	<ul style="list-style-type: none"> • Commencé en 2012-2013 • Tests initiaux en cours • Première mise à feu en septembre 2016¹⁵⁵ • Équiper la « BFR » prévue pour 2022 au plus tôt
BE-4 ¹⁵⁶	Blue Origin	2400 kN	<ul style="list-style-type: none"> • Commencé en 2011 • Test initiaux en cours • Première mise à feu en octobre 2017¹⁵⁷ • Équiper la New Glenn prévue pour 2020-2021
Prometheus	ArianeGroup et d'autres industriels	1000 kN	<ul style="list-style-type: none"> • Commencé en 2015 • Tests initiaux (première mise à feu) prévus en 2020 • Lanceur non annoncé
Pas de nom officiel connu ¹⁵⁸	China Aerospace Science and Technology Corp ¹⁵⁹	600 kN (?)	<ul style="list-style-type: none"> • Un premier test aurait été réalisé en 2013¹⁶⁰ • Lanceur non annoncé

¹⁵¹ Par exemple, un contrôle insuffisant de la valve de poussée (« throttle valve ») a causé la perte à l'atterrissage du Falcon 9 lors de la mission CRS-6.

¹⁵² Les informations contenues dans ce tableau proviennent d'articles parus sur internet. Elles sont données à titre indicatif et peuvent s'avérer inexactes.

¹⁵³ Le moteur Raptor est destiné au lanceur interplanétaire développé par SpaceX (projet « BFR » annoncé officiellement en septembre 2016).

¹⁵⁴ Selon les informations publiées par SpaceX en septembre 2017.

¹⁵⁵ À la date de la présente note, SpaceX a déjà réalisé plusieurs tests sur banc d'essai avec une version réduite du moteur. Le moteur a bénéficié d'un soutien à hauteur d'environ 100 millions de dollars de l'armée de l'air américaine.

¹⁵⁶ Le moteur BE-4 doit équiper le lanceur « New Glen » développé par Origin, ainsi que le lanceur Vulcan développé par ULA. À la date du présent rapport, Blue Origin a déjà réalisé un test sur banc d'essai avec un premier prototype, sans utiliser la pleine puissance du moteur.

¹⁵⁷ Jackie Wattles, 19 octobre 2017, « Jeff Bezos's Blue Origin test fires game changing rocket engine » CNN. <http://money.cnn.com/2017/10/19/technology/future/blue-origin-be-4-engine/index.html>.

¹⁵⁸ Bradley Perrett, 7 novembre 2016, « CASC aims for reusability with methane-fuel rocket engine » Aerospace Daily <http://aviationweek.com/zhuhai-2016/casc-aims-reusability-methane-fuel-rocket-engine>

¹⁵⁹ L'entreprise publique chinoise est le principal industriel impliqué dans la production de la famille de lanceurs Longue Marche.

¹⁶⁰ Bradley Perrett, 7 novembre 2016, « CASC aims for reusability with methane-fuel rocket engine » Aerospace Daily <http://aviationweek.com/zhuhai-2016/casc-aims-reusability-methane-fuel-rocket-engine..>

Les divers projets restent donc à un stade d'avancement limité et disposent de peu de moyens. Les efforts déployés à ce jour traduisent en outre l'absence de stratégie globale de l'Europe spatiale pour disposer rapidement d'un lanceur réutilisable : d'une part, le concept retenu n'est pas arrêté ; d'autre part, les acteurs impliqués travaillent de manière relativement isolée, sans coordination forte entre l'ESA, les gouvernements, les agences nationales et les industriels. Seul le programme Prometheus semble avoir le stade d'un début de développement coordonné, mais vise un horizon lointain et n'a qu'un budget limité, traduisant un retard important par rapport aux concurrents américains et, possiblement, chinois.

3. Une gouvernance publique européenne encore largement intergouvernementale et insuffisamment favorable au développement du secteur privé

En comparaison des principales puissances spatiales, la politique spatiale européenne se traduit par :

- une gouvernance publique largement intergouvernementale, l'Union européenne n'assumant qu'un rôle secondaire dans les décisions clefs pour le secteur **(a)** ;
- un soutien relativement faible aux opérateurs privés. Alors même que son investissement global dans le domaine spatial est limité, le secteur public ne fournit que peu de lancements et ne donne pas systématiquement la priorité aux lanceurs européens pour ces derniers, contrairement aux autres puissances spatiales **(b)**.

a. Une gouvernance publique encore largement intergouvernementale et éclatée entre niveau communautaire, intergouvernemental et national

(i) Une construction historiquement intergouvernementale autour de l'ESA

Historiquement, la France a été le premier pays européen à développer un programme spatial civil ambitieux, en s'appuyant initialement comme l'URSS et les Etats-Unis sur les avancées considérables réalisées par l'Allemagne durant la guerre (programme militaire V2 dirigé par Werhner Von Braun, devenu ensuite le principal architecte du programme spatial américain). Ces efforts ont permis à la France d'être le troisième pays à disposer d'un accès à l'espace, dès 1965¹⁶¹. L'Allemagne, le

¹⁶¹ Avec le lancement du satellite Astérix par la fusée Véronique, depuis le sud de l'Algérie.

Royaume-Uni et l'Italie ont ensuite développé leur propre programme spatial civil, les conduisant à se doter comme la France d'agences spatiales nationales et de budgets dédiés.

Les efforts de coordination européens se sont fait historiquement sur une base intergouvernementale, qui reste aujourd'hui centrale dans la gouvernance européenne. Ils ont commencé dès la fin des années 1950 et durant les années 1960, mais se sont réellement concrétisés avec la création en 1975 d'une organisation internationale, l'ESA¹⁶². L'agence, organisation intergouvernementale basée à Paris et distincte de l'Union européenne, regroupe vingt-quatre États, dont des États non membres de l'Union européenne (Suisse et Norvège). Elle dispose d'un budget qui a atteint près de 6 milliards d'euros en 2016 (contre environ 20 milliards de dollars pour la NASA) : la France¹⁶³ et l'Allemagne sont en 2017 les principaux États membres contributeurs (22,7 %), devant l'Italie (14,6 %) et le Royaume-Uni (7,9 %). L'ESA gère le système GPS Galileo conjointement avec l'Union européenne (voir ci-après), ainsi que de nombreux programmes scientifiques et des programmes optionnels¹⁶⁴ de télécommunication et d'observation de la terre. Elle s'occupe également des activités de vols habités en recrutant et en entraînant des astronautes issus des divers États-membres de l'organisation, ainsi qu'en contribuant à la station spatiale internationale – mais sans disposer toutefois de la capacité à placer des humaines en orbite.

Fruit d'un compromis politique, l'ESA fonctionne pour ses dépenses selon le modèle du « retour géographique » : elle doit donc investir, dans chaque État membre, un montant équivalant à la contribution de ce pays sous forme de contrats attribués à son industrie ou à ses centres de recherche. Cette règle, qui constitue un important facteur pour que les États investissent dans les programmes spatiaux, est cependant régulièrement critiquée en raison du manque d'efficacité qu'elle induit pour le développement des programmes (y compris pour les lanceurs). Elle gagnerait certainement à être simplifiée dans le cadre d'une refonte de la gouvernance spatiale européenne.

D'autres organisation intergouvernementales liées au secteur spatial ont été créées, telles qu'EUMETSAT (organisation européenne pour l'exploitation des satellites

¹⁶² Convention portant création d'une Agence spatiale européenne (ESA) conclue à Paris le 30 mai 1975.

¹⁶³ Si l'on s'en tient aux seules capacités de lancement, la France finance à elle seule au moins la moitié des coûts.

¹⁶⁴ Programmes pour lesquels chaque pays est libre de décider de sa participation et de sa contribution financière.

météorologiques)¹⁶⁵, créée en 1983 et basée à Darmstadt (Allemagne). EUMETSAT fédère trente États-membres européens (dont vingt-six des vingt-huit membres de l'UE, ainsi que la Suisse et la Turquie) et est notamment en charge de disposer de satellites permettant d'observer les phénomènes météorologiques et d'étudier le changement climatique.

(ii) Un niveau communautaire créé essentiellement pour financer des projets spatiaux spécifiques, sans responsabilités politiques claires

À ce niveau intergouvernemental est venu s'ajouter ultérieurement un étage communautaire au fur et mesure de la construction européenne. Les premières initiatives significatives dans ce domaine ont été lancées avec la volonté européenne de disposer d'un système de positionnement global par satellites (équivalent du GPS américain), qui est en cours de déploiement (voir *infra*).

L'Union européenne peine encore à assumer et à soutenir pleinement une politique de souveraineté spatiale, y compris dans le domaine des lanceurs. Pourtant, la politique spatiale figure désormais dans le traité sur le fonctionnement de l'UE (article 189) et se décide selon la procédure législative ordinaire (c'est-à-dire à la majorité et non à l'unanimité). Ce n'est ainsi par exemple qu'en octobre 2016 que la Commission a adopté une stratégie européenne spatiale¹⁶⁶, dans laquelle elle mentionne notamment l'importance d'un accès autonome à l'espace et rappelle le choix des lanceurs européens pour ses principaux programmes.

Les questions spatiales sont faiblement institutionnalisées au sein des organes de l'Union :

- Au Parlement européen, il n'existe pas de commission permanente consacrée à l'espace, même si ces questions sont portées par l'intergroupe Ciel et Espace, qui regroupe de manière informelle des eurodéputés spécialistes des questions aéronautiques et spatiales.

¹⁶⁵ EUMETSAT acronyme anglais pour « *European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites* ».

¹⁶⁶ Voir le communiqué de presse de la Commission et la communication de la Commission en date du 26 octobre 2016 : http://europa.eu/rapid/press-release_AC-16-3888_fr.htm

Une première communication de 2011 restait très générale :

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/fr/TXT/?uri=CELEX%3A52011DC0152>

Il faut citer ici la résolution du Parlement en date du 12 septembre 2017 portant « *sur une stratégie spatiale pour l'Europe* »¹⁶⁷. Celle-ci appelle à un plus grand engagement (y compris financier) de l'Europe dans le domaine spatial, précisant que « *le prochain budget de l'Union devrait prévoir, dans le cadre de la prochaine révision du CFP, une augmentation du budget consacré au domaine spatial afin d'offrir un soutien à l'ensemble de la chaîne de valeur* ». Le Parlement insiste sur la nécessité de réformer la gouvernance spatiale en « *[invitant] la Commission à étudier, en coopération avec l'ESA, les différents moyens permettant de simplifier le paysage compliqué de la gouvernance spatiale européenne, en améliorant la répartition des responsabilités dans l'intérêt d'une plus grande efficacité et d'un meilleur rapport coût-efficacité* ». Enfin, la résolution « *constate qu'il n'y a pas de visibilité quant à la poursuite du programme de lanceurs en Europe au-delà de trois à quatre années (Ariane 6 et Vega C), ni sur la situation financière de ce programme ; s'inquiète de l'absence de tout programme de lancement à moyen et long-terme ; appelle instamment la Commission à formuler une proposition de programme de travail relative aux lanceurs en Europe pour les vingt prochaines années* ».

- Au sein du Conseil, il existe depuis 2010 un groupe « Espace », chargé « *d'aider le Comité des représentants permanents à préparer les travaux du Conseil dans le domaine de la politique spatiale européenne* » – des représentants de l'ESA peuvent y être invités¹⁶⁸.
- Au niveau de la Commission européenne, il n'existe pas à ce jour de commissaire ou de direction en charge spécifiquement des activités spatiales. Les compétences exercées par l'Europe sont gérées par la direction générale « marché intérieure, industrie, entrepreneuriat et PME » (dite « DG GROW ») et la commissaire Elżbieta Bieńkowska¹⁶⁹.

À l'heure actuelle, la fonction principale de la Commission européenne consiste à coordonner la gestion des trois projets spatiaux phare menés à l'initiative de

¹⁶⁷ Constanze Krehl, 5 juillet 2017, « Rapport sur une stratégie spatiale pour l'Europe », Commission de l'industrie, de la recherche et de l'énergie 2016/2325(INI)
<http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+REPORT+A8-2017-0250+0+DOC+XML+VO//FR>.

¹⁶⁸ Décision du Comité des représentants permanents (1ère partie) portant création d'un groupe «Espace», prise le 24 octobre 2010.

¹⁶⁹ Les activités d'observation terrestre, y compris pour la gestion de crise, font l'objet d'une coordination par le Centre satellitaire de l'Union européenne (CSUE) qui appuie la politique de sécurité et de défense commune (PSDC) :
https://europa.eu/european-union/about-eu/agencies/satcen_fr.

l'Union. Ceux-ci se concentrent sur le versant « terrestre » des activités spatiales (par opposition aux activités tournées vers l'espace lui-même) :

- Galileo, un système de positionnement par satellites (trente satellites à terme) lancé en 2003. Il est en cours de déploiement et son coût (supporté par le budget de l'Union européenne) est estimé à environ 3,5 milliards d'euros et 200 millions d'euros pour l'exploitation. La Commission s'appuie sur une agence de l'UE dédiée, la GSA (agence du GNSS européen). Il est intéressant de rappeler que les États-Unis ont initialement essayé de faire échouer la mise en œuvre de Galileo, avant finalement d'y participer¹⁷⁰ ;
- EGNOS (« European Geostationary Navigation Overlay Service »), un système au sol qui permet d'améliorer la précision et la sécurité des signaux échangés avec le système de positionnement par satellites (dont Galileo et le GPS américain) ;
- Copernicus, un programme d'observation spatiale impliquant le déploiement de six satellites baptisés « Sentinel » et l'utilisation d'équipements au sol. Le programme est doté d'un budget de 4,3 milliards d'euros sur la période 2014-2020, dont 1,7 milliards d'euros sont apportés par l'ESA.

(iii) Une coordination en construction mais complexe entre ces deux niveaux

La coordination entre niveau communautaire et intergouvernemental est encore limitée et ne concerne pas la défense. Un accord-cadre a été conclu entre la Commission européenne et l'ESA en 2004 pour mieux coordonner leurs actions respectives. Par ailleurs, les trois programmes mentionnés ci-dessus font l'objet d'une coordination avec l'ESA, ainsi que d'un financement conjoint (par exemple pour Copernicus). La Commission a cependant déjà eu l'occasion de déplorer les limites de la gouvernance publique européenne actuelle¹⁷¹. En dépit des actions mises en œuvre ces dernières années et des projets portés par la Commission, le secteur spatial ne fait pas partie des dix priorités de la Commission européenne pour 2014-2019¹⁷².

