



Source : SpaceX, barge de récupération du 1^{er} étage de Falcon 9

Résumé

- *Aucun pays, aucun secteur d'activité, aucun particulier ne peut se passer des services rendus par les satellites lancés en orbite : télécommunications, défense, météorologie, géolocalisation...*
- *L'irruption d'acteurs privés spatiaux, notamment l'américain SpaceX, et l'émergence du « New Space », ont entraîné une chute des prix et une concurrence exacerbée, en particulier grâce à la maîtrise de la récupération et de la réutilisation des lanceurs.*
- *Le lanceur européen Ariane 6, qui sera opérationnel en 2020, n'est pas réutilisable. Son plan d'affaires n'est par ailleurs pas encore totalement assuré dans le contexte actuel du marché. Le débat continue sur la nécessité ou non de maîtriser les technologies de réutilisation pour assurer à l'Europe le maintien de son rang de puissance spatiale autonome.*
- *Au-delà, apparaît le besoin d'une évolution de la gouvernance de la politique spatiale européenne qui permette des choix clairs.*

M. Jean-Luc Fugit, Député

■ Accès autonome à l'espace

Sous l'impulsion de la France, le programme des lanceurs Ariane ⁽¹⁾, initié en 1974, a répondu au besoin des pays européens d'un accès autonome à l'espace, comme élément de leur souveraineté. Indépendamment du projet américain de « force spatiale » ⁽²⁾, l'enjeu est évident pour les besoins de défense et de sécurité, afin de garantir notre « liberté d'agir dans l'espace » ⁽³⁾. Mais il l'est tout autant pour les acteurs commerciaux, afin d'éviter les distorsions de concurrence aux dépens de l'Europe. Cette vision n'est cependant pas partagée par tous, notamment les pays nordiques et anglo-saxons. Ainsi, le Royaume-Uni n'estime pas indispensable de disposer d'un lanceur européen ; dans une approche purement financière de retour sur investissement, ce pays a quitté les programmes lanceurs depuis Ariane 5 ⁽⁴⁾.

■ Espace : la « prochaine activité économique à mille milliards de dollars » ⁽⁵⁾

Les activités permises par la maîtrise de l'espace, essentiellement avec l'envoi de satellites autour de la Terre, prennent de plus en plus d'importance, concernent tous les secteurs économiques et impactent la vie quotidienne : télécommunications, connectivité, télédiffusion, météorologie, géolocalisation, observation de la Terre, prévention et secours en cas de catastrophes naturelles, surveillance des infrastructures, sécurité et défense, connaissance scientifique, suivi des évolutions climatiques, exploration spatiale...

Une étude de Morgan Stanley estime que le montant total du marché spatial – des constructeurs de satel-

lites jusqu'aux fournisseurs de services – va plus que tripler, passant de 350 milliards de dollars en 2017 à 1 100 milliards en 2040 ⁽⁶⁾.

■ L'irruption de la réutilisabilité avec SpaceX

Le 100^e lancement d'Ariane 5 a été réalisé en septembre 2018. Le lanceur européen Ariane a été le seul opérationnel en continu pendant 30 ans sur les marchés ouverts à la concurrence, avec les promesses non tenues de la navette spatiale américaine ⁽⁷⁾ et le recul sur le marché des lanceurs russes. En effet, la navette américaine, en activité entre 1981 et 2011, devait voler chaque semaine, avec un prix unitaire de 30 millions de dollars ; mais elle n'a jamais effectué que 4 à 5 lancements par an, avec un prix unitaire estimé entre 0,5 et 1,5 milliard de dollars ⁽⁸⁾. En revanche, avec les lanceurs Falcon, la société privée SpaceX ⁽⁹⁾, créée par Elon Musk en 2002, mais ayant largement bénéficié du soutien de la NASA, est en passe de devenir le leader mondial des lancements spatiaux, en diminuant drastiquement les prix grâce à une organisation industrielle très concentrée et à l'exploitation des retours d'expérience et en ayant misé dès l'origine sur les technologies réutilisables. Seulement trois ans après le 1^{er} essai réussi de récupération (fin 2015), SpaceX récupère et réutilise maintenant le 1^{er} étage de ses lanceurs pour plus d'un tir sur deux ⁽¹⁰⁾. Selon SpaceX, la version Block 5 du Falcon 9, lancée pour la première fois en mai 2018, pourrait être réutilisable jusqu'à dix fois avec une remise en état en 24 heures ⁽¹¹⁾. Depuis, de nombreux acteurs spatiaux mondiaux suivent cette voie. À la différence des États-Unis, l'Europe ne dispose ni d'un

moteur de forte puissance, à poussée modulable et réutilisable, ni de la maîtrise du retour d'étage, sur lesquels les Américains travaillent depuis dix ans déjà. En décembre 2014, les pays européens ont cependant décidé de développer le lanceur Ariane 6, dont le premier vol est prévu en 2020, qui vise à permettre de réduire le prix de lancement de 40 à 50 %. L'Office, qui suit les affaires spatiales depuis son origine, y a consacré deux rapports depuis 2012 ⁽¹²⁾.

