



TRANSPORT SPATIAL ET RÉUTILISATION

**CONTRIBUTION DE L'ACADÉMIE DES
TECHNOLOGIES A LA NOTE SCIENTIFIQUE DE
L'OPECST**

19 novembre 2018

Contexte

Les sénateurs et députés ont souhaité que l'OPECST les **éclaire sur les lanceurs spatiaux réutilisables**. L'OPECST a alors demandé à l'Académie des technologies son point de vue sur ce sujet. Un groupe d'académiciens a ainsi été constitué (voir annexe, partie 3) pour y répondre et Jean-Jacques DORDAIN, membre de ce groupe, a été auditionné par le sénateur Jean-Luc FUGIT, député et rapporteur de l'étude, le 16 octobre 2018. A cette occasion, Mr DORDAIN **a replacé la question de la réutilisation des lanceurs spatiaux dans le contexte européen**. Il a insisté sur différents points : les enjeux spécifiques de l'Europe ; les réponses qu'elle a mises en place pour faire face aux différentes perturbations et changements dans le secteur spatial.

Cette note, destinée à contribuer à l'élaboration de la note scientifique de l'Office à venir sur les lanceurs spatiaux réutilisables, rappelle et complète les éléments discutés lors de l'audition.

La réutilisation dans le transport spatial : une ambition logique

Le transport spatial est une activité de service consistant en **la mise en orbite** autour de la Terre ou autour du soleil de « charges utiles » à destination commerciale (télécommunication par exemple) ou institutionnelle (recherche, observation, surveillance ...), habitées ou non.

La mise en orbite « basse » autour de la Terre d'un objet nécessite qu'une vitesse minimale de 8 km/s environ (parallèlement à la surface terrestre, elle dépend de l'orbite) lui soit appliquée. On parle donc ici d'une vitesse d'environ 24 fois la vitesse du son sur Terre.

L'énergie qui doit être dépensée pour atteindre ce résultat est énorme, à tel point qu'avec les technologies utilisées aujourd'hui par les fusées (les lanceurs) il faut, avec une logique d'étages largables, consommer environ 96% de la masse du lanceur au décollage pour atteindre l'orbite basse.

Si l'on veut atteindre l'orbite géostationnaire (très utilisée par les satellites de communication et située à 36 000 km de la Terre), l'addition est

encore plus lourde et ce n'est plus qu'environ 1% de la masse au décollage qui est vraiment utile en orbite.

La seule solution pour créer dans le vide la force nécessaire à l'accélération du lanceur étant la propulsion par réaction (éjection de masse à l'arrière du mobile), l'essentiel de la masse d'un lanceur au décollage est constitué d'une part par le carburant nécessaire, qui, stocké dans des réservoirs ou sous forme solide, sera consommé et éjecté durant la mission et, d'autre part par les moteurs.

La masse se réduisant au cours de la mission, la fusée s'adapte grâce à une construction « étagée » du lanceur permettant de se débarrasser des masses de structure inutiles et d'adapter la puissance de la propulsion à l'évolution de la masse. Le nombre d'étages est adapté à chaque type de mission, en général 2 ou « 2,5 » étages pour rejoindre l'orbite basse, 3 ou plutôt 4 pour aller au-delà.

En final, la charge « vraiment » utile ne représente que quelques pourcents de la masse du lanceur au décollage.

Bien que la vitesse recherchée soit essentiellement parallèle à la Terre, une accélération purement horizontale n'est pas envisageable compte tenu de la présence de l'atmosphère. La course à l'accélération de la charge utile doit donc commencer par une sortie rapide de l'atmosphère, une première phase de montée pendant laquelle une grande partie de l'énergie consommée l'est pour s'opposer à la pesanteur (ce que l'on appelle les pertes par gravité). Pour minimiser ces pertes il faut disposer d'un très large surcroît de poussée, donc de très gros propulseurs afin de s'affranchir rapidement de l'atmosphère et ensuite progressivement incliner la trajectoire pour fournir l'accélération horizontale nécessaire à la mise en orbite.