On peut enfin souligner que les activités spatiales de nature militaire ne font l'objet que de peu ou pas de coordination, chaque pays européen menant pour l'essentiel ses activités dans le seul cadre national. L'agence européenne de défense (AED)

¹⁷⁰ Voir par exemple cet article : 18 décembre 2001, « US warns against European satellite system » BBC <http://news.bbc.co.uk/1/hi/world/europe/1718125.stm>.

¹⁷¹ Voir la communication de novembre 2012 : « Instaurer des relations adéquates entre l'Union européenne et l'Agence spatiale européenne » (COM/2012/0671 final).

¹⁷² Voir : https://ec.europa.eu/commission/priorities_fr.

reste globalement peu active dans ce domaine, en dépit d'un « arrangement administratif » conclu avec l'ESA en 2011¹⁷³ et d'initiatives récentes lancées dans le cadre plus global de la politique de sécurité et de défense commune (PSDC). On peut ainsi citer l'initiative GOVSATCOM visant, dans le cadre d'une coopération entre la Commission, l'EDA et l'ESA, à développer des capacités conjointes entre États-membres et institutions européennes en termes de capacités satellitaires, avec un usage dual (civil et militaire)¹⁷⁴.

La question se pose donc, d'une part, de l'efficacité d'un système faisant intervenir des échelons nationaux, intergouvernementaux (eux-mêmes divisés en plusieurs organisations) et communautaires ; d'autre part, des ambitions portées au niveau de l'Union européenne compte tenu des évolutions en cours au niveau mondial.

(iv) Des interrogations sur le modèle européen face aux autres grandes puissances spatiales

La question est d'autant plus sérieuse qu'en comparaison, toutes les autres puissances spatiales disposent pour leurs activités civiles d'une agence nationale placée directement sous l'autorité du Gouvernement, par exemple : la NASA pour les États-Unis, la CNSA¹⁷⁵ pour la Chine, Roscosmos pour la Russie. Leurs activités spatiales en matière de défense sont également, pour des raisons évidentes, plus coordonnées.

En outre, l'Europe fait désormais face à des acteurs privés (SpaceX et Blue Origin) dont les dirigeants ont le contrôle, dont les moyens financiers s'appuient sur d'autres grandes entreprises (Tesla, Amazon, etc.), et qui développent leurs produits essentiellement en interne. Elon Musk comme Jeff Bezos ne suivent donc pas leurs actionnaires, mais le marché et leur vision. Ceci leur donne à la fois une grande flexibilité dans la prise de décision, une grande détermination et la capacité à prendre des risques.

Les États-Unis ont plus généralement accru leurs ambitions. Il n'est pas anodin que les États-Unis aient décidé de réactiver, en juin 2017, le National Space

¹⁷³ Voir par exemple : https://www.eda.europa.eu/docs/documents/factsheet/-Defence_space_final_1.

¹⁷⁴ On peut trouver des informations sur le site de l'EDA : [https://www.eda.europa.eu/what-we-do/activities/activities-search/governmental-satellite-communications-\(govsatcom\)](https://www.eda.europa.eu/what-we-do/activities/activities-search/governmental-satellite-communications-(govsatcom)) et dans sa publication annuelle : <https://www.eda.europa.eu/docs/default-source/eda-magazine/edmissue13lowresweb>

¹⁷⁵ L'Administration spatiale nationale chinoise (en chinois 国家航天局, qui peut être traduit par « Administration / Agence spatiale nationale » ; l'acronyme CNSA régulièrement utilisé vient de l'anglais « China National Space Administration »)

Council (NSC), présidé par le vice-président Mike Pence¹⁷⁶. Créé en 1958, cet organe rattaché à la présidence a joué un rôle important dans la coordination des efforts publics et privés ayant culminé dans le pied posé par Neil Armstrong sur la lune. Mis sous cocon pendant plusieurs décennies, le NSC s'est à nouveau réuni le 5 octobre 2017, associant également les principaux dirigeants industriels du secteur : le vice-président a conforté l'objectif de retourner sur la lune, en prélude à une exploration plus lointaine.

Face à cela, l'Europe spatiale repose comme on l'a vu sur un modèle très différent, hérité de la tradition de politique industrielle, qui lui a permis de connaître de grands succès. Un tel modèle est cependant intrinsèquement plus rigide, plus lent et moins favorable à la prise de risque – même s'il donne une certaine visibilité aux acteurs pour les financements. Cette organisation ne peut être changée rapidement. Cependant, pour garder l'architecture globale actuelle (prééminence de la sphère publique, organisation reposant sur un seul ensemble de plusieurs acteurs industriels et sous-traitants, etc.), l'Europe spatiale doit impérativement rendre cette structuration la plus efficace possible

b. Un soutien public européen faible comparé aux autres nations spatiales

On a déjà vu que par rapport à ses concurrents l'Europe lance à la fois peu, et principalement des satellites commerciaux. Ceci traduit la faible activité gouvernementale dans le secteur, notamment au niveau militaire – et contraste fortement avec les États-Unis, la Russie et la Chine (voir *supra*, I).

Par ailleurs, il n'existe pas aujourd'hui de marché mondial des lancements : toutes les grandes puissances spatiales (États-Unis, Russie, Chine) à l'exception de l'Europe ont mis en place une exclusivité nationale pour les lancements dits institutionnels (lancement des satellites des agences spatiales nationales ou de l'armée). En d'autres termes et s'agissant par exemple des États-Unis, les satellites et autres charges utiles financés par les pouvoirs publics américains doivent être lancés sur les lanceurs construits aux États-Unis¹⁷⁷.

¹⁷⁶ La présidence du comité par le vice-président date de la décision de John F. Kennedy de nommer son vice-président de l'époque, Lyndon Johnson.

¹⁷⁷ Ces règles sont édictées, et constamment réaffirmées, dans les règles présidentielles dénommées « politique spatiale nationale des États-Unis d'Amérique » (« *National Space Policy of the United States of America* »). Elles s'imposent à l'ensemble de l'administration fédérale.

L'Europe manque donc à cet égard fortement de cohérence.

D'un côté, les États consentent les subventions nécessaires pour disposer d'un lanceur compétitif : les aides accordées pour Ariane 6 – environ 3 à 4 milliards d'euros au total – sont certes inférieures à celles accordées par les pouvoirs publics américains, mais significatives. Les financements et garanties de la COFACE (compétence aujourd'hui transférée à Bpifrance) sont également un outil important et apprécié du secteur.

De l'autre côté, certaines agences spatiales nationales européennes et même l'ESA n'ont pas hésité à confier des contrats de lancement à la société d'Elon Musk. Or, ces concurrents disposent déjà d'une incitation essentielle à investir, sous la forme de contrats de lancement pluriannuels (ainsi les contrats de SpaceX pour ravitailler l'ISS et acheminer les astronautes), de contrats gouvernementaux bien plus nombreux qu'en Europe, ou encore contrats en échange du maintien permanent d'une capacité opérationnelle de lancement¹⁷⁸.

Cette dichotomie explique pourquoi la filière européenne réclame, à raison, de disposer de garanties des pouvoirs publics en matière de lancement, au soutien d'Ariane 6 et Vega. La France joue ici son rôle en soutenant une initiative dite « *Buy European Launchers Act* ». Toutefois, à ce jour, ces efforts continuent de rencontrer une forte résistance de certains gouvernements. L'Allemagne semble désormais soutenir la proposition¹⁷⁹, mais il faudra regarder attentivement le choix retenu pour ses lancements institutionnels, comme par exemple les nouveaux satellites militaires récemment annoncés et qui doivent être lancés en 2020¹⁸⁰.

Pour renforcer sa compétitivité, l'Europe spatiale doit donc donner de la visibilité aux acteurs dans le domaine de l'accès à l'espace, à la fois au travers d'une demande publique forte (notamment de défense) et, *a minima*, en mettant en place un mécanisme de préférence européenne qu'il convient néanmoins de définir (voir nos propositions).

¹⁷⁸ L'opérateur américain ULA (Boeing) dispose ainsi encore d'un paiement du gouvernement américain (US Air Force) d'environ 800 millions de dollars annuels, en échange de la garantie de pouvoir lancer un satellite à tout moment.

¹⁷⁹ Voir, pour un article exposant les positions des différents acteurs : Peter B. de Selding, 23 juin 2017, « Squaring the circle : Europe wants launcher autonomy and low launch price » Space Intel Report <https://www.spaceintelreport.com/squaring-circle-europe-wants-launcher-autonomy-low-launch-prices/>.

¹⁸⁰ <https://satelliteobservation.wordpress.com/2016/12/28/a-new-german-space-policy/>.

Une telle politique européenne sera cependant d'autant plus facile à mettre en place que les lanceurs proposés seront compétitifs.

4. Un investissement privé encore insuffisant pour faire émerger de nouveaux acteurs, notamment en comparaison des États-Unis

a. De nombreuses initiatives européennes

Les principaux acteurs européens (industriel de l'aérospatial, service de télécommunication par satellite) sont aujourd'hui cotés en bourse, ce qui leur donne accès à une source importante de financement. Une partie significative de ces acteurs faisait auparavant partie du secteur public, comme par exemple plusieurs des entreprises désormais fusionnées au sein d'Airbus Group.

L'Europe n'échappe pas au mouvement du *new space*. On observe de nombreuses initiatives émanant du privé, ainsi que des dispositifs publics visant à les encourager. Les *start-ups* européennes liées au secteur spatial se comptent actuellement par centaines. Le rapport sur « *Les enjeux et la prospective de la stratégie de la France dans le secteur spatial au sein de l'Europe et dans un contexte mondial* » présenté au Premier ministre en juillet 2016 et coordonné par Geneviève Fioraso (ancienne Ministre de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche) (rapport dit Fioraso)¹⁸¹ dresse un état de lieux détaillé de ces évolutions.

Les initiatives publiques et privées de soutien à ces nouvelles entreprises sont, de fait, significatives. On peut citer par exemple les éléments suivants :

- Les dix-huit incubateurs de l'ESA dénommés « *ESA Business Incubation Centers* » (ESA-BIC) permettent à des entrepreneurs de développer leur entreprise. L'ESA compte déjà 500 *start-ups* soutenues dans ce cadre à l'issue de 50 « campagnes de sélection »¹⁸². Ce service propose un soutien matériel et des conseils, notamment pour obtenir des financements auprès d'investisseurs.

¹⁸¹ Geneviève Fioraso, Vincent Dedieu et Laure Menetrier, juillet 2016, « Open Space – L'ouverture comme réponse aux défis de la filière spatiale »

<http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/164000478/index.shtml>

¹⁸² http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering_Technology/TTP2/500_new_European_companies_from_space.

- Le Luxembourg (un acteur déjà important, avec l'opérateur de satellites SES) se démarque par une politique très volontariste pour se positionner comme une place pour les activités du *new space*, y compris sur des segments très innovants. Le Luxembourg a, par exemple, déjà convaincu les deux premières entreprises (américaines) spécialisées dans l'exploration et l'exploitation des ressources spatiales (eau et minerais), Planetary Resources et Deep Space Industries, d'ouvrir une filiale. Le pays vient de se doter d'une loi, entrée en vigueur le 1^{er} août 2017, visant à donner un cadre juridique à cette activité¹⁸³. Un accord signé avec la *start-up* américaine Spire en novembre 2017 prévoit l'installation de son siège européen à Luxembourg. Enfin, un projet d'agence spatial est en préparation, sous la forme d'un partenariat public-privé avec, notamment, des fonds de capital-risque.
- Le Royaume-Uni – qui est en train de sortir de l'Union européenne – dispose d'un des tous premiers fonds d'investissement spécialisés dans le capital risque (« *venture capital* ») pour les activités spatiales, le fonds Seraphim Capital. Ce fonds basé à Londres vient de lancer un fonds de 95 millions d'euros pour réaliser de nouveaux investissements. Airbus et SES ont investi dans ce fonds¹⁸⁴. Seraphim a récemment investi, par exemple, dans la *start-up* finlandaise IcEye qui vise à fournir de l'imagerie spatiale radar (pouvant « voir » même de nuit ou par temps nuageux), principalement aux acteurs maritimes.
- Les acteurs plus installés du secteur cherchent également à se positionner dans le *new space*. Par exemple, outre ses initiatives propres (investissement et participation à la constellation Oneweb), Airbus a créé le fonds de capital-risque Airbus Ventures, qui investit dans des *start-ups* en Europe et ailleurs¹⁸⁵.

¹⁸³ La conformité d'une telle loi, comme celle adoptée par les États-Unis en 2015 (« *Spurring Private Aerospace Competitiveness and Entrepreneurship (SPACE) Act of 2015* »), avec le droit international est très controversée.

¹⁸⁴ Tereza Pultarova, 18 septembre 2017, « Seraphim launches \$95 million venture capital space fund » spacenews <http://spacenews.com/seraphim-launches-70-million-euro-venture-capital-space-fund/>.

¹⁸⁵ <http://www.airbusventures.vc/>.

b. Des financements européens pour les nouveaux acteurs en retrait par rapport aux autres grandes puissances spatiales

Des analyses et données sont en train d'être constituées sur ce sujet et font apparaître un important leadership américain et un retard relatif européen pour ce qui concerne les nouveaux entrants sur le marché :

- Un fonds d'investissement, « *Space Angels* », indique dans une étude¹⁸⁶ parue en octobre 2017 que sur 250 *start-ups* spatiales qui ont reçu un investissement privé (hors soutien public), 90 % l'ont obtenu après 2009, ce qui montre que la tendance est récente. Sur ces 250 entreprises, 170 sont américaines, 70 européennes (hors Royaume-Uni), 40 britanniques. Le total investi depuis 2009 dépasse les 12 milliards de dollars. Sur les douze derniers mois, la grande majorité (1,4 milliards¹⁸⁷) des deux milliards d'euros investis l'ont été aux États-Unis dans le secteur des lanceurs, le reste se partageant essentiellement entre les satellites (519 millions) et les services en orbite (47 millions). Le nombre de fonds d'investissement actifs dans le secteur est passé de 20 en 2014 à environ 60 en 2017. Selon l'étude, enfin, l'année 2017 est la première durant laquelle le nombre de lancements commerciaux a dépassé les lancements institutionnels, marquant ainsi une rupture par rapport aux décennies précédentes.
- Un supplément du journal *Financial Times* du 19 octobre 2017¹⁸⁸ rapporte que le total des investissements privés est passé de 534 millions de dollars en 2014 à 3,1 milliards au cours de l'année 2016. Le capital d'amorçage moyen (« *seed money* ») est passé de 500.000 dollars en 2015 à 1.6 millions en 2016¹⁸⁹. Rapportant les propos d'un dirigeant du fonds Seraphim Capital, le journal indique qu'à chaque étape du financement des entreprises, les investisseurs américains investissent typiquement des montants deux fois plus importants.
- L'édition 2017 d'un rapport annuel du cabinet de conseil spécialisé « Bryce »¹⁹⁰ indique que, de manière générale, les principales opérations de capital-risque portaient sur des entreprises américaines, y compris d'ailleurs venant

¹⁸⁶ « Space Investment Quarterly – Q3 2017 » : [https://daks2k3a4ib2z.cloudfront.net/58fd16b020114a4be0c44f64/59f8bf23c9a5280001e43d8e_Q3%202017%20-%20Space%20Investment%20Quarterly%20\(1\).pdf](https://daks2k3a4ib2z.cloudfront.net/58fd16b020114a4be0c44f64/59f8bf23c9a5280001e43d8e_Q3%202017%20-%20Space%20Investment%20Quarterly%20(1).pdf).