Types de récupération / réutilisation

- Ailes (navette/NASA ; X-37/ USAF ; White Knight / Stratolaunch ; CosmicGirl et LauncherOne / Virgin Orbit et Galactic ; Phantom Express / Boeing...)
- Parachute (Vulcan de United Launch Alliance...)
- Atterrissage vertical (« *toss back* »), avec récupération du 1^{er} étage (Falcon 9 de SpaceX, New Glenn de Blue Origin, Longue Marche 8 de CALT ^(*), démonstrateur Calisto du CNES/DLR /JAXA...)

Technologies clés à développer

- Moteur réallumable avec poussée modulable
- Protection thermique du moteur
- Pilotage et contrôle en vol du véhicule

(*) CALT : Chinese Academy of Launch Vehicle Technology (中国运载火箭技术研究院)

Ariane 6 fonctionne avec trois moteurs : *Solid Rocket Motor*, à poudre, pour les propulseurs d'appoint, qui n'est pas réutilisable ; deux moteurs cryogéniques (hydrogène et oxygène liquides), Vulcain 2.1 de l'étage principal et Vinci de l'étage supérieur, dont la réutilisabilité n'a jamais été développée en dehors des essais au sol. Les lanceurs Falcon 9 fonctionnent avec un seul moteur, Merlin, semi-cryogénique (oxygène liquide et kérosène) et réutilisable ; seul un tel moteur peut être utilisé sur les deux étages ⁽¹³⁾.

SpaceX a maîtrisé avec succès la rentrée dans l'atmosphère terrestre d'éléments de lanceurs grâce à la mise à disposition par la NASA et par le ministère américain de la défense (DoD) des technologies développées depuis la fin des années 1980 sur des démonstrateurs comme Delta Clipper, X33/X34 ou Aerospaceplane de McDonnell Douglas. Outre la modulation très fine de la poussée des moteurs, il est nécessaire de maîtriser le profil de retour dans toutes ses composantes physiques ⁽¹⁴⁾, avec une gestion de l'instabilité évitant qu'une infime erreur entraîne mauvaise inclinaison et désintégration dans l'atmosphère.

■ Analyse économique

La concurrence internationale menée par SpaceX et les autres constructeurs de lanceurs met à mal le plan d'affaires (*business plan*) d'ArianeGroup. Le maintien d'une chaîne de production de lanceurs nécessite au minimum une production annuelle de 6 et idéalement 10 exemplaires, mais ArianeGroup regrette de ne pas voir garanties les 3 à 5 commandes institutionnelles par an (défense, géolocalisation, observation...). En effet, à la différence de toutes les autres puissances

spatiales, il n'existe pas de règle assurant une préférence européenne pour les lancements institutionnels ⁽¹⁵⁾. Même les commandes sur le marché commercial des lancements (communications, observation...) ne sont pas certaines pour Ariane 6 : le prix de 130 millions de dollars pour le lancement de deux satellites, qui équilibre le projet industriel, risque en effet d'être supérieur à ce que proposeront SpaceX et d'autres concurrents. La société SpaceX facture près de 100 millions de dollars par lancement à la NASA ou au DoD ⁽¹⁶⁾, mais descend à 50 ou 60 millions pour un lancement équivalent sur les marchés commerciaux. SpaceX bénéficie également des importants budgets de R&D de la NASA et de l'*US Air Force*. Arianespace évoque maintenant à nouveau l'hypothèse d'un soutien à l'exploitation des lancements d'Ariane 6 sur le marché concurrentiel, pour compenser l'absence de 5 lancements institutionnels sur lesquels s'était engagée l'Agence spatiale européenne (ESA) en 2014 et le rétrécissement du marché commercial (contraction des commandes de satellites géostationnaires, situation d'attente vis-à-vis des constellations de satellites). Derrière les pratiques commerciales de SpaceX, substantiellement soutenue par la NASA et le DoD, on peut voir le souhait du gouvernement américain de s'assurer une domination sur un secteur jugé stratégique ⁽¹⁷⁾.

Le bilan coûts-avantages de la réutilisabilité reste controversé à ce stade. Ainsi, si ArianeGroup estime que la réutilisation du 1^{er} étage pourrait entraîner une économie de 10 % sur le prix d'un lancement, le CNES ⁽¹⁸⁾ et SpaceX estiment cette économie à 30 %.

Une autre controverse concerne la cadence des lancements. La taille du marché américain des lancements orbitaux lourds, entre 20 et 30 par an, permet de faire vivre deux programmes de lanceurs (*United Launch Alliance* – ULA ⁽¹⁹⁾ et SpaceX) ⁽²⁰⁾. En outre, les lancements institutionnels sont, de par la loi américaine, réservés exclusivement aux lanceurs américains ⁽²¹⁾. L'Europe ne réalise qu'une dizaine de lancements par an, dont un tiers pour des satellites institutionnels, les autres devant être cherchés sur les marchés concurrentiels pour amortir les lignes de fabrication et de lancement ⁽²²⁾ ; elle ne peut faire vivre qu'un seul programme de lancement lourd, avec l'opérateur ArianeGroup (coentreprise d'Airbus et de Safran, qui a intégré la structure de commercialisation Arianespace) en situation de monopole. Longtemps sur la défensive au motif que le marché potentiel des lanceurs européens ne justifiait pas le développement de lanceurs réutilisables, le CNES considère maintenant que la preuve est faite par SpaceX et qu'il n'y a pas d'autre choix ⁽²³⁾. Le point reste discuté, au motif qu'en Europe le modèle économique de la réutilisation n'est pas encore prouvé, que le marché ne la justifie pas, que la réduction des prix d'Ariane 6 est suffisante pour les besoins européens, et que la priorité du moment est le succès d'Ariane 6 en 2020 ⁽²⁴⁾.