Quelques exemples et ordres de grandeur

- Saturn 5 (lanceur lunaire américain) : c'est 3500t de poussée au décollage, propulsant une masse de 3000t, et plus que 100t en orbite basse pour seulement 2 hommes sur la lune.
- Ariane 5 : avec une masse au décollage supérieure à 750t (dont un premier étage d'environ 500t pour une poussée d'environ 1300t) ce lanceur peut placer plus de 20t en « orbite basse », ou de l'ordre de

11t en orbite de transfert pour 6/7t en orbite « géostationnaire », le reste de la vitesse nécessaire étant fournie par le système de propulsion propre au satellite.

La mise en orbite autour de la Terre d'un objet nécessite donc la mise en œuvre d'énormes masses de carburants et d'importants et coûteux systèmes pour les contenir (des réservoirs) et les transformer en poussée (les moteurs). D'autres organes sophistiqués et coûteux (comme ceux participant au pilotage) sont aussi nécessaires, l'essentiel de ces équipements étant abandonné au cours de la phase de montée pour terminer sa course dans l'océan ou dans des zones désertiques.

Devant un tel constat, il paraît logique de vouloir récupérer et réutiliser tout ou partie de l'importante valeur intégrée dans un lanceur afin de la réutiliser comme il est normal de le faire pour le transport terrestre. C'est certainement ce qu'ont pensé les pères du programme américain de « navette spatiale ». En effet dans ce programme, l'essentiel des objets complexes (moteurs, systèmes de pilotage et télémesure, module humain) sont récupérables, le réservoir principal et les boosters latéraux terminant leur mission dans l'océan. Mais la réalité n'a pas été à la hauteur des espoirs. Si la navette était bien réutilisable, sa remise en vol était une tâche considérable. Quant aux boosters solides, aucune de ces structures n'est effectivement repartie en vol.

Le choix américain du « tout navette », puis son abandon en l'absence des économies escomptées

Dans la foulée du remarquable succès technique que fut le développement et la mise au point du « Shuttle », les américains ont fait le choix du « tout navette » en espérant en tirer des économies d'échelle. Tout lancement, qu'il soit commercial ou à objectif institutionnel, devait utiliser la navette et les hommes qui la géraient. En conséquence les filières en place de lanceurs classiques pouvaient être abandonnées.

Mais les économies escomptées n'ont pas été au rendez-vous et les surcoûts considérables, puis l'accident de la navette « Challenger », ont entraîné

un changement radical de la politique américaine avec l'abandon, pour la navette, des lancements commerciaux, car cela nécessitait un soutien financier étatique trop lourd.

L'abandon du « tout navette » : une chance historique pour l'Europe

C'est ainsi que grâce à l'ouverture à la concurrence du marché des lancements commerciaux américains et à la fiabilité de son lanceur « Ariane », que l'Europe a pu développer un modèle original d'équilibre économique pour son accès autonome à l'espace et pouvoir ainsi conserver une excellente fiabilité à son lanceur et un excellent niveau technique pour son outil industriel. Ce modèle (situation actuelle du lanceur Ariane 5) repose d'une part sur une cadence de tirs par an minimale (environ 9) et d'autre part sur une proportion de 90% des lancements ayant un caractère purement commercial. Cette proportion est destinée à compenser la faiblesse du nombre des lancements institutionnels européens. C'est cette stratégie qui a permis de maintenir à niveau les compétences nécessaires, et ainsi garantir fiabilité et crédibilité du système de lancement Ariane pour un coût acceptable pour les Etats impliqués.

Pourquoi vouloir disposer d'un accès autonome à l'espace en Europe ?