¹⁸⁷ Ce chiffre inclue notamment des « auto-investissements » réalisés par Jeff Bezos et Elon Musk dans leur propre entreprise.

¹⁸⁸ Supplément à l'édition du 19 octobre 2017, intitulé « *Space Mining* ».

¹⁸⁹ En incluant l'investissement de Jeff Bezos dans Blue Origin.

¹⁹⁰ Bryce space and technology, 2017, « *Start-up space - Update on Investment in Commercial Space Ventures* ». https://brycetechnology.com/downloads/Bryce_Start_Up_Space_2017.pdf.

d'investisseurs européens. De même, les premières « licornes » (entreprises non-cotées valorisées à plus d'un milliard de dollars) du spatial, ou les entreprises pressenties pour le devenir, sont exclusivement américaines (SpaceX, Rocket Lab, Planet¹⁹¹ et Oneweb).

- Des chiffres établis par l'incubateur Starbust et rapportés dans la presse indiquent que la France, bien que disposant de nombreuses *start-ups* dans l'aérospatial (comprenant donc aussi le secteur aérien) et ayant réussi à lever des fonds, n'arrive pas à canaliser suffisamment de fonds. En Europe, seule l'Allemagne semble arriver à une position correcte à l'échelle mondiale. L'incubateur a lancé un fonds de capital-risque, Starbust Ventures, pour investir notamment en France.

Pays	Montant moyen levé par <i>start-up</i> , en millions (depuis 2015)	Montant total levé en millions (depuis 2015)
États-Unis	67,2	5 460
Singapour	40,2	201
Israël	37,8	151
Allemagne	17,4	139
Chine	N.C.	122
France	2,6	55

Les raisons du retard européen sont complexes et rejoignent des constats déjà faits dans d'autres secteurs de pointe depuis une vingtaine d'années. S'agissant du secteur spatial, on peut cependant identifier quelques facteurs :

- D'abord, les plus faibles budgets publics consacrés au spatial se traduisent par un moindre dynamisme du secteur privé. Comme dans de nombreux secteurs de pointe, le secteur public est un stimulant essentiel en termes de demande finale adressée au secteur, notamment dans les premières années. Ainsi, aux États-Unis comme en Europe, le système GPS a fait l'objet d'un financement public, puis est devenu une source très importante d'activité pour le secteur privé.

¹⁹¹ Planet, basée à San Francisco, fournit des services d'imagerie spatiale et a déjà lancé plus de cent « CubeSats » de quelques kilos chacun.

- Ensuite, le fait que les États-Unis disposent de géants du numérique (les « GAFA » : Google, Apple, Facebook, Amazon¹⁹²) joue également un rôle. Ces derniers jouent un rôle moteur : entreprises relativement récentes et tournées vers les données, elles sont une source importante de partenariats, d'entrepreneurs en puissance et d'investissements¹⁹³.
- Enfin, le fait que les deux principaux nouveaux acteurs privés dans le domaine du lancement (SpaceX et Blue Origin) soient américains a certainement une influence sur le dynamisme du reste du secteur. Outre l'effet sur les coûts et l'offre de lancement, ceci fournit des exemples concrets d'investissements importants dans ce domaine.

Comme pour tout nouveau secteur, le secteur spatial est porteur de risques importants pour les investisseurs et de nombreuses *start-ups* feront faillite avant de trouver leur marché. Comme pour la bulle internet au début des années 2000, on peut cependant anticiper que, parmi les nouvelles entreprises, se trouvent les « GAFA » du spatial de demain, qui généreront des milliards d'euros de profit au travers d'applications pas même encore inventées aujourd'hui. Or, compte tenu des investissements actuels, il est à ce stade plus probable que ces prochains leaders soient américains. Au vu de l'impact qu'ont désormais les géants du numérique dans l'économie européenne actuelle, c'est un enjeu majeur et stratégique pour l'Europe.

L'influence grandissante des GAFA et les problèmes que celle-ci cause pour l'Europe (au niveau fiscal mais aussi, par exemple, pour la protection des données) montrent à quel point l'Europe a commis une lourde erreur en ratant le tournant des hautes technologies liées au numériques : huit des dix plus grosses capitalisations boursières sont actuellement des entreprises de technologies (elles comprennent les GAFA et Microsoft) et, dans le classement par capitalisation des entreprises technologiques, la première entreprise européenne, SAP, arrive à la soixantième place¹⁹⁴. Le spatial, dont l'impact à terme est certes difficile à évaluer, pourrait connaître une évolution similaire, au détriment des intérêts européens.

¹⁹² GAFA auxquels on ajoute désormais généralement un « M » pour Microsoft.

¹⁹³ Il n'est pas étonnant que Jeff Bezos, fondateur d'Amazon, soit également le fondateur de Blue Origin ; ou qu'Elon Musk ait d'abord fait fortune dans l'internet (co-fondateur du système de paiements en ligne Paypal).

¹⁹⁴ <https://www.ft.com/content/45092c5c-c872-11e7-aa33-c63fdc9b8c6c>.

c. Un scénario défavorable à l'horizon 2020

Compte tenu des évolutions en cours, et sauf à ce que des mesures énergiques soient prises, on peut élaborer un scénario défavorable d'évolution pour le secteur spatial européen. Le risque peut être appréhendé sous trois angles, en partie liés :

- ne pas disposer d'un accès suffisamment compétitif à l'espace, et les conséquences associées notamment pour l'accès autonome de l'Europe à l'espace ;
- ne pas avoir investi suffisamment dans les activités spatiales de demain, laissant les autres puissances (États-Unis et Chine en tête) faire émerger les « GAFA » du spatial ;
- ne pas disposer des moyens de défense et de sécurité spatiale nécessaires à la souveraineté européenne.

Du fait de son caractère structurant pour l'ensemble de la filière spatiale, on se concentre ici sur l'accès à l'espace. L'horizon 2020 correspond au moment où Ariane 6 entrera en phase d'exploitation. Les hypothèses sont les suivantes :

- L'élément structurant concerne le choix technologique divergent entre l'Europe (maintien du modèle consommable) et les États-Unis (qui s'orientent vers le modèle réutilisable).
- Le maintien du nombre de lancements institutionnels européens autour de 5 à 7 par an, ce qui rend indispensable la conclusion d'environ cinq contrats de lancements commerciaux.
- L'Europe ne disposera pas des briques technologiques permettant de développer des lanceurs réutilisables avant, au plus tôt, la seconde moitié de la décennie 2020, voire après 2030.

On évalue ensuite l'évolution potentielle de la compétitivité respective de l'Europe (en se limitant à Ariane 6) et du principal compétiteur actuel, SpaceX. Concrètement et pour prendre l'exemple des lancements « moyens »¹⁹⁵ (5 tonnes en orbite de transfert géostationnaire¹⁹⁶) à l'horizon 2020 :

- **Ariane 6** : on peut prendre pour hypothèse qu'Arianespace offre, en prix 2020, des prix de lancement s'inscrivant dans une fourchette comprise entre 80 millions d'euros environ pour la version Ariane 62 et environ 130 millions d'euros¹⁹⁷ pour la version lourde Ariane 64 permettant de lancer, par exemple, deux satellites lourds (soit 10 à 12 tonnes).

Le seul facteur susceptible de faire baisser les coûts substantiellement réside dans l'intégration du moteur Prometheus, lequel est conçu pour être environ dix fois moins cher à produire ;

- **Falcon 9** est commercialisée aujourd'hui à un prix catalogue de 62 millions de dollars¹⁹⁸, avec un prix effectif s'étageant entre 50 millions d'euros pour certains lancements commerciaux (y compris pour des acteurs institutionnels européens) et 100 millions d'euros pour des contrats facturés à l'armée américaine¹⁹⁹.

Le lanceur Falcon Heavy, s'il tient ses promesses, est annoncé à un prix catalogue de 90 millions de dollars, avec des performances (en termes de capacités d'emport) comparables à celles d'Ariane 64 lorsque la mission inclut le retour de l'ensemble du premier étage.

Ainsi, nonobstant la question de la réutilisabilité, SpaceX semble bénéficier d'un avantage, mais un différentiel de prix limité ne suffit pas à créer, en tant que tel, un problème sérieux de compétitivité. En effet, la compétitivité ne se limite pas

¹⁹⁵ L'analyse concernant les lancements plus lourds nécessiterait une comparaison avec le lanceur Falcon 9 Heavy, dont les trois premiers étages (communs avec celui de Falcon 9) seront réutilisables : même s'il est trop tôt pour le faire (le nouveau lanceur n'ayant pas encore volé), on peut là aussi craindre à moyen-terme des effets similaires.

¹⁹⁶ L'orbite de transfert géostationnaire est celle à partir de laquelle le satellite rejoint l'orbite géostationnaire par ses propres moyens. Ce seuil est aussi retenu car c'est à peu près la limite au-delà de laquelle SpaceX ne peut pas faire revenir le premier étage, trop de carburant étant dépensé pour la mise en orbite.

¹⁹⁷ Stefan Barensky, 28 novembre 2017, « Les vrais chiffres de la compétitivité d'Ariane 6 » Aerospatium <https://www.aerospatium.info/vrais-chiffres-de-la-competitivite-ariane-6/>.

L'article précise que « Il [s'agit] alors bien de prix et non de coûts, valables pour la période de transition jusqu'au retrait d'Ariane 5, prévu au début de 2023. Durant cette période, Arianespace exploitera conjointement Ariane 5 et Ariane 6, tous deux avec une cadence réduite et donc sans bénéficier des avantages d'une forte cadence sur aucun des deux. En période de croisière, avec une cadence de onze vols par an en moyenne, ces chiffres devraient être significativement inférieurs. »

¹⁹⁸ <http://www.spacex.com/about/capabilities>.

¹⁹⁹ Les contrats avec la NASA pour le ravitaillement de l'ISS et le transport d'astronautes sont plus chers mais impliquent des éléments supplémentaires.

aux seuls coûts et doit également prendre en compte d'autres facteurs comme la fiabilité, le service client, la disponibilité du lanceur et la réputation.

Cependant, compte tenu des progrès enregistrés par le compétiteur américain pour développer la réutilisabilité, et de son effet économique potentiel, il est nécessaire d'intégrer ce facteur pour échafauder un scénario à l'horizon 2020. Pour s'en tenir à Falcon 9, on peut prendre l'hypothèse que les coûts de lancement unitaires de Falcon 9 pourraient être abaissés à terme à cet horizon dans une fourchette de 10 à 20 millions de dollars²⁰⁰ – et en tout état de cause inférieurs aux coûts actuels. L'avantage compétitif potentiel²⁰¹ en termes de coûts est donc, dans tous les cas, favorable à SpaceX et plus largement à la réutilisabilité.

Il serait toutefois réducteur de conclure que ceci se traduira nécessairement par un différentiel de prix de même ampleur. En effet, les prix de lancement proposés par SpaceX dépendront également d'autres facteurs : les besoins de financement de SpaceX, ainsi que l'émergence de concurrents sérieux aptes à proposer des prix similaires (Blue Origin étant à ce stade le plus avancé). Plus précisément :

- **la stratégie et les objectifs de SpaceX pourraient limiter la baisse des prix proposés, afin d'accroître les marges.** L'objectif d'Elon Musk dépasse en effet largement la seule question des lanceurs, puisque ce dernier développe également d'autres produits et projets très onéreux et SpaceX a pour l'instant largement privilégié l'autofinancement. On peut donc penser que SpaceX pourrait préférer l'augmentation de ses marges plutôt que de baisser le plus possible ses prix ;
- **inversement, les prix pourraient être tirés vers le bas par une concurrence accrue ou une politique commerciale agressive,** notamment si Blue Origin devient un concurrent sérieux à compter de la mise en service de son lanceur New Glenn, prévue pour 2020 au plus tôt. Il est toutefois difficile de faire des estimations en la matière, Jeff Bezos ayant lui aussi des ambitions, et donc des besoins de financement, qui ne se limitent pas aux lanceurs. Il faut en outre tenir compte du risque que SpaceX offre, sur le lancement des satellites commerciaux et comme c'est déjà le cas aujourd'hui sur certains contrats, des prix artificiellement bas pour maintenir une cadence de lancements élevée.

En dépit des incertitudes, il existe donc un scénario crédible dans lequel, avant même son premier vol en 2020, Ariane 6 apparaîtrait comme significativement

²⁰⁰ Il n'est pas tenu compte ici de la potentielle réutilisation du second étage, qui reste aujourd'hui hypothétique.

²⁰¹ En prenant ici une hypothèse de parité euro-dollar. Une évolution défavorable (appréciation de l'euro) aurait un effet négatif substantiel et il n'existe pas de moyen évident d'en atténuer les effets en termes de compétitivité-prix.

plus chère que ses concurrentes, avec un accroissement tendanciel du différentiel les années suivantes. La suite logique serait de voir les opérateurs commerciaux réduire leurs commandes auprès d'Arianespace. De ce point de vue, l'évolution du carnet de commandes prévisionnel d'Ariane 6 d'ici à 2020 devrait assez rapidement donner une première indication du rapport de force²⁰². À la date de la présente note, les premières commandes fermes d'Ariane 6 émanent de clients institutionnels européens, ce qui rend difficile l'appréciation de son attractivité future pour des clients commerciaux²⁰³. Enfin, au titre des risques potentiels, il faut rappeler le risque de change : le marché du spatial étant libellé en dollars à l'échelle mondiale, toute appréciation de l'euro face au dollar pèserait fortement sur la compétitivité des lanceurs européens, sans moyen évident de limiter ce risque.