■ « New Space » (nouvel espace)⁽²⁵⁾

La combinaison de la baisse du coût d'accès à l'espace, de la multiplication du nombre des acteurs privés, des financements et des ruptures technologiques – comme la miniaturisation des composants, la motorisation électrique, l'impression 3D ou la réutilisation –, a été dénommée « New Space ». Ainsi, Jeff Bezos, fondateur et PDG d'Amazon, a créé en 2002 Blue Origin, qui développe les lanceurs lourds réutilisables New Glenn et New Shepard en s'appuyant sur une fortune considérable avec un budget qu'il qualifie d'« illimité »⁽²⁶⁾. Par ailleurs, aux principales puissances spatiales historiques (États-Unis, Chine⁽²⁷⁾, Russie, Europe, Japon et Inde, mais aussi Israël, Iran et les deux Corées), s'ajoutent Singapour, le Brésil, l'Arabie saoudite, les Émirats arabes unis⁽²⁸⁾...

Mais il n'y a pas de « New Space » sans « Old Space » ; or on estime que, sur les 80 milliards de dollars par an d'investissements publics et privés dépensés aux États-Unis dans l'espace, le « New Space » ne représenterait que 4 milliards⁽²⁹⁾. En comparaison sur le même périmètre, en Europe, mais avec un fonctionnement totalement différent, le total des investissements publics dans l'espace – ESA, Commission européenne et agences spatiales nationales – ne dépasse pas 10 milliards de dollars par an (9 milliards d'euros).

La période actuelle marque un certain reflux du nombre de lancements, en raison de l'incertitude relative au choix entre classiques satellites lourds géostationnaires et micro-constellations en orbite basse, qui n'ont pas encore fait leurs preuves. Mais est attendu par tous un boom des activités spatiales à terme, entraîné par la multiplication des applications nécessitant des satellites. Selon l'Association de l'industrie satellitaire (SIA), le secteur des lanceurs ne représente que 1,3 % de l'économie spatiale mondiale, l'industrie satellitaire 79 %⁽³⁰⁾. Au vu de ces proportions relatives, la dispersion des acteurs des lanceurs apparaît excessive, en raison de son importance stratégique⁽³¹⁾.

■ Analyse écologique

L'analyse des impacts environnementaux des lancements spatiaux a fait l'objet d'une étude du CNES dès 2013. La phase de vol elle-même, bien que spectaculaire, n'est pas la plus impactante sur l'environnement. Les activités industrielles intervenant en amont (fabrication, carburant, base spatiale) arrivent nettement en tête. Avec Ariane 5, les trajectoires sont contraintes de façon à libérer l'orbite des éléments accessoires des lancements en moins de 25 ans. Avec Ariane 6, un pas supplémentaire sera franchi avec une rentrée atmosphérique systématique de l'étage supérieur après lancement, au prix d'une perte de performance.

La trajectoire des éléments qui retombent lors du lancement est calculée pour viser des zones maritimes définies et leur conception prend en compte le besoin de ne pas générer d'épaves flottantes.

Concernant les lanceurs réutilisables, chaque élément réutilisé n'a par définition pas besoin d'être refabriqués et ne retombe pas en mer. Mais SpaceX ne réutilise que les 1^{ers} étages.

■ Quelle réutilisabilité européenne ?

Dès 2010, Airbus a travaillé, sur fonds propres, à un programme de réutilisation partielle du 1^{er} étage des lanceurs, dénommé ADELINÉ⁽³²⁾. Mais c'est seulement en 2015 que le CNES et ArianeGroup ont décidé d'initier le programme Prometheus de moteur à oxygène et méthane liquides, qui permettrait une division par dix des coûts⁽³³⁾ et une réutilisabilité sur un lanceur, encore à déterminer. Le programme a ensuite été soutenu par l'ESA⁽³⁴⁾, avec l'appui de l'Allemagne, de la Belgique, de la Suisse, de la Suède et de l'Espagne. Après les premiers tests prévus en 2020, Prometheus pourrait être disponible en 2025. À terme, il est amené à remplacer les trois moteurs actuels : *Solid Rocket Motor* (produits au Haillan près de Bordeaux et à Colleferro près de Rome) ; Vulcain 2.1 et Vinci (produits à Vernon dans l'Eure).

La maîtrise de la réutilisation des lanceurs, qui peut être seulement partielle, nécessitera sans doute une évolution d'Ariane 6, qu'il faudrait doter d'un seul moteur, à oxygène et hydrocarbure liquides. Cette évolution est permise par le degré de maturité maintenant atteint par la filière moteurs des lanceurs civils (oxygène et hydrocarbure liquides). Un tel choix, qui abandonnerait donc la propulsion solide pour le civil, réduirait les synergies civil-militaire (missiles balistiques M51) aux compétences de maîtrise d'œuvre système, de programmes de vol et de pilotage.