...A la fois un enjeu de souveraineté et de protection de l'activité industrielle spatiale au-delà de celle des lanceurs

Pour répondre à cette question, il faut d'abord remonter au début de l'histoire spatiale commerciale et aux contraintes mises sur l'utilisation des satellites du programme « Symphonie » du fait de leur lancement par une fusée américaine. En effet, ce programme franco-allemand à l'origine destiné à faire entrer les opérateurs français et allemands dans les télécommunications spatiales à usage commercial, verra son domaine d'application limité à des liaisons France-DOM dans le cadre de l'accord qui a permis son lancement par la fusée américaine THOR Delta (suite aux échecs répétés du lanceur Europa). Le programme

Symphonie est devenu expérimental et **l'Europe s'est vu ainsi interdire l'accès commercial à l'espace pour un certain nombre d'années.**

Un autre exemple est à méditer. Il concerne le domaine de l'imagerie par satellites et la surveillance des zones de conflits. Dans un certain nombre d'occasions, certaines récentes, les informations recueillies par les systèmes d'observation européens ont permis de compléter (ou de contester) les informations fournies par les autorités américaines dans le cadre du traitement de crises (Kosovo, Irak, Syrie ...).

Ces exemples ont permis d'obtenir puis de renforcer un consensus impliquant les principaux pays européens autour de la nécessité pour l'Europe de développer et de maintenir un « **accès autonome à l'espace** », comme élément de souveraineté de l'Europe. **C'est aussi**, comme cela a été indiqué précédemment, **un instrument de protection d'une activité industrielle importante** (au-delà de l'activité de service des lanceurs) **et de nombreux emplois et savoir-faire très qualifiés**. De fait, 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** de satellites commerciaux **mais aussi** d'autres **activités de service** (contrôle des satellites en orbite, exploitation des systèmes spatiaux de télécommunication et de télédistribution et maintenant ceux de géolocalisation), **activités qui représentent 20 à 30 fois celle du service des lancements.**

Maîtriser un accès autonome à l'espace est donc, pour l'Europe, tout à la fois un acte de souveraineté et l'expression de la volonté de défendre une position industrielle importante dans un secteur d'avenir. C'est aussi un élément de « soft power »

Nouveaux changements majeurs et perturbations

...avec une nouvelle orientation de la politique spatiale américaine qui soutient une industrie spatiale d'initiative privée

La situation précédemment décrite n'étant sans doute pas acceptable du point de vue américain, elle a provoqué une réaction qui se traduit, depuis le milieu des années 2000, par des changements majeurs.

La politique spatiale américaine oriente désormais l'essentiel des efforts étatiques, ceux de la NASA et des autres agences, vers l'exploration lointaine et les actions institutionnelles ou militaires **tout en encourageant et soutenant lourdement l'essor d'un secteur privé chargé de développer des services de lancement indépendants**, parallèlement et de façon complémentaire. Cette démarche a commencé par la desserte de l'orbite basse terrestre – cargo & équipage – grâce à la mise en place de contrats de service (*new space* américain) à long terme. De nouveaux acteurs américains, privés et issus d'autres secteurs d'activité (numérique, automobile), sont ainsi apparus comme Blue Origin en 2000 (Jeff BEZOS – fondateur d'Amazon) et SpaceX en 2002 (Elon Musk – fondateur de Tesla et co-fondateur de PayPal). **Ils sont l'un des éléments de cette nouvelle politique spatiale.**

SpaceX : la réutilisation, mais aussi un modèle économique original

Des technologies déjà testées pour la réutilisation

Dans une logique de baisse des coûts d'accès à l'espace, SpaceX a notamment misé sur la réutilisation d'éléments du lanceur après récupération, ce qui constitue un choix en rupture par rapport aux lanceurs classiques historiquement conçus et utilisables pour une seule mission. Depuis fin 2015, plusieurs récupérations du 1^{er} étage de la fusée Falcon9 ont été tentées, et réussies en majorité (dont la dernière en date, le 8 octobre 2018), et plusieurs 1^{ers} étages ont été effectivement réutilisés.

La formule choisie par SpaceX pour la réutilisation tire profit de l'expérience du programme DCX (voir encart 1), et se différencie des voies classiquement explorées, en s'inspirant peut-être aussi des représentations imagées des véhicules spatiaux du futur. Mais ce qui semble le plus caractériser la formule adoptée par SpaceX et la différencier fortement des autres formules, c'est que **les parties récupérées n'ont pas pour priorité première d'être « réutilisables » un grand nombre de fois**, à la différence des concepts décrits précédemment pour des « boosters récupérables » dont la conception s'inspirait de celle des avions.