Ce scénario est cependant, à l'heure actuelle, loin d'être encore écrit à l'avance. On ne peut bien sûr pas exclure que SpaceX connaisse des échecs ou soit affaiblie par des déboires de son principal acteur, Elon Musk, dans le cadre de ses autres entreprises²⁰⁴ ; ni que son modèle de réutilisabilité n'apporte pas les gains escomptés d'un point de vue économique. Cependant, la question dépasse la seule rivalité avec SpaceX : la technologie fonctionne et d'autres acteurs poursuivent des buts similaires avec des moyens bien supérieurs à ceux de l'Europe actuellement. On doit citer ici Jeff Bezos de Blue Origin, qui dispose d'une assise financière très solide et paraît déterminé à développer ses projets spatiaux. En outre, même si les informations à ce sujet restent parcellaires, il faut anticiper que la Chine aille dans la même direction.

Au-delà de l'horizon 2020, si le scénario défavorable d'une perte de compétitivité devait se matérialiser, on peut envisager plusieurs sous-scénarios pour la décennie :

i. Maintien d'un lanceur de souveraineté limité aux lancements institutionnels. Ne parvenant pas à remporter suffisamment de contrats commerciaux, les lanceurs européens seraient centrés sur les besoins institutionnels. On pourrait dans ce cadre (i) mettre en place une politique protectionniste forte (ce qui pourrait être politiquement difficile à obtenir et juridiquement complexe), (ii) augmenter les

²⁰² Il n'est en outre pas anodin que Clay Mowry, le représentant d'Arianespace aux États-Unis et à ce poste depuis quinze ans, ait été récemment recruté par Blue Origin en tant que premier directeur des ventes (voir l'article de P-F Mouriaux dans *Air & Cosmos* numéro 2546 en date du 5 mai 2017).

²⁰³ Un lancement pour quatre satellites Galileo et deux satellites pour l'organisation européenne pour l'exploitation des satellites météorologiques (EUMETSAT).

²⁰⁴ En particulier, l'entreprise Tesla continue, à la date de cette note, à subir d'importantes pertes opérationnelles et à des difficultés à augmenter ses cadences de production.

subventions à ArianeGroup. Mais ceci (i) aurait un coût financier global important, notamment pour la France²⁰⁵, (ii) pourrait affaiblir gravement l'ensemble de la filière et (iii) handicaper l'Europe pour développer et conquérir de nouveaux marchés liés au spatial.

ii. Abandon d'un lanceur de souveraineté et recours aux lanceurs non-européens.

Cette option est théoriquement possible, ainsi que le montre l'exemple du Royaume-Uni qui, en dépit de l'abandon de ses activités de lancement dans les années 1970, continue d'avoir une activité spatiale dans le domaine satellitaire. Cependant, outre la défaite symbolique qui en résulterait, la France devrait continuer à porter seule le coût de la filière, notamment pour maintenir en conditions opérationnelles son programme de missiles balistiques nucléaires. Les pays européens seraient en outre tributaires d'autres nations spatiales pour le lancement de leurs satellites militaires et commerciaux, handicapant les chances de l'Europe dans l'économie du spatial.

iii. Réinvestissement mais tardif dans un nouveau programme de lanceurs

réutilisables. Rien n'empêche de lancer durant la décennie 2020 un nouveau programme de lanceurs réutilisables. Cependant, une telle décision implique un temps incompressible de développement qui aurait certainement un coût très important, compte tenu du retard actuel dans la maîtrise de certains éléments technologiques, notamment les moteurs. Dans le même temps, les États-Unis et la Chine auraient en outre accentué leur avance, tant dans les lanceurs que dans les autres domaines liés au spatial.

²⁰⁵ Alors que le rapport Fioraso rappelle que « ce niveau d'engagement [français] dans le lanceur réduit notre capacité d'action dans l'aval de la filière, alors que les britanniques d'abord et les allemands ensuite progressent plus vite que nous dans le domaine des satellites de télécommunications par exemple, qui représentent le marché d'application le plus mature et le plus rentable ».

NOS PROPOSITIONS

1. Affirmer publiquement l'objectif pour l'Europe d'être l'acteur spatial dominant à l'horizon 2030

Cette mesure, avant tout symbolique, est cependant cruciale pour imposer l'Europe comme un acteur de premier plan dans la compétition mondiale. La principale difficulté consiste, d'une part, à définir les mesures concrètes à mettre en œuvre et, d'autre part, à engager une coordination forte entre les principaux États-membres concernés, sans laquelle aucune évolution significative n'est possible.

Comme dans d'autres domaines, une initiative d'origine franco-allemande est ici la plus appropriée, mais il convient d'y associer dès le départ l'Italie (troisième contributeur au budget de l'ESA et principal porteur du lanceur Vega). Dans le contexte du Brexit, la question des modalités d'association du Royaume-Uni pourrait également se poser. Les mesures à définir doivent concerner l'ensemble du domaine spatial, et notamment les questions d'investissement dans le secteur, les questions de défense et de sécurité, ainsi que les mesures à prendre sans tarder pour disposer à moyen-terme d'un accès très compétitif à l'espace.

Une fois posées les bases d'une ambition renouvelée entre les principaux États concernés, l'inscription de la démarche dans le cadre de l'UE, et associant l'ESA, est tout aussi importante. Mettre la question spatiale à l'ordre du jour d'un Conseil européen au cours de l'année 2018 serait une mesure forte pour démontrer que l'Europe entend rester au premier rang des puissances spatiales au XXI^e siècle.

S'il paraît peu probable que l'Europe puisse devenir l'acteur dominant en termes de défense et de sécurité compte tenu des difficultés à unifier les efforts dans ce domaine, rien n'empêche qu'elle le soit dans les autres domaines du secteur spatial, notamment en termes d'activités économiques et de recherche scientifique.

2. Accélérer le processus en cours d'optimisation de la filière et la mise en service d'Ariane 6

Une option radicale serait d'abandonner Ariane 6 pour passer directement à un lanceur au moins partiellement réutilisable. Cette option a été qualifiée de « *suicidaire* » par le rapport Fioraso précité.

De fait, même si elle est théoriquement envisageable, cette option est trop risquée et doit donc être écartée :

- d'un point de vue technique, l'Europe ne dispose pas des technologies nécessaires, notamment pour les moteurs. Même en accélérant drastiquement son programme de développement, il est peu probable que le moteur Prometheus permette de procéder à de premiers tests de récupération du lanceur avant le début de la décennie 2020 ;
- au niveau industriel, un changement brutal de stratégie créerait un risque réel de déstabilisation de la filière et des clients. Ce risque ne doit pas être sous-estimé ;
- d'un point de vue commercial, le basculement immédiat vers un autre lanceur obligerait à maintenir le lanceur Ariane 5 en vol plus longtemps. Or, dans un contexte de concurrence accrue, les commandes pourraient être incertaines et pourraient nécessiter d'accroître les subventions d'exploitation ;
- enfin, le délicat équilibre politique doit être pris en compte. Compte tenu des difficultés pour aboutir à la décision d'investissement pour Ariane 6, il est difficile d'imaginer les différents acteurs, politiques comme industriels, prendre le risque de passer directement à un lanceur réutilisable²⁰⁶.

Il est donc essentiel de **mettre en service Ariane 6 le plus rapidement possible**. Rien n'empêche toutefois, sans remettre en cause l'architecture globale, d'accélérer le développement de modifications mineures de l'architecture du programme. Par exemple, on pourrait envisager :

- de développer la réutilisation de la coiffe, à l'image de ce que fait SpaceX. Celle-ci coûte à elle seule plusieurs millions d'euros ;
- d'envisager l'intégration rapide du moteur Prometheus (à condition d'accélérer son développement, cf. ci-après) ;
- d'envisager la réutilisation des étages à propulsion solide P120 d'Ariane 6 (exemple de la récupération en vol, « MAV » pour « *mid-air recovery* »). Il faudrait cependant pouvoir démontrer que la réutilisation peut être faite à un coût raisonnable ;

²⁰⁶ Par exemple, elle rendrait obsolète l'utilisation d'accélérateurs à poudre produits aujourd'hui par plusieurs entreprises européennes. Par exemple, la société Europropulsion (filiale commune de Safran et d'Avio), chargée de l'intégration des « *boosters* », emploie à elle seule une centaine de salariés.

- ou encore de développer plus avant le concept de réutilisation en orbite du second étage, ainsi qu'Airbus l'envisage actuellement avec son concept de remorqueur spatial (« *space tug* »).

Bien que la non-réutilisabilité constitue un plancher dans la recherche de réduction des coûts, toute possibilité de réduction supplémentaire mérite d'être explorée et le cas échéant développée. Loin d'envoyer un message négatif aux clients potentiels, un tel volontarisme illustrerait la volonté de l'Europe spatiale de rester un leader compétitif. Ces pistes sont désormais évoquées par certains responsables du secteur²⁰⁷. Il faudrait néanmoins s'assurer que les moyens techniques, humains et financiers sont affectés à ces évolutions et participent d'une stratégie d'ensemble.

Cependant, se limiter à des adaptations mineures sans accélérer la transition vers la réutilisabilité ne réduirait que modérément les risques, compte-tenu des évolutions attendues dans le secteur.

3. En parallèle d'Ariane 6, maîtriser dès que possible les principales briques technologiques de la réutilisabilité, à commencer par les moteurs

79

On a vu qu'à ce stade, peu de moyens sont affectés à cet objectif et l'objectif vise l'horizon 2030 alors que le risque est réel de voir les lanceurs réutilisables dominer le marché dès le début de la décennie 2020. Il convient donc, en parallèle d'Ariane 6, de développer sans tarder les briques technologiques permettant de disposer rapidement, en cas de besoin, d'un lanceur réutilisable opérationnel. L'objectif ultime serait de pouvoir disposer d'une flotte de lanceurs réutilisables, offrant une cadence de tir élevée et flexible à un coût compétitif. Ariane 6 serait alors elle-même un lanceur de transition permettant, en outre, de tester des technologies et techniques destinées à être intégrées à un futur lanceur réutilisable.

Plusieurs scénarios sont envisageables pour y arriver mais le point le plus évident est qu'en toute hypothèse il est **nécessaire d'accélérer fortement le programme Prometheus**, aujourd'hui calé sur de premiers tests au sol à compter de 2020 et

²⁰⁷ Voir l'interview récente du responsable du programme Ariane 6 chez ArianeGroup au site spécialisé *Spacenews.com* : Caleb Henry, 5 octobre 2017, « Ariane 6 could use reusable Prometheus engine, designer says » *spacenews* <http://spacenews.com/ariane-6-could-use-reusable-prometheus-engine-designer-says/>

de premiers tests en vol vers 2030. Les moteurs sont l'élément fondamental d'un lanceur et en définissent largement l'infrastructure. Les choix techniques associés²⁰⁸ et le développement rythment et conditionnent le développement d'un lanceur, mais ils laissent une certaine flexibilité dans son architecture. SpaceX et Blue Origin sont déjà avancés (voir ci-dessus, partie III.) dans le développement des moteurs réutilisables (respectivement Raptor et BE-4), lesquels équiperont leurs futurs lanceurs au cours de la décennie 2020 et au-delà.

Si l'on prend pour exemple le calendrier de SpaceX (Raptor) et Blue Origin (BE-4), un temps incompressible d'au moins cinq ans paraît inévitable, ce qui correspondrait à un premier test en vol autour de 2021-2022 (sur une plate-forme à définir, par exemple Callisto). Il s'agit pourtant d'une date déjà tardive au regard de l'évolution prévisible du marché et de la concurrence. Le programme Prometheus devrait au contraire être le chantier prioritaire, auquel des moyens supplémentaires devraient être affectés.

Au-delà du moteur, plusieurs questions doivent être tranchées rapidement, concernant la gouvernance du projet, le concept de lanceur et, bien entendu, le financement d'un projet qui serait mené en parallèle d'Ariane 6.

Il faudrait d'abord définir la **gouvernance du projet** : il est essentiel qu'une décision politique soit prise, puis mise en œuvre sous l'autorité d'un acteur unique au niveau européen, en étroite association avec les principales agences spatiales et l'industrie. La voie la plus naturelle serait de faire de l'ESA le maître d'ouvrage du projet, à condition toutefois de réfléchir aux évolutions à apporter à l'ESA elle-même (voir notre proposition sur la gouvernance).

Du côté de l'industrie, on pourrait imaginer une *joint-venture* associant l'ensemble des acteurs impliqués (dont les principales agences spatiales), à laquelle seraient affectés les moyens financiers et les ressources humaines²⁰⁹. La structure serait liée au donneur d'ordre public par un partenariat public-privé inspiré du modèle COTS américain, avec des objectifs clairs et contraignants conditionnant l'attribution des tranches de fonds publics (voir sur ce point la proposition sur les partenariats public-privé). Il faudrait également réussir à insuffler dans le projet un esprit de compétition fort visant à rattraper puis dépasser les Américains (et les Chinois), en

²⁰⁸ Ergols, type de moteur, injecteur, pressions, températures.

²⁰⁹ Une telle structure industrielle ne serait pas si éloignée du groupement d'intérêt économique (GIP) Airbus Industrie lors de la création d'Airbus.

sélectionnant soigneusement des ingénieurs expérimentés et des jeunes ingénieurs incités à faire preuve de créativité et d'initiative.

Il faudrait ensuite **arrêter le concept de lanceur réutilisable** parmi les différents modes possibles, et développer sur cette base un démonstrateur puis un lanceur. Des études sont en cours au CNES, à l'ONERA et au DLR (agence spatiale allemande)²¹⁰. Le choix du mode « *toss back* » déjà développé par SpaceX et Blue Origin, et repris dans le concept Callisto, paraît à la fois :

- **le plus prudent** puisqu'il a déjà été validé en vol par un concurrent, SpaceX. Il s'agit donc de s'inspirer, d'adapter, voire d'améliorer le concept de la société américaine, ce qui paraît moins risqué que de développer un autre concept ;
- **a priori le plus efficace en termes de potentiel de baisse de coûts** puisque l'ensemble du premier étage est récupéré en un seul tenant. Il faut toutefois tenir compte du coût induit par le retour au sol de la partie haute du premier étage (réservoirs) ;
- **le plus intéressant d'un point de vue technologique**. En effet, grâce à la rétropropulsion, il donne aussi la possibilité de poser des masses beaucoup plus importantes sur des corps célestes ayant peu ou pas d'atmosphère (tels que la lune et Mars). Cette capacité fait actuellement défaut à l'Europe spatiale à l'heure où l'ESA communique sur des projets de base lunaire à l'horizon 2030.