Source : CNES, démonstrateur européen Callisto

Outre le moteur Prometheus, l'Europe porte deux projets, Callisto et Themis. Callisto est un démonstrateur de lanceur à échelle 1/10 permettant de tester le retour du 1^{er} étage, le programme de vol et l'atterrissage en un point précis. Il est actuellement développé par le CNES, la DLR⁽³⁵⁾ et JAXA⁽³⁶⁾, mais sans l'ESA ni ArianeGroup. Le projet Themis, porté actuellement par le CNES et ArianeGroup, est un démonstrateur à l'échelle 1 d'un étage réutilisable propulsé par Prometheus, qui sera proposé au financement des pays membres de l'ESA fin 2019⁽³⁷⁾. En fonction des financements mobilisés, un 1^{er} essai en vol pourrait intervenir avant 2025.

■ Conclusions et recommandations

La politique spatiale européenne constitue un succès historique majeur qu'il faut poursuivre, voire renforcer ; or une certaine fébrilité est actuellement perceptible, certains remettant même en cause le développement d'Ariane 6.

- La maîtrise de la réutilisation

L'irruption de nouveaux constructeurs de lanceurs, comme SpaceX, constitue une menace sérieuse pour la compétitivité du futur lanceur européen Ariane 6. Au-delà de l'industrialisation des processus de production (*lean management*), qui a déjà divisé les prix par deux (Ariane 6, Falcon 9...), la réutilisabilité de certaines parties des lanceurs pourrait permettre une baisse supplémentaire des prix. Or l'Europe ne disposant toujours pas des technologies le permettant, on pourrait craindre que l'industrie spatiale européenne ne soit reléguée au second rang, alors que la puissance des nations s'exerce aussi dans l'espace.

La maîtrise des technologies de récupération et de réutilisation des lanceurs ne fait cependant actuellement pas consensus en Europe.

Au plan scientifique, elle conditionne notre capacité collective à maîtriser des connaissances clés qui irrigueront un grand nombre de domaines de recherche et de développements technologiques, de secteurs industriels et de services. Mais, au niveau stratégique, est-elle la condition de la préservation de notre autonomie d'accès à l'espace ? Les difficultés de modernisation du secteur spatial russe montrent qu'un pays qui n'innove plus est condamné, interdisant tout scénario de repli sur les technologies existantes. Au plan de l'attractivité pour nos jeunes scientifiques, les ruptures technologiques constituent très certainement un élément fondamental. Face au scepticisme européen globalement croissant, le programme Ariane représente un argument puissant.

- Les enjeux financiers

En 2018, le budget de l'ESA était de 5,6 milliards d'euros, celui du CNES de 1,4 milliard et le budget spatial de la DLR de 1,5 milliard⁽³⁸⁾. La Commission européenne, dans sa proposition d'enveloppe budgétaire de juin 2018, a porté les crédits de la politique spatiale à 16 milliards sur la période 2021-2027⁽³⁹⁾.

Dans la perspective de la prochaine conférence ministérielle de l'ESA prévue en novembre 2019 en Espagne, il importera de s'interroger sur les évolutions possibles d'Ariane 6 : incrémentales en fonction des évolutions technologiques continues, puis conceptuelles, avec un nouveau lanceur réutilisable. Elon Musk a pour sa part indiqué qu'il avait dépensé jusqu'à présent 1 milliard de dollars pour développer la récupération et la réutilisation⁽⁴⁰⁾. Selon ce que l'on souhaite récupérer et comment, les estimations de besoin de financement public varient entre 1 et 3 milliards d'euros⁽⁴¹⁾. Le développement d'Ariane 6 et de Vega C avait nécessité 3,4 milliards d'euros en cinq

ans, plus 600 millions d'euros pour la construction d'un nouveau pas de tir au centre spatial guyanais (Kourou)⁽⁴²⁾. Ces dépenses ont un effet de levier important sur l'activité économique. L'ESA a ainsi calculé que, pour 100 euros dépensés pour le développement d'Ariane 5, 320 sont générés en valeur ajoutée supplémentaire dans l'économie ; quelque 50 milliards d'euros de chiffre d'affaires auraient ainsi été générés entre 2000 et 2012 dans l'industrie européenne spatiale et non spatiale⁽⁴³⁾.

Quels choix possibles de décision publique ?

- *Statu quo* (Ariane 6, Prometheus et Callisto)
- *Statu quo* + Themis (200 millions d'euros)
- *Statu quo* + un programme européen de développement du réutilisable (1 à 3 milliards d'euros)

- La simplification de la gouvernance

Il apparaît souhaitable de simplifier la gouvernance des programmes européens de lanceurs, par exemple avec un rapprochement entre l'ESA et la Commission européenne et un cœur industriel composé des trois pays principaux contributeurs (France, Allemagne et Italie), les autres pays de l'ESA qui le souhaitent pouvant participer en appui selon leurs compétences. Cette évolution devra sans doute entraîner un assouplissement du principe de retour géographique⁽⁴⁴⁾ actuellement appliqué à 0,01 % près, entraînant redondances de compétences et duplications d'investissements, au profit d'un système (*smart geo-return*) fondé sur la compétitivité comparée (*fair contribution*), afin de laisser l'industrie libre de se restructurer de façon optimale et, ainsi, de réduire les prix.