Encart 1 : le programme DCX : une 1^{ère} expérience

Le principe du décollage et de l'atterrissage à la verticale d'un véhicule de type fusée a été exploré aux Etats-Unis dans les années 1990 à l'occasion du programme expérimental DCX mené par McDonnell Douglas. Bien que sans suite, **cette 1^{ère} expérience a permis de développer un savoir-faire et des technologies que l'Europe ne possède pas** et a pu inspirer les équipes de SpaceX.

A l'époque, la réutilisation des éléments de lanceurs classiques faisait déjà l'objet d'études poussées, mais essentiellement sur la base de véhicules ailés qui devaient, grâce à une utilisation efficace de l'énergie potentielle acquise durant l'accélération du lancement, avoir une grande capacité de déport (pour revenir à la base de départ ou à un aéroport suffisamment équipé) en vol plané (sans aucun emport de carburant supplémentaire) ou, éventuellement, avec l'aide d'un petit propulseur annexe. L'esprit de ces études était d'aboutir à des 1^{ers} étages réutilisables un très grand nombre de fois (comme un avion) et aboutissaient à des véhicules complexes, donc chers à réaliser en faible quantité. L'amortissement économique de cet investissement nécessitait une cadence d'utilisation élevée que les études de marché ne semblaient pas justifier à l'époque.

Au-delà de la réutilisation, des schémas industriel et commercial originaux

La récupération coûte pourtant cher, même chez SpaceX.

- La récupération des 1^{ers} étages du Falcon Heavy impose qu'environ 10% de la masse au lancement soient réservés au carburant nécessaire au freinage et à l'atterrissage de ces ensembles (environ 140t pour un lanceur de 1400t au décollage).
- La performance de ce même lanceur (la masse utile placée en orbite de transfert géostationnaire) est réduite de 40% dans la configuration « avec récupérations des 1^{ers} étages » par rapport à celle d'un vol utilisant les mêmes étages mais « sans récupération ».
- **Dans leurs usages « économiques », les lanceurs de SpaceX sont donc plus lourds, plus chers en valeur intrinsèque, à trajectoire sous-optimisée et à performances fortement dégradées.**

Alors comment Elon Musk peut-il aboutir à des coûts de lancement plus faibles que la concurrence ?

De fait, les **étages récupérables** de SpaceX ne sont probablement pas destinés à être utilisés en version récupérable jusqu'à leur rebut mais à être **rendus consommables après « quelques vols »**. Ce point devra être approfondi avec l'expérience, les limites de réemploi ainsi que les cycles et coûts de remise en vol de l'étage (actuellement 2-3 mois sont nécessaires avec un objectif de 1 mois, les points durs de la remise à niveau devront donc être éclaircis).

Cette hypothèse permettrait d'imaginer la martingale économique et commerciale suivante :

Pour les masses demandées par le marché « commercial », c'est la version avec étages récupérables qui est utilisée et pour laquelle on facture 100% du coût de

production pour les étages supérieurs « consommés » et uniquement les frais de remise en état et de récupération pour les étages inférieurs récupérables.

A l’opposé, lorsque le lanceur est vendu pour la capacité maximale, en utilisant les étages en version « consommable » (les mêmes que précédemment à l’exception de quelques équipements inutiles comme le train d’atterrissage et après quelques utilisations en version récupérables), son prix intègre le coût de production complet de tous les étages. Cette situation se rencontre essentiellement pour des lancements « institutionnels » (en particulier militaires) donc sur des marchés « réservés » et souvent pour des missions à caractère de souveraineté. Pour ces missions le prix du lancement au kg est donc plus élevé que pour des missions commerciales tout en restant moins important que s’il avait fallu développer une fusée spécifiquement pour cette capacité aussi importante et en amortir les frais de développement.