Cependant, rien ne permet d'affirmer à ce stade avec certitude que le mode « *toss back* » soit le seul envisageable ou le plus efficace : un élan européen sur le sujet pourrait faire émerger de meilleures alternatives. En tout état de cause, si l'option « *toss back* » était définitivement retenue, il faudrait donc fortement accélérer le projet de démonstrateur Callisto (fondé sur cette technologie) et ainsi pouvoir disposer d'un démonstrateur le plus rapidement possible (dès 2019-2020) afin de maîtriser les différentes étapes du retour au sol²¹¹. La définition du futur lanceur lui-même (architecture, nombre de moteurs, etc.) devrait cependant tenir compte non pas de la position actuelle des concurrents (Falcon 9 et Falcon Heavy, notamment), mais de l'état futur de la concurrence au milieu des années 2020, avec l'arrivée du lanceur de Blue Origin (New Glenn), du lanceur BFR de SpaceX ou encore des lanceurs réutilisables chinois.

²¹⁰ Voir par exemple un récent article publié par des chercheurs du DLR et présenté à l'IAC 2017 : « Evaluation of Future Ariane Reusable VTOL Booster stages », Dumont, Etienne and Stappert, Sven and Ecker, Tobias and Wilken, Jascha and Karl, Sebastian and Krummen, Sven and Sippel, Martin (2017) Evaluation of Future Ariane Reusable VTOL Booster stages. 68th International Astronautical Congress, 25-29 September 2017, Adelaide, Australia : <http://elib.dlr.de/114430/>.

²¹¹ La participation japonaise au projet Callisto pourrait amorcer une participation plus large du pays au projet de lanceur réutilisable, afin de contribuer au financement.

Cette option du mode « *toss back* » implique cependant de tenir compte des enjeux de propriété intellectuelle. SpaceX et Blue Origin sont prêts à défendre les brevets déjà déposés²¹². Ceci pourrait constituer un obstacle important qui pourrait utilement faire l'objet d'une analyse séparée en droit de la propriété intellectuelle et des brevets.

Enfin, la question du financement et des ressources disponibles est bien entendu essentielle puisqu'il s'agirait de mener de front deux programmes d'envergure, Ariane 6 et un lanceur réutilisable. Les ressources disponibles étant déjà pour l'essentiel consacrées au programme Ariane 6, le risque est que le développement du second programme ne démarre réellement qu'après le développement du premier. Or, un tel calendrier priverait l'Europe de la capacité de réagir avant au moins la seconde moitié de la décennie 2020. C'est pourquoi, outre de nouvelles ressources publiques, la mobilisation de nouveaux acteurs et de fonds sont des pistes importantes et complémentaires (voir ci-après).

4. Instaurer un mécanisme de « préférence européenne » pour les lancements institutionnels communautaires et nationaux

Le pendant des efforts supplémentaires engagés par la filière ainsi que par de nouveaux acteurs et investisseurs doit être l'adoption, au niveau européen, d'un mécanisme de préférence pour les lanceurs conçus et fabriqués en Europe. Une première initiative en ce sens avait été proposée et refusée en 2005²¹³ : le contexte a cependant profondément changé et la mise en place d'un tel dispositif devient désormais un enjeu central pour le maintien de la compétitivité spatiale européenne.

On a vu (*supra*, III.4) que les grandes puissances spatiales recourent à ce type de mécanisme pour donner à leur industrie nationale un socle d'activité à même de justifier d'importants programmes de développement et maintenir en conditions opérationnelles leur capacités technologiques d'accès à l'espace. Dans les faits,

²¹² SpaceX et Blue Origin ont déjà entamé des procédures judiciaires en la matière : Tim Fernholz, 3 septembre 2014, « Elon Musk and Jeff Bezos are racing to patent reusable rockets » Quartz <https://qz.com/259389/elon-musk-and-jeff-bezos-are-racing-to-patent-reusable-rockets/> ; Jeff Foust, 10 septembre 2015, « Patent decision may not spell end of Blue Origin-SpaceX dispute » *spacenews* <http://spacenews.com/patent-decision-may-not-spell-end-of-blue-origin-spacex-dispute/>.

²¹³ Peter B. de Selding, 12 décembre 2005, « ESA ministers reject 'Buy European' launch proposal » *spacenews* <http://spacenews.com/esa-ministers-reject-buy-european-launch-proposal/>.

ce mécanisme offre aux lanceurs américains (tous opérateurs privés confondus), russes et chinois la garantie de disposer d'une vingtaine de lancements par an.

Au niveau européen, la filière peut espérer effectuer autour de trois à cinq lancements par an pour le compte des pouvoirs publics (UE, ESA, agences nationales et Gouvernements), soit quatre fois moins. Pour tenir compte des spécificités du continent, deux options sont envisageables :

- **un engagement de volume** – les institutions européennes publiques et parapubliques (UE, ESA, EUMETSAT, etc.) ainsi que les États membres (gouvernements et agences spatiales) s'engageraient à donner aux lanceurs européens un nombre minimal de contrats sur une période donnée. Une telle proposition a été formulée par la filière, avec un objectif de cinq lancements sur Ariane 6 et deux sur Vega-C chaque année sur la période 2021-2025. Un tel soutien enverrait un signal fort d'engagement accru de l'Europe dans le domaine spatial. En revanche, un tel niveau de soutien implique que la filière continue à gagner entre cinq et dix contrats de lancements commerciaux par an pour assurer un équilibre d'exploitation et rentabiliser l'investissement initial : or, comme on l'a vu, rien ne garantit que cela sera possible à l'horizon 2020 et au-delà ;
- **un engagement d'exclusivité** – les mêmes acteurs publics seraient juridiquement tenus de ne conclure des contrats de lancement qu'avec des opérateurs dont les lanceurs sont fabriqués en Europe. Ce serait l'équivalent du mécanisme actuellement en vigueur aux États-Unis, et le plus protecteur à court-terme pour le secteur. Dans le contexte européen, il est cependant politiquement plus difficile à mettre en œuvre. Il est également moins incitatif pour les opérateurs de lancement en termes de compétitivité et d'innovation, ces derniers disposant d'un marché intérieur garanti.

Outre les difficultés politiques, des questions juridiques devront être traitées pour tenir compte des règles de droit de l'Union en matière de commande publique, des règles des institutions européennes et des structures intergouvernementales (ESA, EUMETSAT), et celles des États membres²¹⁴. Cependant, une fois la volonté politique acquise au niveau européen, il n'y a pas d'obstacle à ce que les règles puissent être adaptées rapidement, tant au niveau de l'Union européenne que des institutions intergouvernementales (ESA, EUMETSAT) et des États membres.

²¹⁴ Voir notamment sur ce point l'analyse détaillée réalisée par S. Hobe, M. Hofmannova et J. Wouters, « *A Coherent European Procurement Law and Policy for the Space Sector: Towards a Third Way* », *Cologne Studies in International and European Law*, Vol. 22, LIT Verlag Berlin-Munster-Wien-Zurich-London, 2010.

Il ne faut pas sous-estimer la résistance politique et même culturelle à ce type de dispositifs de la part de plusieurs États et des institutions politiques concernées. Les facteurs susceptibles de favoriser la mise en place de ce type de mécanisme incluent la volonté collective des acteurs de disposer d'un accès indépendant à l'espace ainsi que la compétitivité des lanceurs européens par rapport à leurs concurrents. C'est pourquoi cette mesure, pour importante qu'elle soit, s'inscrirait plus facilement dans le cadre d'une discussion plus générale sur les ambitions européennes en matière spatiale et les mesures visant à garantir la compétitivité du secteur à moyen-terme.

Pour être tout à la fois acceptable et efficace, la préférence européenne doit être non pas un préalable mais un élément central d'un accord plus global sur le futur de l'Europe spatiale. Une solution médiane pourrait prendre la forme d'un engagement d'exclusivité jusqu'à un certain seuil (en nombre de lancements par an), doublé de mécanismes de soutien public accru au développement de lanceurs réutilisables, en contrepartie de quoi la filière prendrait des engagements supplémentaires de prix et de recherche/développement visant à garantir la compétitivité à moyen-terme de l'offre de lancement.

En tout état de cause, le mécanisme devrait être mis en place durant la première moitié de l'année 2018 au plus tard pour limiter l'accumulation du retard pris par rapport aux États-Unis.

5. Obtenir une augmentation importante du budget spatial de l'Union européenne, en commençant par la négociation du prochain cadre financier pluriannuel de l'Union, et au profit de projets concrets à définir rapidement

Dans le cadre d'une communautarisation croissante (voir proposition 6), une hausse significative de ce budget permettrait de financer de nouvelles initiatives visant à assurer la défense d'intérêts stratégiques (accès à l'espace, souveraineté spatiale en matière de défense et de sécurité) et la stimulation du secteur privé, notamment dans les nouvelles activités de service. Dans un contexte de budgets nationaux contraints, le levier communautaire a naturellement vocation à jouer un plus grand rôle dans le secteur spatial. Ce niveau d'intervention budgétaire est également cohérent avec les stratégies nationales déployées par les autres grandes puissances spatiales.

Compte tenu de l'urgence à engager des mesures supplémentaires, de nouvelles ressources budgétaires ainsi que des investissements privés devront être dégagés sans tarder. Cependant, de manière plus structurelle, l'enjeu concerne l'élaboration du cadre financier pluriannuel (CFP) pour la période 2021-2027 – période qui sera, comme on l'a vu, cruciale pour la capacité de l'Europe à conserver une place importante dans le domaine spatial.

a. Faire apparaître le spatial dans le CFP 2021-2027 et en augmenter significativement le budget

L'enjeu immédiat concerne l'élaboration du cadre financier pluriannuel (CFP) pour la période 2021-2027 – période qui sera, comme on l'a vu, cruciale pour la capacité de l'Europe à conserver une place importante dans le domaine spatial. Le CFP est un outil fixant les limites et évolutions des budgets généraux annuels de l'UE de manière pluriannuelle (sept ans actuellement), prévu par le traité sur le fonctionnement de l'Union européenne (TFUE) lui-même²¹⁵. Il détermine les dépenses totales et les montants annuels pour les différents domaines d'action que l'UE est autorisée à utiliser quand elle souscrit des engagements juridiquement contraignants sur une période de cinq ans ou plus. Par conséquent, le contenu des CFP en matière spatiale aura nécessairement une influence déterminante sur les ambitions spatiales européennes durant la décennie 2020.

En l'état actuel et sans tenir compte des budgets nationaux (dont une partie transite par le niveau européen) :

- en 2017, l'Union européenne a consacré environ 1,5 milliards d'euros²¹⁶ – sur un budget de 134,49 milliards d'euros (de paiement)²¹⁷, et environ 10 milliards d'euros sur le CFP 2014-2020. Une partie importante de ces fonds est confiée à l'ESA pour la gestion opérationnelle des programmes. C'est à la fois significatif en proportion du budget européen et très faible en comparaison des programmes nationaux américains et chinois (ce qui s'explique par la petite taille du budget européen en comparaison du PIB de la zone) ;
- le budget européen n'identifie le domaine spatial qu'aux travers des programmes spécifiques (Galileo, Copernicus, etc.), lesquels font partie de la rubrique « 1a. compétitivité pour la croissance et l'emploi ».

²¹⁵ Il trouve son fondement dans l'article 312 du TFUE.

²¹⁶ Dont 921 millions pour Galileo et Copernicus, et 604 millions pour Copernicus. Informations tirées du budget général de l'Union européenne pour l'exercice 2017 publié au JOUE du 28 février 2017 : http://publications.europa.eu/resource/cellar/04767f14-fd7e-11e6-8a35-01aa75ed71a1.0009.03/DOC_1

²¹⁷ <http://www.consilium.europa.eu/fr/policies/eu-annual-budget/2017/>.

En vue de favoriser un engagement croissant de l'Union dans le domaine spatial, la négociation du cadre financier pluriannuel (CFP) pour la période 2021-2027 représente donc un enjeu peu visible, relativement technique, mais essentiel. Cette évolution du CFP pourrait prendre deux formes : symbolique, en identifiant le secteur spatial en tant que tel dans le CFP ; et stratégique, en fixant les montants des rubriques associées au secteur spatial de manière à dégager des ressources supplémentaires pour le développement des activités liées au secteur spatial. La résolution du Parlement en date du 12 septembre 2017 portant sur une stratégie spatiale pour l'Europe contient d'ailleurs des éléments cohérents avec cette proposition²¹⁸.

En pratique et pour prendre un exemple, un doublement des fonds actuels (10 milliards d'euros sur le CFP 2014-2020) à 20 milliards d'euros sur le CFP 2021-2027 permettrait de dégager 1,5 milliards d'euros supplémentaires chaque année, et en réalité davantage puisque les coûts d'investissement des programmes actuels ont vocation à baisser durant la période.

Les montants à sécuriser dépendent des projets concrets identifiés comme étant d'intérêt stratégique communautaire.

b. Faire du spatial un des bénéficiaires prioritaires d'initiatives en faveur de l'innovation de rupture

La prise de conscience du retard européen dans certaines innovations de rupture (robotique avancée, intelligence artificielle, production automatisée de batteries, communication quantique, etc.) suscite actuellement plusieurs propositions.

On peut par exemple citer la proposition pour la mise en place de l'équivalent au niveau européen de la DARPA américaine, formulée en octobre 2017 par plusieurs dirigeants et entrepreneurs²¹⁹. Cette agence²²⁰ du département de la défense a été à l'origine (ou a contribué) de ruptures techniques majeurs (internet, GPS, voiture autonome, etc.) en proposant des budgets publics au profit de projets risqués mais

²¹⁸ Point 7 de la résolution : « 7. souligne qu'afin de faire face aux défis actuels et à venir, le prochain budget de l'Union devrait prévoir, dans le cadre de la prochaine révision du CFP, une augmentation du budget consacré au domaine spatial afin d'offrir un soutien à l'ensemble de la chaîne de valeur (segment spatial et terrestre, observation de la Terre, navigation et communications) ».