Il sera difficile d'expliquer à nos concitoyens pourquoi les pays européens financent la conception de lanceurs spatiaux s'ils confient certains de leurs lancements à SpaceX ou d'autres constructeurs mondiaux. Il conviendrait à cet égard de s'entendre enfin sur une préférence européenne pour tous les lancements institutionnels des pays de l'ESA⁽⁴⁵⁾. En France également, la réforme de 2014 n'a pas mis fin aux tensions entre les différents acteurs.

- Perspectives

Au-delà des lanceurs, il y a lieu de souligner que le spatial répond aux grands enjeux sociétaux, comme la lutte contre la fracture numérique ou la connaissance de la situation environnementale de la Terre. Thales, par exemple, estime que le satellite permettrait de gagner cinq à dix ans sur le délai de raccordement des zones reculées aux réseaux de communication, pour un coût quatre fois moindre qu'avec la fibre optique. La conférence ministérielle de l'ESA fin 2019 pourrait être l'occasion de réexaminer les priorités sur l'ensemble de la filière spatiale (lanceurs, satellites et services).

Sites Internet de l'OPECST :

<http://www.assemblee-nationale.fr/commissions/opecest-index.asp>
<http://www.senat.fr/opecest/>

Personnes auditionnées

M. Riadh CAMMOUN, vice-président affaires publiques et réglementaires, M. Louis LAURENT, directeur adjoint centres de compétences de Thales Alenia Space (TAS) et Mme Isabelle CAPUTO, directeur adjoint des relations institutionnelles de Thales

M. David CAVAILLOLÈS, conseiller budgétaire, industrie et espace au cabinet de la ministre de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation

M. Alain CHARMEAU, président exécutif d'ArianeGroup et M. Stéphane ISRAËL, président exécutif, M. Alexandre ARCHIER, directeur des affaires publiques, M. Maxime JAMBON, assistant exécutif du président, Arianespace

M. Jean-Jacques DORDAIN, conseiller auprès du président du Centre national d'études spatiales (CNES), ancien directeur général de l'Agence spatiale européenne (ESA)

M. Morgan GUÉRIN, responsable du programme Europe, et M. Arthur SAUZAY, avocat, auteur de la note « Espace : l'Europe contre-attaque ? », Institut Montaigne

M. Jean-Yves LE GALL, président, M. Jean-Marc ASTORG, directeur des lanceurs et M. Pierre TRÉFOURET, directeur de cabinet du président, CNES

M. Daniel NEUENSCHWANDER, directeur du transport spatial de l'ESA

Contributions

Académie des technologies – groupe de travail composé de :

M. Jean-Jacques DORDAIN, conseiller auprès du président du CNES ; M. Michel COURTOIS, ancien directeur du centre technique de l'ESA (ESTEC) ; M. Michel LAROCHE, ancien directeur général adjoint recherche et technologie, Safran ; M. Marc PIRCHER, ancien directeur du CNES, centre spatial de Toulouse ; avec la consultation de M. Bruno LE STRADIC, directeur ingénierie systèmes spatiaux, Airbus Defence & Space

Experts consultés

Mme Astrid LAMBRECHT, directrice de recherche au CNRS, directrice de l'Institut de physique du CNRS (INP/CNRS), membre du conseil scientifique de l'OPECST

M. Marcel VAN DE VOORDE, Professeur à l'Université technologique de Delft, Pays-Bas, membre du conseil scientifique de l'OPECST

Mme Isabelle SOURBES-VERGER, directeur de recherche au CNRS, directeur de recherche au centre Alexandre Koyré (EHESS, CNRS, MNHN)

M. Xavier PASCO, directeur de la Fondation pour la recherche stratégique (FRS)

M. Hervé GRANDJEAN, conseiller pour les affaires industrielles, cabinet de la ministre des armées

Références

⁽¹⁾ ArianeGroup (ex Airbus Safran Launchers) : <https://www.ariane.group/fr/lancement-spatial/heritage-ariane/>

⁽²⁾ Le président Donald Trump a annoncé en juin 2018 que le DoD mettrait en place une sixième branche des forces armées (« US Department of the Space Force ») d'ici 2020 : <https://dod.defense.gov/News/Article/Article/1598071/space-force-to-become-sixth-branch-of-armed-forces/>

⁽³⁾ Voir le discours de Mme Florence Parly, ministre des armées, CNES, 7 septembre 2018 : <https://www.defense.gouv.fr/english/salle-de-presse/discours/discours-de-florence-parly/discours-de-florence-parly-ministre-des-armees-au-au-cnec-le-vendredi-07-septembre-2018>

⁽⁴⁾ Cependant, le pays participe au financement du centre spatial guyanais et commence aujourd'hui à investir dans un « spa-tioport » et dans des projets de microlanceurs lancés depuis l'Écosse.

⁽⁵⁾ The "next trillion dollar economy".

⁽⁶⁾ Morgan Stanley, Research, 7 novembre 2018, "Space : investing in the final frontier":

<https://www.morganstanley.com/ideas/investing-in-space>

Bank of America – Merrill Lynch évoque même un marché qui pourrait atteindre 2 700 milliards à l'horizon 2045 !