Si le principe de la réutilisation peut être source d’économies dans certaines conditions, les études menées en Europe montrent que celles-ci, sans être négligeables (10 à 20%), ne sont pas déterminantes. **D’autres sources d’économie, mises en place par SpaceX, méritent notre attention** car elles aussi contribuent à l’amélioration de l’efficacité économique.

- Une organisation industrielle resserrée

En Europe, l’organisation industrielle est très éclatée, ce qui est, mais à un degré moindre, aussi le cas des autres lanceurs américains. Elle souffre de l’obligation existant au sein de l’ESA d’un retour industriel équilibré entre les contributeurs financiers à un programme et du fait que les développements sont souvent vus par les pays comme l’occasion de créer de nouvelles compétences localement, bien souvent en redondance de compétences existant déjà ailleurs. Une telle organisation (10 entreprises pour 10 pays sont impliquées d’une façon majeure dans le moteur Vulcain) génère des redondances de compétences et une forte complexification des relations contractuelles induisant des surcoûts tant en développement qu’en production auxquels il convient d’ajouter l’empilage des charges de management et des marges.

A l’inverse, SpaceX a mis en place une organisation très resserrée avec une seule organisation et un seul site industriel où est gérée une production intégrée. Pour le programme Ariane, et rien qu’en France, les sites industriels principaux sont au nombre de 3 !

- Des choix originaux dans le domaine de la gestion RH

Alors qu’en Europe les entreprises principales du programme Ariane sont issues d’entreprises établies de longue date avec une pyramide des âges très complète et un management très structuré, la constitution des équipes de SpaceX a été établie sur une base radicalement différente. Leur base technique est constituée d’experts, d’âge mûr et de grande expérience, issus des programmes nationaux précédents. Ils sont associés à des équipes de jeunes ingénieurs (**absence de middle age**) ayant des contrats de chantier et à des pratiques de gestion des ressources humaines « décalées » par rapport aux pratiques européennes.

Des équipes travaillent en parallèle sur le même objectif et sont mises en compétition. L’équipe ayant atteint l’objectif est sélectionnée pour l’objectif suivant. Certainement très efficaces pour mener à bien des programmes ambitieux, **et donc réduire les coûts de développement**, il n’est pas certain que ces pratiques puissent garantir la fiabilité d’un système pointu et très complexe dans la durée, ce modèle peut évoluer avec la mise en production.

Les multiples succès de SpaceX, associés à une politique de prix agressive, ont généré un fort intérêt des clients potentiels du marché ouvert pour ses offres et une forte pression sur les prix de lancement de ses concurrents. La compétition commerciale entre les acteurs a été stimulée, **forçant les acteurs historiques à réagir (voir encart 2)**. Cette compétition commerciale est d’ailleurs d’autant plus féroce qu’il existe un fort contraste entre les marchés européens et américains (**voir annexe partie 1** pour les détails).

Encart 2 : la réutilisation à travers le monde

Si beaucoup d’études ont été menées sur ce thème à travers le monde (Hotol ou Sanger en Europe par exemple), il convient de souligner qu’à ce jour seule la démarche de SpaceX a effectivement débouché sur une application opérationnelle (en dehors de la navette bien sûr, le véhicule russe « Bouran » ne devant ramener sur Terre que des hommes et du matériel et en aucun cas des éléments du lanceur).

Une réaction européenne en plusieurs étapes qui lui permettra d'évoluer vers la réutilisation si cela s'avère nécessaire

- **Immédiatement** : en se réorganisant afin de réduire les coûts rapidement grâce au regroupement dans une seule structure juridique de l'essentiel des capacités de conception, de production et de commercialisation des lanceurs européens (plus particulièrement d'Ariane) avec la **création de Arianegroup**.
- **A moyen terme** : en proposant un **nouveau lanceur consommable**, essentiellement basé sur des technologies disponibles, pour l'horizon 2020, **Ariane 6**, avec l'objectif de réduire fortement les coûts par la conception et l'organisation.