²¹⁹ « Pour une initiative européenne sur l'innovation de rupture », *Le Monde*, édition du 18 octobre 2017.

²²⁰ « Defense Advanced Research Projects Agency ».

très ambitieux. Avec un budget annuel d'environ trois milliards de dollars²²¹, la DARPA finance actuellement de nombreux projets, par exemple en matière de robotique avancée mais également de spatial (service aux satellites en orbite). Elle dispose d'une solide expérience dans la capacité à donner des applications civiles et commerciales aux innovations ainsi favorisées.

On peut noter que la Chine a créé début 2017 une agence similaire à la **DARPA**, le « *Scientific Research Steering Committee* » (SRSC), son budget étant actuellement un secret d'État²²².

Une agence similaire au niveau européen, dotée d'un budget significatif (par exemple, un milliard d'euros par an), serait donc naturelle pour faire face aux ambitions américaines et chinoises. Compte tenu de l'importance du secteur spatial, ce dernier pourrait en bénéficier.

c. Identifier dès à présent de nouveaux projets stratégiques pour l'Union européenne

On a vu que le budget spatial communautaire est aujourd'hui essentiellement consacré à Galileo, EGNOS et Copernicus. Ces projets sont très importants mais dans l'espace du XXI^e siècle, ils ne seront pas suffisants si l'Europe entend être souveraine et prospère.

Les ressources supplémentaires dégagées pourraient être déployées dans trois axes :

- **Activités de services liées au spatial** : soutien accru au développement de nouvelles activités technologiques et de services liés au spatial. Parmi les projets envisageables, on pourrait imaginer un soutien au déploiement d'une constellation internet européenne, c'est-à-dire portée principalement par des acteurs économiques européens. L'accès à l'internet très haut débit (THD) sur l'ensemble du territoire de l'Union est déjà un enjeu majeur, notamment en milieu rural ou péri-urbain. Or, les deux projets actuels les plus avancés sont majoritairement américains et il est à craindre que les États-Unis soient les principaux bénéficiaires en cas de succès de ces entreprises (cf. encadré pages 11, 12 et 13). L'expérience accumulée par Airbus Defence & Space dans le projet Oneweb permettrait un

²²¹ <https://www.darpa.mil/about-us/budget>.

²²² <http://www.scmp.com/news/china/diplomacy-defence/article/2104070/chinese-military-sets-hi-tech-weapons-research-agency>.

développement rapide d'un projet concurrent. Des fonds plus importants au profit des *start-ups* spatiales, y compris en matière de défense, pourraient aussi être utiles (sur le modèle des contrats de subventions conclus aux États-Unis par la NASA et la défense américaine), en parallèle du développement des sources de financement privées qui seraient attirées par des ambitions publiques accrues.

- **Moyens de défense liés au spatial : développement accru de capacités communes en matière de sécurité et de défense, notamment pour la défense du système satellitaire européen.** On a vu que ces projets, portés par la Commission et l'Agence européenne de défense, restent embryonnaires. Des moyens accrus d'observation permettraient par exemple une surveillance accrue des zones de tension à l'est et au sud de l'Union européenne, sources certaines de crises et de risques dans les décennies à venir. Des États-membres ne disposant pas actuellement de capacités autonomes pourraient être intéressés.

Au-delà, il va devenir rapidement impératif pour l'Union et ses États-membres de développer des moyens de défense des satellites en orbite²²³ – alors que les États-Unis, la Russie et la Chine développent secrètement mais activement des moyens d'attaque et de défense²²⁴. La dépendance croissante des économies vis-à-vis des satellites rend la protection des infrastructures spatiales aussi importante que celle des infrastructures terrestres, *a fortiori* avec le déploiement en cours des systèmes Galileo, EGNOS et Copernicus. Outre que le coût de tels systèmes de défense est lourd à porter pour des États-membres individuellement, la protection de l'infrastructure spatiale européenne est un service public de dimension européenne. S'il a jusqu'à présent été difficile de mettre en commun les satellites militaires eux-mêmes, la protection de ces satellites pourrait faire plus facilement l'objet d'initiatives communes.

²²³ Sans nommer des États, la « Revue stratégique de défense et de sécurité nationale 2017 » pointe clairement ce risque : « 131. Les progrès des techniques de rendez-vous dans l'espace, les capacités de robotique et de propulsion électrique permettent de réparer, de ravitailler en carburant voire de désorbiter des engins spatiaux. Sous couvert d'objectifs civils, des États peuvent donc financer ouvertement des technologies potentiellement antisatellites. Celles-ci permettraient la mise en service d'outils dont les actions seraient beaucoup plus difficiles à détecter, à suivre, à attribuer et à contrer que des actions exo-atmosphériques plus classiques (missiles, lasers, brouilleurs...). »

²²⁴ On peut lire par exemple les déclarations du directeur du renseignement national des États-Unis devant un comité du Sénat le 11 mai 2017. Les armes développées incluent des lasers embarqués par des satellites militaires, des satellites capables d'observer ou même de capturer d'autres satellites en orbite. La déclaration est accessible ici : <https://www.dni.gov/files/documents/Newsroom/Testimonies/SSCI%20Unclassified%20SFR%20-%20Final.pdf>.

Que se passerait-il si l'Europe cessait soudainement de pouvoir utiliser ses satellites ?

Un article du site d'information BBC publié en 2013²²⁵, écrit par le journaliste scientifique Richard Hollingham, a imaginé une « journée sans satellites », que l'on peut résumer en l'adaptant au cas de l'Europe, dans l'hypothèse où celle-ci ne pourrait plus disposer ni de ses moyens propres, ni des moyens offerts par d'autres puissances :

- **8 h00** : la télévision par satellite cesse de fonctionner car les satellites géostationnaires exploités par les opérateurs européens sont rendus indisponibles ; les pilotes de drones militaires des armées européennes perdent le contact des drones armés ; les européens dépendant des satellites ne peuvent plus communiquer (scientifiques en zones isolés, travailleurs humanitaires en zones de conflit, etc.) ; les appels internationaux depuis Londres, Paris ou Francfort ne passent plus ; des milliers de distributeurs de billets cessent de fonctionner²²⁶.
- **11 h00** : Galileo étant indisponible et les États-Unis refusant de fournir leurs services GPS, les systèmes au sol ne peuvent conserver une mesure précise du temps. Outre les problèmes de localisation, les systèmes en dépendant cessent de fonctionner (transactions informatiques, systèmes électriques, etc.) ; l'internet se dégrade rapidement de ce fait en dépit des connections par câbles sous-marins.
- **16 h00** : l'absence de données météorologiques bloque progressivement les services qui en dépendent étroitement, tels que les transports aériens et maritimes ; l'agriculture souffre (la météo est devenue nécessaire pour prévoir les arrosages, les semis, etc.).

Les problèmes ne feraient que s'aggraver tant que les satellites ne sont pas à nouveau disponibles. Il deviendrait impossible, ou très difficile, de surveiller efficacement les zones de conflits ou de tension, de prévenir l'exploitation illégale du bois en Guyane, ou encore de réagir efficacement aux ouragans dans les territoires européens situés dans les Caraïbes. Outre le coût économique majeur, c'est la souveraineté de l'Europe qui serait directement remise en cause.

²²⁵ Richard Hollingham, 10 juin 2013, « *The day without satellites - What would happen if all satellites stopped working* », BBC.com <http://www.bbc.com/future/story/20130609-the-day-without-satellites>.

²²⁶ Après une panne du satellite géostationnaire Telkom-1 en août 2017, des milliers de distributeurs ont cessé de fonctionner : <https://www.reuters.com/article/us-indonesia-telkom-indonesia-banking/thousands-of-atms-go-down-in-indonesia-after-satellite-problems-idUSKCN1B80QP>.

- **Accès à l'espace : assurer la disponibilité d'une flotte de lanceurs réutilisables à coût compétitif.** Sans revenir ici sur les propositions déjà développées à ce sujet, des budgets supplémentaires contribueraient à un financement suffisant et efficace. En outre, un accroissement des activités spatiales stimulé par les autres actions mises en œuvre (voir ci-dessus) se traduirait par un besoin accru pour des lancements spatiaux, augmentant la demande adressée à la filière européenne et stimulant l'innovation et la concurrence. Ce changement de dimension (et de paradigme) de la filière européenne pourrait être opéré dans le courant de la décennie 2020, avant que les opérateurs américains et chinois n'aient pris une avance trop importante.

6. Refonder la gouvernance spatiale européenne

Compte tenu de l'importance du secteur spatial pour la souveraineté européenne, ce sujet devrait faire partie intégrante des discussions en cours sur l'évolution de l'Union européenne. Des évolutions pourraient à cet égard être opérées.

a. L'articulation entre l'ESA et l'Union européenne : aller plus loin

La question du devenir de l'ESA, agence intergouvernementale et de sa coordination avec l'Union européenne est posée. Deux principales voies sont envisageables : la voie actuelle consiste à rapprocher l'ESA de l'UE par des accords de coopération, en essayant de rendre cette coopération la plus efficace possible.

Une autre voie, plus ambitieuse mais cohérente avec celle empruntée par les grandes puissances spatiales, serait de **transformer l'ESA en une véritable agence exécutive de l'UE**²²⁷, plus administrative, et qui pourrait se concentrer sur ses missions scientifiques et sur un rôle de régulation d'un secteur en voie de diversification²²⁸. Le niveau de décision serait donc « remonté » au niveau des institutions européennes : ceci exige néanmoins que la Commission dispose de l'organisation des ressources nécessaires (cf. ci-dessous), et mette en œuvre une politique au soutien des intérêts stratégiques européens, y compris au niveau industriel. L'ESA aurait donc vocation à intégrer l'Agence du GNSS européen, actuellement en charge de Galileo.

²²⁷ Ces agences sont dites « agences décentralisées », qui sont actuellement au nombre d'une trentaine.

²²⁸ Comme c'est déjà le cas, par exemple, avec le programme de l'ESA « ARTES » (Advanced Research in Telecommunications Systems) et qui permet de soutenir des initiatives privées en matière de télécommunications : http://m.esa.int/Our_Activities/Telecommunications_Integrated_Applications/ARTES/ARTES_programme_overview.

Sous réserve d'une analyse juridique spécifique, une telle transformation ne nécessite pas *a priori* de modification du traité sur le fonctionnement de l'Union européenne (TFUE) compte tenu de la rédaction actuelle de son article 189. Les règles de décision sont celles de la procédure législative ordinaire (majorité au Parlement et majorité qualifiée au Conseil). En revanche, la convention de 1975 instituant l'ESA devrait potentiellement être renégociée : l'intégration dans les institutions de l'Union européenne n'empêche pas cependant de conclure des accords de coopération avec les membres actuels de l'ESA non membres de l'UE.

b. Créer des instances et enceintes dédiées au spatial au sein des institutions européennes

On a vu que les activités spatiales ne sont pas suffisamment identifiées au sein des institutions de l'Union européenne. Concrètement, on pourrait à cet égard :

- **créer une « DG Espace » au sein de la Commission européenne**, c'est-à-dire une direction générale spécifique, dédiée à l'ensemble des activités spatiales (programmes actuels, régulation du secteur, supervision/coopération avec l'ESA, etc.) ;
- **créer une Commission permanente « Espace »** (ou *a minima* « Ciel et Espace ») **au sein du Parlement européen**, afin de permettre à ce dernier de se saisir pleinement, et de manière permanente, des enjeux spatiaux ;
- **inscrire au moins une fois par an les questions spatiales** (y compris dans leur volet sécurité et défense) **à l'agenda du Conseil européen** (réunion des chefs d'État et de gouvernement) pour faire le point sur les avancées en matière de politique spatiale européenne ;
- **créer une instance (le cas échéant informelle) inspirée du National Space Council (NSC) américain et permettant d'associer les principaux acteurs économiques** du secteur (et leurs représentants) aux grandes décisions publiques. Son point de rattachement le plus naturel serait l'ESA, dans le cadre d'un rapprochement de l'ESA avec l'Union européenne.

c. Envisager, en cas de difficulté, le recours à des coopérations renforcées

En cas de difficulté pour obtenir une évolution favorable de la gouvernance, on pourrait prendre acte du fait que seuls certains États membres sont intéressés et impliqués, y compris financièrement. Une logique de coopération renforcée, dans le cadre de l'Union européenne (articles 326 et suivants du TFUE), serait de nature à accélérer les processus de décision. Ses acteurs principaux seraient naturellement la France, l'Allemagne et l'Italie, tout en étant ouvert à d'autres participants.

d. S'appuyer sur des capacités d'analyse et d'intelligence économique

Enfin, on peut s'interroger sur la place des autres acteurs de la chaîne de décision. Ainsi, la relative rareté des études fouillées en Europe sur le modèle économique et technologique de SpaceX souligne en creux l'insuffisante attention portée par les acteurs publics et privés européens aux initiatives des concurrents étrangers (aux États-Unis mais aussi en Chine). Une surveillance factuelle existe : on peut citer par exemple les bulletins d'actualité espace de la « Mission pour la Science et la Technologie de l'Ambassade de France aux États-Unis »²²⁹.

Or, dans un secteur en évolution très rapide et caractérisé par des cycles de développement longs, la capacité d'analyse et d'anticipation est primordiale pour optimiser le processus de décision. Ceci passe, par exemple, par le développement de capacités d'intelligence économique et la mobilisation des administrations comme des universitaires.

7. Susciter l'émergence de nouveaux acteurs privés en Europe en recourant à des partenariats public-privé innovants

Il faut amplifier les efforts importants déjà déployés pour faire émerger des *start-ups* dans le cadre du mouvement dit *new space*. Le rapport Fioraso déploie à cet égard une analyse et des recommandations innovantes et intéressantes²³⁰. La question de l'accès des *start-ups* à des investissements importants (supérieurs à dix millions d'euros) reste posée, comme elle l'est pour l'ensemble de l'économie européenne, laquelle, à l'exception peut-être du Royaume-Uni, a un nombre faible de « licornes » (entreprises non-cotées valorisées à un plus d'un milliard de dollars) comparé aux États-Unis et à la Chine.

Du côté des politiques publiques spécifiques au domaine spatial, la logique de partenariat public-privé reste toutefois peu utilisée en Europe. Or, elles ont été au cœur de l'émergence des nouveaux acteurs privés américains. Les initiatives de l'ESA restent limitées dans leurs ambitions²³¹.