Bank of America Merrill Lynch, Equity, 30 octobre 2017, "To infinity and beyond – Global space Primer", 101 pages :

<https://go.guidants.com/q/db/a2/1e1ffc185c1d44bd.pdf>

⁽⁷⁾ Space Transportation System (STS), communément dénommée US space shuttle.

⁽⁸⁾ En outre, les deux accidents de Challenger (1986) et Columbia (2003), avec perte d'équipage, ont fait douter de sa fiabilité.

⁽⁹⁾ Space Exploration Technologies Corp. : <https://www.spacex.com/>

⁽¹⁰⁾ En 2018, au 30 octobre, 9 des 17 missions exécutées par SpaceX utilisaient des lanceurs Falcon 9 ayant déjà volé, ce qui représente 53 % des lancements. Il s'agit d'une augmentation significative par rapport à 2017 où 5 missions seulement avaient utilisé des fusées Falcon 9 ayant déjà volé. (Source : SpaceX)

⁽¹¹⁾ Il s'agit encore d'un objectif, toujours selon SpaceX, le reconditionnement du dernier Falcon 9 lancé le 8 octobre 2018 a été réalisé en deux mois. Pour la première fois le 3 décembre 2018, SpaceX a réussi une troisième utilisation d'un premier étage de lanceur. Il est à noter que, lors de ce lancement, SpaceX a tenté sans succès de récupérer la coiffe du lanceur sur un bateau équipé de grands filets. Les coûts de remise en état ne sont pas révélés par SpaceX.

⁽¹²⁾ Voir les rapports de l'Office :

– « L'Europe spatiale : quels changements de paradigme ? » (n° 32053), présenté le 25 novembre 2015 par M. Jean-Yves Le Déaut, Mme Catherine Procaccia et M. Bruno Sido ;

– « Europe spatiale : l'heure des choix » (n° 348), présenté le 7 novembre 2012 par Mme Catherine Procaccia et M. Bruno Sido.

⁽¹³⁾ Les différents types de moteurs spatiaux :

	Propulsion solide	Propulsion liquide				
Type d'ergol	Solide	Deux types d'ergols			Un type d'ergol	
Propriété	Stockable à température ambiante	Cryogénique	Semi-cryogénique		Stockable à température ambiante	
Composition	Ammonium Perchlorate + Poudre d'alu. + Liant	Hydrogène liquide (- 250°C) + Oxygène liquide (- 180°C)	Kérosène (temp. ambiante) + Oxygène liquide (- 180°C)	Méthane (- 160°C) + Oxygène liquide (- 180°C)	Dérivés de l'hydrazine avec du peroxyde d'azote liquide	Hydrazine
Compatible / réutilisation	non	oui	oui	oui	oui	oui

(Source : ArianeGroup)

⁽¹⁴⁾ Algorithmes de vol, aérodynamisme, précision d'atterrissage...

⁽¹⁵⁾ Ainsi, en 2018, Falcon 9 de SpaceX a-t-il mis en orbite le satellite luxembourgeois Govsat-1, dédié aux communications duales ultrasécurisées (OPEX, échanges entre sites institutionnels et de défense, renseignement, surveillance et reconnaissance), et le satellite militaire espagnol Paz d'observation de la Terre. À la suite d'un contrat signé en 2013 avec SpaceX, c'est le même Falcon 9 qui devrait lancer cette année et l'année prochaine les trois satellites SARah de reconnaissance radar utilisés par l'armée allemande, en remplacement de la constellation des cinq satellites SAR-Lupe.

⁽¹⁶⁾ SpaceX fait valoir que les lancements gouvernementaux américains ont des exigences de mission et des complexités propres aux contrats gouvernementaux, ce qui rend difficile la comparaison des coûts de lancement entre le gouvernement américain et les utilisateurs finaux commerciaux.

⁽¹⁷⁾ Voir le document d'Eurospace « The growing US ambition for space dominance, a new challenge for European independence in space », octobre 2018 : <https://eurospace.org/eurospace-position-paper-the-growing-us-ambition-for-space-dominance-a-new-challenge-for-european-independence-in-space/>

Le président Donald Trump a fait de l'hégémonie américaine dans l'espace une stratégie militaire, civile et commerciale contre tout concurrent, au premier rang desquels la Chine. L'armée américaine entend conserver son avancée technologique en concentrant ses moyens (DARPA, Strategic Capabilities Office, etc.) sur les capacités de rupture (« disruptive »). Est inclus dans cette stratégie un soutien public massif et multiforme aux entreprises spatiales privées américaines, la baisse des coûts induite devant bénéficier aux lancements institutionnels américains et mettre en difficulté les concurrents non américains.

Le Conseil national de l'espace (National Space Council), restauré en juin 2017 et présidé par le vice-président Mike Pence, joue aujourd'hui un rôle clé dans cette nouvelle dynamique visant en particulier à « réformer des politiques spatiales dépassées ». Trois directives de politique spatiale (Space Policy Directives) ont depuis été promulguées, avec notamment en mai 2018 la SPD-2, portant sur l'allègement des réglementations et le soutien du développement du secteur privé.

⁽¹⁸⁾ Centre national d'études spatiales.