Au-delà : en mettant en place un programme d'acquisition de solutions technologiques permettant d'envisager la réutilisation, si une telle formule s'avérait intéressante dans le cadre de la politique européenne du maintien d'un accès autonome de l'Europe à l'espace. C'est dans ce cadre qu'ont été lancés plusieurs démonstrateurs : celui d'un moteur brûlant un mélange LOx/CH₄, « **Prometheus** », et celui d'un petit lanceur réutilisable avec récupération verticale, « **Callisto** ». Au-delà, un second démonstrateur, « **Themis** », 10 fois plus lourd et équipé du moteur Prometheus, est envisagé pour un vol possible en 2025.

Il faudra néanmoins veiller à ce que **ces études de pré-développement** pour qualifier le moteur et le lanceur soient correctement financées et **aillent à leur terme effectif, ce qui n'est pas garanti à ce jour.**

Remarque : que le moteur Prometheus soit réutilisé ou non, disposer d'un moteur LOx/CH₄ de forte poussée sera une bonne chose en soi, pour minimiser les subventions étatiques.

En développant ces briques technologiques, qui seraient utilisables pour concevoir un 1^{er} étage récupérable, l'Europe se dote de la capacité d'évoluer si nécessaire ... dans le futur (2030 ?). L'intérêt de la récupération dépendra de son analyse économique adaptée au marché de demain (voir aussi annexe partie 2)

Mais pourquoi l'Europe n'était-elle (ou n'est-elle) pas prête pour la réutilisation ?

Dans la foulée du succès commercial et technique de la famille Ariane 1 à 4, l'Europe a décidé de se doter d'un accès à l'espace plus universel en ajoutant au modèle du lancement géostationnaire double une spécification de capacité de vol humain en orbite basse.

Sur cette base, le projet Ariane 5 a été défini en tenant aussi compte des capacités techniques déjà maîtrisées en Europe. Ces éléments expliquent le choix d'un 1^{er} étage à propulsion solide (2 boosters), car cette technologie était considérée comme la moins chère à performance égale et déjà maîtrisée en Europe, et d'un 2^{ème} étage cryotechnique pour la performance.

De plus, aucun programme d'étude et de recherche sur le thème de la récupération verticale n'a été mené car inenvisageable avec des propulseurs solides.

L'Europe était donc démunie sur le thème de la récupération verticale du ou des 1^{ers} étages de lanceur **car elle ne disposait ni de l'expérience et des technologies d'un retour avec « rétropropulsion », ni des moteurs à hydrocarbures (LOx/Kérozène ou LOx/CH₄) de forte poussée pour le 1^{er} étage.**

C'est cette carence qu'elle s'est engagée à combler dans les **prochaines années**. Cependant, la **décision d'une réutilisation partielle** des lanceurs européens **ne pourra être prise qu'après une analyse économique adaptée aux conditions du marché existant dans 10 ans ou plus tard** (voir aussi en annexe, partie 2).