²²⁹ Un exemple est disponible ici :

https://www.france-science.org/Bulletin-d-actualite-Espace-no17,9367.html?mc_cid=73c585f3ef&mc_eid=180b364fcb.

²³⁰ Voir la partie « *Soutenir et responsabiliser les acteurs économiques pour développer l'emploi* », pages 98 et suivantes.

²³¹ Elles ne portent pas directement sur l'accès à l'espace mais plutôt sur certains services (recherche dans l'ISS par exemple) ; elles se limitent en outre, pour l'essentiel, à des appels à projet sans que le cadre conceptuel soit clair à ce stade, ou qu'on connaisse les moyens financiers publics qui pourraient être affectés.

Voir ce lien : http://www.esa.int/About_Us/Business_with_ESA/Business_Opportunities/Partners_for_Space_Exploration.

Il faudrait donc aller plus loin, en tirant avantage de l'expérience américaine. Le recours à ce type de dispositifs pose cependant la question des ressources publiques disponibles et des marchés offerts aux opérateurs prêts à investir : il s'insère donc, là encore, dans le cadre d'une ambition accrue de l'Europe en matière spatiale.

a. Principaux enseignements du succès américain

Le programme « Commercial Orbital Transportation Services » (COTS) a été lancé en 2005 par le gouvernement américain et administré par la NASA, avec pour but premier de disposer de nouvelles capacités à mettre en orbite basse du fret, mais aussi plus largement de faire émerger de nouveaux acteurs. La NASA a accepté d'engager environ 500 millions de dollars de subventions publiques.

Deux nouveaux opérateurs sont ainsi apparus : SpaceX avec la fusée Falcon 9 et la capsule Dragon, et la moins connue Orbital ATK (devenue Orbital Sciences Corporation) avec le lanceur Antares et la capsule Cygnus. En parallèle du programme COTS, la NASA a lancé en 2010 le programme « Commercial Crew Development » (CCDev) afin de disposer d'une capacité autonome de vol habité vers l'orbite basse. En septembre 2014, ont été désignés dans ce cadre SpaceX (capsule Dragon 2) et Boeing en partenariat avec Bigelow Aerospace (capsule CST100).

93

Outre le fait d'avoir permis de faire émerger de nouveaux acteurs aux côtés des acteurs « historiques », ces programmes ont eu recours à des outils de gestion tirés des expériences dans d'autres domaines en matière de partenariat public-privé (PPP). Les bonnes pratiques développées par la NASA dans le cadre du programme COTS incluent notamment²³² :

- Des objectifs généraux précis, mais sans interventionnisme dans les moyens pour les atteindre. Les besoins sont exprimés clairement (par exemple, être capable de mettre en orbite basse tant de tonnes, à telle fréquence, et avec tel niveau de sécurité) mais sans déterminer à l'avance les moyens de les atteindre, qui relèvent de l'initiative privée. Ceci n'empêche pas le secteur public de mettre à disposition son expertise technique pour aider les candidats, dans une logique de partenariat.

²³² Voir également l'analyse critique établie en décembre 2011 par le Government Accountability Office (GAO, équivalent de la Cour des comptes en France) sur le programme CCDev : « *NASA, Acquisition Approach for Commercial Crew Transportation Includes Good Practices, but Faces Significant Challenges* » : <http://www.gao.gov/assets/590/587021.pdf>

- Une approche reposant sur le recours à des prix fixes²³³ et de jalons contractuellement prédéfinis. Les subventions ne sont versées que si les engagements contractuels sont respectés. Les entreprises sont ainsi incitées à réaliser leurs engagements au meilleur coût. Chacun des partenaires privés négocie et conclut un contrat propre.
- Une obligation pour les partenaires privés puis les lauréats à investir des fonds privés représentant un pourcentage des dépenses engagées. Ceci a permis d'atteindre des niveaux rarement vus dans le secteur (50 % d'investissement privé environ).
- Une logique de concurrence entre plusieurs opérateurs privés, qui obligent ces derniers à présenter la meilleure offre possible en vue d'être sélectionné pour participer au programme et recevoir des subventions. Ceci passe par encourager de nouveaux entrants à participer aux côtés des acteurs déjà établis.

Les analyses *a posteriori* ont montré que les coûts de développement des divers éléments de ce programme (lanceur, capsule, etc.) ont été (très) significativement inférieurs aux coûts habituellement observés dans le secteur²³⁴.

b. Adaptation possible au contexte européen

En l'état, un mécanisme inspiré des programmes COTS et CCDev ne serait pas nécessairement adapté au contexte européen :

- D'abord, il est peu compatible avec la gouvernance actuelle, notamment la règle du retour géographique et la validation presque politique de l'architecture des lanceurs. Ce mécanisme repose en effet sur la grande liberté laissée aux opérateurs pour proposer des projets et pour s'organiser.
- Ensuite, un élément essentiel d'incitation des programmes COTS puis CCDev consiste en la garantie ultérieure pour les nouveaux acteurs de disposer de contrats avec la NASA pour le ravitaillement et les transferts d'équipages à destination et depuis l'ISS, ce qui ne pourrait être fait pour un programme européen équivalent.

²³³ Et non sur une approche dite « cost + » dans laquelle l'opérateur privé est certain de recevoir des sommes équivalentes à ses coûts, majorés d'une somme correspondant à un profit raisonnable.

²³⁴ On peut se rapporter au rapport de la NASA sur la mise en œuvre du programme COTS, de février 2014 :

<https://www.nasa.gov/sites/default/files/files/SP-2014-617.pdf>

Une étude particulièrement intéressante figure en annexe du rapport (« COTS Model for NASA Public-Private Partnerships », par Alan Lindenmoyer). Elle porte notamment sur les méthodes utilisées par la NASA pour inciter les lauréats à optimiser leurs coûts et leurs calendriers de développement.

- Enfin, les expériences européennes en matière de PPP pour le secteur spatial n'ont jusqu'à présent, sauf exception, pas donné grande satisfaction. L'expérience malheureuse lors de la tentative de lancement du programme de GPS européen Galileo dans un format de type PPP²³⁵ s'était en effet soldée par un échec cuisant²³⁶. D'autres projets plus récents dans le domaine des satellites ont en revanche été un succès (par exemple le satellite militaire Skynet 5 britannique dans le cadre du projet « Paradigm »).

Une réflexion pourrait cependant être menée pour adapter cet outil à l'Europe spatiale de demain, au-delà de la question des seuls satellites :

- Sur la gouvernance, un tel programme trouverait plus naturellement sa place au niveau de l'Union européenne elle-même, compte tenu des fonds publics à engager. L'ESA pourrait le cas échéant être désignée comme autorité en charge de la passation et de l'exécution.
- Sur l'objet des projets, d'autres activités que le ravitaillement et l'envoi d'astronautes vers l'ISS peuvent être envisagées, par exemple : développer des capacités de nettoyage de l'orbite basse, de services (maintenance) aux satellites en orbite, et bien sûr d'une capacité de vol habité autonome (capsule), qui est une faiblesse importante dans les capacités spatiales européennes (en dépit de la collaboration actuelle avec la NASA sur le vaisseau spatial Orion²³⁷).
- Sur l'outil contractuel, les réticences européennes peuvent être surmontées en étudiant de près l'expérience américaine, mais aussi en utilisant au mieux le savoir-faire européen en matière de PPP accumulé dans d'autres secteurs, et notamment en France.

²³⁵ Parmi les modèles envisageables de PPP, la Commission européenne avait retenu le modèle de la concession.

²³⁶ Le rapport de la Cour des comptes européenne de 2009 est disponible ici : https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR09_07/SR09_07_EN.PDF

²³⁷ L'ESA fournira le module de service au moins pour les premiers vols d'Orion. Celui-ci est développé sur la base de l'ATV, véhicule utilisé pour ravitailler l'ISS. Il est développé et produit à Hambourg, en Allemagne.

8. Améliorer la communication autour du secteur spatial, tant par les dirigeants politiques que par les industriels

a. Une communication efficace à l'heure d'internet et des réseaux sociaux : un outil devenu indispensable

Elon Musk est souvent critiqué pour sa communication omniprésente. A l'heure des réseaux sociaux, et comme l'a formidablement démontré récemment Thomas Pesquet, la communication est pourtant devenue un atout majeur pour le développement et le succès des projets spatiaux. Au-delà des missions scientifiques, SpaceX a démontré qu'il est possible de susciter une forte passion du public pour les exploits techniques et industriels.

Les efforts européens en la matière pourraient être accentués : la dernière expérience européenne en la matière remonte désormais aux premiers vols de l'A380 dans la deuxième moitié des années 2000.

Une étroite association des citoyens européens est d'autant plus importante qu'ils sont également les contribuables permettant d'apporter les fonds publics nécessaires à tout projet d'envergure. Une stratégie de communication ambitieuse est donc indispensable pour expliquer et promouvoir l'importance du spatial et des enjeux stratégiques associés.

b. Mesures proposées

Outre les mesures qui peuvent être prises par les opérateurs économiques eux-mêmes, les pouvoirs publics doivent mieux valoriser le domaine spatial à l'attention des citoyens et du grand public mais aussi des entreprises qui pourraient investir le domaine spatial.

Le recours à des « ambassadeurs spatiaux » est d'autant plus important que l'Europe, qui s'appuie sur de larges organisations, ne dispose pas actuellement d'entrepreneurs « stars » tels qu'Elon Musk et Jeff Bezos. De ce point de vue, la communication des astronautes du corps de l'ESA est indispensable, comme l'ont démontré récemment Thomas Pesquet ou l'astronaute britannique Tim Peake. On ne peut ici qu'insister de nouveau sur l'intérêt du vol habité, au-delà des considérations stratégiques qui s'attachent à cette question.

En outre, une initiative de grande envergure, faisant l'objet d'une communication importante, pourrait également donner de la visibilité au secteur. On pourrait ici s'inspirer du « Google Lunar XPRIZE » lancé en 2007 et récompensant de 30 millions de dollars la première équipe financée par le secteur privé capable de poser un robot sur la lune et parcourant ensuite 500 mètres à la surface en retransmettant des images haute définition en direct. Des trente-deux équipes initiales, cinq équipes ont réussi à sécuriser un lancement et sont encore en course. Originaires des États-Unis, du Japon, d'Israël et d'Inde, elles semblent en mesure d'y arriver dans les années qui viennent.

Une initiative comparable européenne serait une occasion de développer la visibilité de l'Europe sur le *new space* et d'encourager le développement des acteurs privés sur le continent. Cette initiative pourrait s'inscrire dans le cadre des projets « *Clean Space* » actuellement portés par l'ESA, domaine dans lequel l'Europe cherche à devenir leader²³⁸.

²³⁸ http://esamultimedia.esa.int/multimedia/publications/Clean_Space/.

CONCLUSION

« Many years ago the great British explorer George Mallory, who was to die on Mount Everest, was asked why did he want to climb it. He said “Because it is there”. Well, space is there, and we are going to climb it (...) »

John F. Kennedy,

conclusion du discours « *We choose to go to the Moon* »
prononcé à l'université de Rice (Texas) le 12 septembre 1962

Il y a indéniablement dans l'espace une dimension qui touche au plus profond de l'être humain. Cependant, comme pour les grands explorateurs européens des siècles passés, la découverte scientifique est, là encore, le prélude à des considérations économiques et géostratégiques tout aussi importantes.

Depuis dix ans s'est engagé un mouvement difficilement réversible, dans lequel l'Europe va nécessairement jouer une partie de son destin et de son influence globale. Pour l'heure, rien n'est perdu mais la compréhension des enjeux comme les moyens affectés sont, à l'échelle du continent, trop faibles pour permettre d'envisager l'avenir avec confiance. La rapidité des ruptures en cours était certes difficile à prévoir mais il est désormais urgent d'admettre que ces dernières remettent en cause le modèle développé avec succès par l'Europe pendant cinquante ans. Des mesures fortes sont indispensables et la réflexion à venir sur le devenir de l'Union est une occasion à ne pas manquer pour les mettre en œuvre.

Comme dans d'autres secteurs, l'Europe a tous les atouts pour rivaliser avec les États-Unis et la Chine, à condition de s'en donner les moyens : il s'agit avant tout d'une affaire de choix, pour reprendre le terme de John F. Kennedy dans son fameux discours de 1962. Enfin, au-delà même des enjeux économiques et de défense, il y a fort à parier que les évolutions en cours préfigurent de nouvelles étapes dans l'exploration, y compris humaine, du système solaire : un projet européen plus ambitieux en la matière serait un facteur puissant d'unité et de fierté autour d'un projet de paix et d'avancement de l'esprit humain.

REMERCIEMENTS

L'Institut Montaigne remercie particulièrement les personnes suivantes pour leur contribution à ce travail.

- **Stéphane Albernehe**, Président, Archery Strategy Consulting
- **Sébastien Cailliau**, The Boston Consulting Group
- **Philippe Delmas**, Président, PhD Associates
- **Jean-Jacques Dordain**, ancien Directeur général de l'Agence spatiale européenne
- **Stéphane Israël**, Président exécutif, Arianespace
- **Jean-Yves Le Gall**, Président, Centre national d'études spatiales (CNES)
- **Hugo Richard**, Directeur des affaires publiques, ArianeGroup
- **Alain Wagner**, Vice-président, International & Space Institutions, AIRBUS Defence & Space

Ainsi que **Morgan Guérin**, chargé d'études, Institut Montaigne

Les opinions exprimées dans ce rapport n'engagent
ni ces personnes ni les institutions dont elles sont membres.