⁽¹⁹⁾ Boeing et Lockheed Martin : <https://www.ulalaunch.com/>

⁽²⁰⁾ Sur les 85 lancements orbitaux réussis en 2017, les États-Unis en ont réalisés 29 (34 %), la Russie 20 (24 %), la Chine 17 (20 %), l'Europe 9 (11 %), le Japon 6 (7 %) et l'Inde 4 (5 %). Avec Falcon 9, SpaceX a réalisé 18 des 29 lancements américains. Les autres lancements américains l'ont été par United Launchers alliance (Atlas et Delta) et Orbital (Minotaur et Antares). En Europe, ArianeGroup a réalisé 6 lancements avec Ariane 5 (dont cinq doubles avec deux satellites lancés) et 3 lancements avec Vega (dont un double). Sur les dix premiers mois de 2018, la Chine a réalisé 30 lancements orbitaux (35,7 %), les États-Unis 26 (30,9 %), la Russie 11 (13 %), l'Europe 6 (7,1 %), le Japon 6 (7,1 %), l'Inde 4 (4,8 %) et la Nouvelle-Zélande 1 (1,2 %). Source : Air & Cosmos n° 2618, 23 novembre 2018.

⁽²¹⁾ Un ensemble de politiques et de lois américaines exigent que les satellites gouvernementaux soient lancés par les fournisseurs de lancement américains. Plusieurs lois et déclarations de politique américaine exigent que les véhicules de lancement des satellites du gouvernement américain soient fabriqués aux États-Unis. Le titre 51 du code sur les programmes spatiaux nationaux et commerciaux exige que « le gouvernement fédéral [achète] des services de transport spatial auprès de fournisseurs commerciaux américains ». Il définit ensuite un fournisseur commercial américain comme étant celui qui « appartient à plus de 50 % à des ressortissants américains ». En outre, le titre 41 de ce code, sections 8301 à 8305 (« Buy American Act ») prévoit que, pour qu'un article soit considéré comme fabriqué aux États-Unis, au moins 50 % de tous ses composants, en coûts, doivent être fabriqués aux États-Unis.

En outre, de nombreuses règles déterminent quels lanceurs peuvent être utilisés par les programmes gouvernementaux américains. La Politique nationale des transports spatiaux (NSTP) énonce comme objectif : « Les charges utiles du gouvernement des États-Unis doivent être lancées sur des véhicules fabriqués aux États-Unis, à moins qu'une exemption ne soit coordonnée. » L'instruction du DoD 3100.12, « Soutien spatial » (space support), dispose que « les charges utiles du DoD doivent être lancées sur des lanceurs fabriqués aux États-Unis » et que « les services de lancement spatiaux commerciaux américains doivent être utilisés dans toute la mesure possible... conformément à la [NSPT] et à [la loi de 1988 sur l'espace commercial]. »

« La plupart des accords de lancement conclus par le gouvernement sont également soumis au règlement fédéral sur les acquisitions. Celui-ci dispose que le lieu de fabrication d'un article est « principalement aux États-Unis... si le prix total anticipé des produits finis offerts fabriqués aux États-Unis dépasse le prix total prévu des produits finis offerts fabriqués en dehors des États-Unis ». La partie 52.225-18 de ce règlement sur les acquisitions définit également le « lieu de fabrication » comme « le lieu où un produit fini est assemblé à partir de ses composants ».

“Launching U.S. government payloads on foreign soil: regulatory and policy analysis”, Barbara M. Braun et Eleni M. Sims, Aerospace, Center for space policy and strategy, juillet 2018.

https://aerospace.org/sites/default/files/2018-08/Braun-Sims_ForeignLaunch_08062018.pdf

Il faut rappeler que les commandes publiques spatiales s'élèvent à environ 50 milliards de dollars par an aux États-Unis : agence spatiale américaine (NASA) 20 milliards, ministère de la défense (DoD) 20 milliards connus publiquement et environ 10 autres milliards pour les programmes secret-défense (selon les données comparées publiées tous les ans par la Federal Aviation Administration – FAA). En plus des subventions, les soutiens américains peuvent prendre la forme de prix de lancement supérieurs au prix du marché, de contrats de service, de mise à disposition de la base de lancement fédérale ou de transfert de compétences techniques par transfert de personnels.

⁽²²⁾ Selon l'ESA, le poids relatif des lancements institutionnels intérieurs par rapport aux lancements commerciaux ou extérieurs des différents pays ou ensemble de pays est le suivant :

Europe	Russie, Ukraine, Belarus	Etats-Unis	Chine	Japon	Inde
34	62	73	59	15	17

⁽²³⁾ Audition de M. Jean-Yves Le Gall, président du CNES.

⁽²⁴⁾ Notamment l'Académie des technologies, M. Jean-Jacques Dordain, conseiller auprès du président du CNES, ancien directeur général de l'ESA, M. Alain Charneau, PDG d'ArianeGroup, ou M. Stéphane Israël, PDG d'Arianespace.

⁽²⁵⁾ La nouvelle industrie spatiale.

⁽²⁶⁾ Jeff Bezos injecterait en effet 1 milliard de dollars par an de sa fortune personnelle dans la société.

⁽²⁷⁾ En ayant réalisé pour la première fois en 2018 plus de lancements orbitaux annuels que les États-Unis, la Chine pourrait à terme devenir la principale puissance spatiale, avec le plus grand marché au monde, les plus grandes capacités de financement et de technologie.