LES PUBLICATIONS DE L'INSTITUT MONTAIGNE

- Justice : faites entrer le numérique (novembre 2017)
- Prêts pour l'Afrique d'aujourd'hui ? (septembre 2017)
- Nouveau monde arabe, nouvelle « politique arabe » pour la France (août 2017)
- Enseignement supérieur et numérique : connectez-vous ! (juin 2017)
- Syrie : en finir avec une guerre sans fin (juin 2017)
- Énergie : priorité au climat ! (juin 2017)
- Quelle place pour la voiture demain ? (mai 2017)
- Sécurité nationale : quels moyens pour quelles priorités ? (avril 2017)
- Tourisme en France : cliquez ici pour rafraîchir (mars 2017)
- L'Europe dont nous avons besoin (mars 2017)
- Dernière chance pour le paritarisme de gestion (mars 2017)
- L'impossible État actionnaire ? (janvier 2017)
- Un capital emploi formation pour tous (janvier 2017)
- Économie circulaire, réconcilier croissance et environnement (novembre 2016)
- Traité transatlantique : pourquoi persévérer (octobre 2016)
- Un islam français est possible (septembre 2016)
- Refonder la sécurité nationale (septembre 2016)
- Brexain ou Brexit : Europe, prépare ton avenir ! (juin 2016)
- Réanimer le système de santé - Propositions pour 2017 (juin 2016)
- Nucléaire : l'heure des choix (juin 2016)
- Un autre droit du travail est possible (mai 2016)
- Les primaires pour les Nuls (avril 2016)
- Le numérique pour réussir dès l'école primaire (mars 2016)
- Retraites : pour une réforme durable (février 2016)
- Décentralisation : sortons de la confusion / Repenser l'action publique dans les territoires (janvier 2016)
- Terreur dans l'Hexagone (décembre 2015)
- Climat et entreprises : de la mobilisation à l'action / Sept propositions pour préparer l'après-COP21 (novembre 2015)
- Discriminations religieuses à l'embauche : une réalité (octobre 2015)
- Pour en finir avec le chômage (septembre 2015)
- Sauver le dialogue social (septembre 2015)
- Politique du logement : faire sauter les verrous (juillet 2015)
- Faire du bien vieillir un projet de société (juin 2015)
- Dépense publique : le temps de l'action (mai 2015)
- Apprentissage : un vaccin contre le chômage des jeunes (mai 2015)
- Big Data et objets connectés. Faire de la France un champion de la révolution numérique (avril 2015)
- Université : pour une nouvelle ambition (avril 2015)
- Rallumer la télévision : 10 propositions pour faire rayonner l'audiovisuel français (février 2015)

- Marché du travail : la grande fracture (février 2015)
- Concilier efficacité économique et démocratie : l'exemple mutualiste (décembre 2014)
- Résidences Seniors : une alternative à développer (décembre 2014)
- Business schools : rester des champions dans la compétition internationale (novembre 2014)
- Prévention des maladies psychiatriques : pour en finir avec le retard français (octobre 2014)
- Temps de travail : mettre fin aux blocages (octobre 2014)
- Réforme de la formation professionnelle : entre avancées, occasions manquées et pari financier (septembre 2014)
- Dix ans de politiques de diversité : quel bilan ? (septembre 2014)
- Et la confiance, bordel ? (août 2014)
- Gaz de schiste : comment avancer (juillet 2014)
- Pour une véritable politique publique du renseignement (juillet 2014)
- Rester le leader mondial du tourisme, un enjeu vital pour la France (juin 2014)
- 1 151 milliards d'euros de dépenses publiques : quels résultats ? (février 2014)
- Comment renforcer l'Europe politique (janvier 2014)
- Améliorer l'équité et l'efficacité de l'assurance-chômage (décembre 2013)
- Santé : faire le pari de l'innovation (décembre 2013)
- Afrique-France : mettre en œuvre le co-développement Contribution au XXVI^e sommet Afrique-France (décembre 2013)
- Chômage : inverser la courbe (octobre 2013)
- Mettre la fiscalité au service de la croissance (septembre 2013)
- Vive le long terme ! Les entreprises familiales au service de la croissance et de l'emploi (septembre 2013)
- Habitat : pour une transition énergétique ambitieuse (septembre 2013)
- Commerce extérieur : refuser le déclin Propositions pour renforcer notre présence dans les échanges internationaux (juillet 2013)
- Pour des logements sobres en consommation d'énergie (juillet 2013)
- 10 propositions pour refonder le patronat (juin 2013)
- Accès aux soins : en finir avec la fracture territoriale (mai 2013)
- Nouvelle réglementation européenne des agences de notation : quels bénéfices attendre ? (avril 2013)
- Remettre la formation professionnelle au service de l'emploi et de la compétitivité (mars 2013)
- Faire vivre la promesse laïque (mars 2013)
- Pour un « New Deal » numérique (février 2013)
- Intérêt général : que peut l'entreprise ? (janvier 2013)

- Redonner sens et efficacité à la dépense publique
15 propositions pour 60 milliards d'économies (décembre 2012)
- Les juges et l'économie : une défiance française ? (décembre 2012)
- Restaurer la compétitivité de l'économie française (novembre 2012)
- Faire de la transition énergétique un levier de compétitivité (novembre 2012)
- Réformer la mise en examen Un impératif pour renforcer l'État de droit
(novembre 2012)
- Transport de voyageurs : comment réformer un modèle à bout de souffle ?
(novembre 2012)
- Comment concilier régulation financière et croissance :
20 propositions (novembre 2012)
- Taxe professionnelle et finances locales : premier pas vers une réforme globale ?
(septembre 2012)
- Remettre la notation financière à sa juste place (juillet 2012)
- Réformer par temps de crise (mai 2012)
- Insatisfaction au travail : sortir de l'exception française (avril 2012)
- Vademecum 2007 – 2012 : Objectif Croissance (mars 2012)
- Financement des entreprises : propositions pour la présidentielle (mars 2012)
- Une fiscalité au service de la « social compétitivité » (mars 2012)
- La France au miroir de l'Italie (février 2012)
- Pour des réseaux électriques intelligents (février 2012)
- Un CDI pour tous (novembre 2011)
- Repenser la politique familiale (octobre 2011)
- Formation professionnelle : pour en finir avec les réformes inabouties
(octobre 2011)
- Banlieue de la République (septembre 2011)
- De la naissance à la croissance : comment développer nos PME (juin 2011)
- Reconstruire le dialogue social (juin 2011)
- Adapter la formation des ingénieurs à la mondialisation (février 2011)
- « Vous avez le droit de garder le silence... »
Comment réformer la garde à vue (décembre 2010)
- Gone for Good? Partis pour de bon ?
Les expatriés de l'enseignement supérieur français aux États-Unis
(novembre 2010)
- 15 propositions pour l'emploi des jeunes et des seniors
(septembre 2010)
- Afrique - France. Réinventer le co-développement (juin 2010)
- Vaincre l'échec à l'école primaire (avril 2010)
- Pour un Eurobond. Une stratégie coordonnée pour sortir de la crise
(février 2010)
- Réforme des retraites : vers un big-bang ? (mai 2009)
- Mesurer la qualité des soins (février 2009)
- Ouvrir la politique à la diversité (janvier 2009)
- Engager le citoyen dans la vie associative (novembre 2008)
- Comment rendre la prison (enfin) utile (septembre 2008)

- Infrastructures de transport : lesquelles bâtir, comment les choisir ? (juillet 2008)
- HLM, parc privé
Deux pistes pour que tous aient un toit (juin 2008)
- Comment communiquer la réforme (mai 2008)
- Après le Japon, la France...
Faire du vieillissement un moteur de croissance (décembre 2007)
- Au nom de l'Islam... Quel dialogue avec les minorités musulmanes en Europe ? (septembre 2007)
- L'exemple inattendu des Vets
Comment ressusciter un système public de santé (juin 2007)
- Vademecum 2007-2012
Moderniser la France (mai 2007)
- Après Erasmus, Amicus
Pour un service civique universel européen (avril 2007)
- Quelle politique de l'énergie pour l'Union européenne ? (mars 2007)
- Sortir de l'immobilité sociale à la française (novembre 2006)
- Avoir des leaders dans la compétition universitaire mondiale (octobre 2006)
- Comment sauver la presse quotidienne d'information (août 2006)
- Pourquoi nos PME ne grandissent pas (juillet 2006)
- Mondialisation : réconcilier la France avec la compétitivité (juin 2006)
- TVA, CSG, IR, cotisations...
Comment financer la protection sociale (mai 2006)
- Pauvreté, exclusion : ce que peut faire l'entreprise (février 2006)
- Ouvrir les grandes écoles à la diversité (janvier 2006)
- Immobilier de l'État : quoi vendre, pourquoi, comment (décembre 2005)
- 15 pistes (parmi d'autres...) pour moderniser la sphère publique (novembre 2005)
- Ambition pour l'agriculture, libertés pour les agriculteurs (juillet 2005)
- Hôpital : le modèle invisible (juin 2005)
- Un Contrôleur général pour les Finances publiques (février 2005)
- Les oubliés de l'égalité des chances (janvier 2004 - Réédition septembre 2005)

Pour les publications antérieures se référer à notre site internet :
www.institutmontaigne.org

INSTITUT MONTAIGNE



ABB
ACCURACY
ADIT
AIR FRANCE-KLM
AIRBUS GROUP
ALLEN & OVERY
ALLIANZ
ALVAREZ & MARSAL FRANCE
ARCHERY STRATEGY CONSULTING
ARCHIMED
ARDIAN
A.T. KEARNEY
AUGUST DEBOUZY
AXA
BAKER & MCKENZIE
BANK OF AMERICA MERRILL LYNCH
BEARINGPOINT
BNI FRANCE ET BELGIQUE
BNP PARIBAS
BOLLORÉ
BOUYGUES
BPCE
BRED BANQUE POPULAIRE
BRUNSWICK
CAISSE DES DÉPÔTS
CAPGEMINI
CARBONNIER LAMAZE RASLE & ASSOCIÉS
CAREIT
CARREFOUR
CASINO
CGI FRANCE
CHAÎNE THERMALE DU SOLEIL
CIS
CISCO SYSTEMS FRANCE
CNP ASSURANCES
COHEN AMIR-ASLANI
COMPAGNIE PLASTIC OMNIUM
CONSEIL SUPÉRIEUR DU NOTARIAT
CRÉDIT AGRICOLE
CRÉDIT FONCIER DE FRANCE
D'ANGELIN & CO LTD
DAVIS POLK & WARDWELL
DENTSU AEGIS NETWORK
DE PARDIEU BROCAS MAFFEI
DEVELOPMENT INSTITUTE INTERNATIONAL - DII
EDF
ELSAN
ENGIE
EQUANCY
EURAZEO
EUROSTAR
FONCIÈRE INEA
GAILLARD PARTNERS
GRAS SAVOYE
GROUPAMA
GROUPE EDMOND DE ROTHSCHILD
GROUPE M6
GROUPE ORANGE
HAMEUR ET CIE
HENNER
HSBC FRANCE
IBM FRANCE
IFPASS
ING BANK FRANCE
INSEEC
INTERNATIONAL SOS
IONIS EDUCATION GROUP
ISRP
JALMA
JEANTET ASSOCIÉS
KANTAR

SOUTIENNENT L'INSTITUT MONTAIGNE

INSTITUT MONTAIGNE



KPMG S.A.
LA BANQUE POSTALE
LA PARISIENNE ASSURANCES
LAZARD FRÈRES
LINEDATA SERVICES
LIR
LIVANOVA
LVMH - MOËT-HENNESSY - LOUIS VUITTON
MACSF
MALAKOFF MÉDÉRIC
MAZARS
MCKINSEY & COMPANY FRANCE
MÉDIA-PARTICIPATIONS
MERCER
MERIDIAM
MICHELIN
MICROSOFT FRANCE
NESTLÉ
OBEA
PAI PARTNERS
PIERRE & VACANCES
PRICEWATERHOUSECOOPERS
RADIAL
RAISE
RAMSAY GÉNÉRALE DE SANTÉ
RANDSTAD
RATP
REDEX
RENAULT
REXEL
RICOL, LASTEYRIE CORPORATE FINANCE
ROCHE
ROLAND BERGER
ROTHSCHILD & CIE
SANOFI
SANTÉCLAIR
SCHNEIDER ELECTRIC
SERVIER
SIA PARTNERS
SIACI SAINT HONORÉ
SIER CONSTRUCTEUR
SNCF
SNCF RÉSEAU
SODEXO
SOLVAY
STALLERGENES
SUEZ
TECNET PARTICIPATIONS SARL
THE BOSTON CONSULTING GROUP
TIGF
TILDER
TOTAL
UBS
VEOLIA
VINCI
VIVENDI
VOYAGEURS DU MONDE
WAVESTONE
WENDEL
WILLIS TOWERS WATSON
WORDAPPEAL

SOUTIENNENT L'INSTITUT MONTAIGNE

INSTITUT MONTAIGNE



COMITÉ DIRECTEUR

PRÉSIDENT

Henri de Castries

VICE-PRÉSIDENTS

David Azéma Associé, Perella Weinberg Partners

Jean-Dominique Senard Président, Michelin

Emmanuelle Barbara *Managing Partner*, August & Debouzy

Nicolas Baverez Avocat, Gibson Dunn & Crutcher

Marguerite Bérard-Andrieu Directrice générale adjointe en charge de la Stratégie, groupe BPCE

Jean-Pierre Clamadieu Président du Comité exécutif, Solvay

Olivier Duhamel Professeur émérite des Universités, Sciences Po

Mireille Faugère Conseiller Maître, Cour des comptes

Christian Forestier ancien recteur

Marwan Lahoud Directeur général délégué, Airbus Group

Natalie Rastoin Directrice générale, Ogilvy France

René Ricol Associé fondateur, Ricol Lasteyrie Corporate Finance

Arnaud Vaissie Co-fondateur et Président-directeur général, International SOS

Philippe Wahl Président-directeur général, Groupe La Poste

PRÉSIDENT D'HONNEUR

Claude Bébéar Fondateur et Président d'honneur, AXA

CONSEIL D'ORIENTATION

PRÉSIDENT

Ezra Suleiman Professeur, Princeton University

Benoît d'Angelin Président, Ondra Partners

Frank Bournois Directeur général, ESCP Europe

Pierre Cahuc Professeur d'économie, École Polytechnique

Loraine Donnedieu de Vabres Avocate, associée gérante, Jeantet et Associés

Pierre Godé ancien vice-Président, Groupe LVMH

Michel Godet Professeur, CNAM

Françoise Holder Administratrice, Groupe Holder

Philippe Josse Conseiller d'État

Marianne Laigneau Directrice des ressources humaines, Groupe EDF

Sophie Pedder Chef du Bureau de Paris, *The Economist*

Hélène Rey Professeur d'économie, London Business School

Laurent Bigorgne Directeur

INSTITUT MONTAIGNE



IL N'EST DÉSIR PLUS NATUREL QUE LE DÉSIR DE CONNAISSANCE



Rejoignez-nous sur :



Suivez chaque semaine
notre actualité en vous abonnant
à notre newsletter sur :
www.institutmontaigne.org

Institut Montaigne

59, rue La Boétie - 75008 Paris

Tél. +33 (0)1 53 89 05 60 - Fax +33 (0)1 53 89 05 61

www.institutmontaigne.org - www.desideespourdemain.fr

10 €

ISSN 1771-6756

Décembre 2017