⁽²⁸⁾ En précisant qu'ils n'ont pas encore de capacité de lancement.

⁽²⁹⁾ Source : audition de M. Jean-Yves Le Gall, président du CNES.

⁽³⁰⁾ Selon la Satellite Industry Association (SIA), à partir des statistiques produites par Bryce Space and Technology, l'activité économique spatiale mondiale représentait en 2017 348 milliards d'euros, dont 37 % pour les services sur satellites (télécom-

munications, observation de la Terre, sciences et sécurité nationale), 34 % pour les équipements au sol, 23 % pour les services non satellitaires (essentiellement les budgets spatiaux publics), 4,5 % pour la construction de satellites et seulement 1,3 % pour les lanceurs : https://brycetech.com/downloads/SIA_SSIR_2018.pdf

⁽³¹⁾ Selon l'Académie des technologies (contribution à l'Office), « Si l'activité industrielle concernant les lanceurs reste limitée, elle protège une autre activité à caractère industriel, celle de la conception, de la fabrication et de la commercialisation des satellites commerciaux, mais aussi d'autres activités de service [...], qui représentent vingt à trente fois celle du service des lancements. »

⁽³²⁾ Airbus Defence and Space avait révélé, en juin 2015, travailler sur le projet ADELIN (ADvanced Expendable Launcher with INnovative engine Economy). Le bas du premier étage de la fusée, une fois détaché de son réservoir et de l'étage supérieur, aurait été équipé d'ailettes et d'hélices qui lui permettraient, moteur de la fusée éteint, de revenir sur Terre en volant comme un drone. Reviendraient ainsi 80 % de la partie du premier étage la plus coûteuse : moteur, baie de propulsion et équipements d'avionique liés. Airbus espérait ainsi pouvoir exploiter le même moteur 10 ou 20 fois. Il voulait également récupérer l'étage supérieur, transformable en remorqueur de l'espace. Prévu pour être opérationnel en 2030, le projet ADELIN n'a jamais été financé par les pays de l'ESA. <https://www.agences-spatiales.fr/fusee-reutilisable-adeline-airbus/>

⁽³³⁾ Par rapport au moteur actuel Vulcain.

⁽³⁴⁾ L'Agence spatiale européenne (ESA), qui regroupe 22 pays, dont 20 États membres de l'Union européenne, mais avec la Norvège et la Suisse, est une organisation intergouvernementale.

⁽³⁵⁾ L'Agence spatiale allemande (Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt).

⁽³⁶⁾ L'Agence spatiale japonaise (Japan Aerospace eXploration Agency).

⁽³⁷⁾ Financement supérieur à 200 millions d'euros selon le CNES.

⁽³⁸⁾ Hors contribution de ces deux agences à l'ESA, qui représentent respectivement 963 et 927 millions d'euros.

⁽³⁹⁾ Contre 5 milliards et 12 milliards d'euros lors des deux précédentes programmations.

⁽⁴⁰⁾ Ces montants nécessiterait une analyse fine, distinguant entre les budgets alloués par la NASA et les équipements déjà disponibles pour maîtriser cette technologie.

⁽⁴¹⁾ Estimation du CNES.

⁽⁴²⁾ https://presse.cnes.fr/sites/default/files/migration/automne/pPressReleases/2014_12/r9488_81_cp171-2014_-_mou_cnes-esa-asl.pdf

⁽⁴³⁾ Audition de M. Daniel Neuenschwander, directeur du transport spatial de l'ESA.

⁽⁴⁴⁾ L'ESA fonctionne sur la base d'un « retour géographique », ce qui signifie qu'elle investit dans chaque État membre, sous forme de contrats attribués à son industrie pour la réalisation d'activités spatiales, un montant équivalant à peu près à la contribution de ce pays.

⁽⁴⁵⁾ La signature, le 25 octobre 2018, par les institutions européennes d'une déclaration commune sur l'exploitation institutionnelle d'Ariane 6 et Vega C, constitue à cet égard un premier pas :

https://www.esa.int/Our_Activities/Space_Transportation/European_institutions_sign_Joint_Statement_on_European_Institutional_Exploitation_of_Ariane_6_and_Vega-C

Les signataires en sont l'ESA, le CNES français, le Centre allemand pour l'aéronautique et l'astronautique (DLR), l'Agence spatiale italienne (ASI), le Centre pour le développement technologique industriel espagnol (CDTI) et la Confédération suisse. À travers cette déclaration, cinq pays signataires et l'ESA expriment leur soutien total à l'industrie européenne des lanceurs et à Ariane 6 et Vega C. Ils reconnaissent l'avantage de regrouper leur demande institutionnelle de services de lancement afin de garantir à l'Europe un accès à l'espace indépendant, rentable, abordable et fiable. Pour les signataires, les capacités spatiales revêtent une importance stratégique pour la réalisation d'objectifs politiques civils, commerciaux, de sécurité et de défense. L'espace est un moyen de relever les défis de la société et de stimuler la création d'emplois et la croissance. L'autonomie d'action de l'Europe dans l'espace dépend de son autonomie dans l'accès à l'espace. L'Europe doit donc conserver une position de leader dans ce secteur.