Quelques éléments de synthèse et sujets de réflexion

- Afin de réduire le coût d'un lancement de satellite, la réutilisation d'éléments déjà utilisés est certainement une idée séduisante, mais la route pour y parvenir est semée d'écueils et l'effet n'est pas réellement déterminant. Le défi est d'autant plus grand que l'on essaie de récupérer davantage que le premier étage.
- **Le modèle de la société SpaceX ne se résume pas à la récupération**, mais intègre aussi un modèle industriel de production à moindre coût et un modèle de détermination des prix spécifique.
- Où que ce soit dans le monde, y compris aux Etats-Unis, les services de lancement sont très lourdement subventionnés par les gouvernements et leur marchés nationaux sont essentiellement institutionnels et majoritairement protégés.
- **La baisse des prix des lancements n'est pas l'unique enjeu de l'accès à l'Espace et la démarche européenne ne doit pas être seulement de chercher à être compétitif sur les prix des lancements, mais aussi de construire une stratégie d'ensemble, cohérente avec les enjeux spécifiques de l'Europe qui ne sont pas ceux des USA.**
- Toute réflexion sur le thème de la réduction du coût des lancements doit prendre en compte les attentes de l'Europe dans ce domaine qui tournent avant tout autour de sa souveraineté et de la défense de sa liberté et de son droit à exploiter les possibilités de l'espace pour améliorer et protéger la vie des citoyens européens. C'est cette ambition essentielle qui justifie que l'Europe entretienne une capacité indépendante d'accès à l'espace pour pouvoir y exercer librement des activités à caractère commercial, des missions d'observation ou simplement de souveraineté.
- Cette capacité nécessite l'entretien opérationnel d'un ensemble constitué du système de lancement, d'un outil industriel et des compétences nécessaires au maintien des capacités attendues de cet ensemble, le tout devant être obtenu à un coût acceptable.
- Dans ce cadre, **la logique de l'Europe n'est pas une logique de « part de marché »**, comme cela est le cas par exemple pour les avions commerciaux, mais simplement celle d'y capter de quoi assurer une cadence de tir suffisante. **L'objectif ultime de l'Europe est la minimisation des subventions étatiques européennes visant à conserver la nécessaire autonomie d'accès à l'Espace.** Aujourd'hui, du fait du faible nombre des lancements institutionnels européens, cette condition n'est remplie que grâce au caractère purement commercial d'une part importante des lancements (90%).
- L'espoir d'une garantie de 3 ou même de 5 vols institutionnels par an, mesure à ce jour non garantie pour Ariane 6 par les structures européennes, bien que positive, ne permettra pas à elle seule de maintenir la cadence de tirs nécessaire au maintien des compétences humaines et de la fiabilité du lanceur. Le recours au marché commercial restera donc nécessaire. Sur ce sujet il convient aussi de noter que les deux lanceurs actuellement en développement en Europe (Vega C et Ariane 62) visent à peu près le même marché, celui des satellites institutionnels de taille moyenne. Cette situation ne favorisera pas l'atteinte de la cadence de tir nécessaire pour chacun de ces lanceurs, mais **permettra au moins de s'affranchir de la dépendance de Soyuz.**
- La réduction des coûts visée par Ariane 6 est bien sûr strictement nécessaire mais, **pour l'Europe, la meilleure façon de réaliser cette baisse des coûts**, ou pour aller au-delà, **ne passe pas obligatoirement par le développement de lanceurs réutilisables.**
- C'est avec cette logique en tête, et en tenant compte des résultats de l'analyse économique de la réutilisation adaptée au marché de demain, qu'il faudra juger de l'intérêt de la réutilisation pour un lanceur européen compte tenu du coût que représentera un tel développement.
- Dans le contexte décrit précédemment, la problématique des autres pays (Russie, Chine, Inde, Japon) ne joue pas aujourd'hui de rôle déterminant.

Annexe

1. Quelques considérations sur l'activité des services de lancement

Tous les pays qui disposent d'un accès indépendant à l'espace considèrent cette capacité comme un élément de souveraineté et d'indépendance (Etats Unis, Russie, Chine, Inde). A ce titre ils soutiennent lourdement les activités de lancement (y compris l'Europe), faussant ainsi la concurrence entre les différentes offres de service de lancement.

Un fort contraste entre les Etats-Unis et l'Europe

Du côté américain un besoin institutionnel très important

Le marché américain des lancements à caractère institutionnel est abondant. Formellement et exclusivement réservé aux opérateurs (qui sont aussi des intégrateurs) américains (*buy american act*), ce marché représente 70 % de leur chiffre d'affaires. De plus, ces opérateurs bénéficient de bases de lancement financées en quasi-totalité par le gouvernement fédéral, qu'ils utilisent effectivement, ce qui représente une subvention d'environ 12 millions de dollars par lancement. De plus le gouvernement fédéral soutient financièrement massivement le développement du secteur entrepreneurial des activités spatiales grâce à des contrats de service (montant total fin 2015 de 5782.6 millions de dollars¹).

Du côté européen un besoin institutionnel très réduit

A l'opposé en Europe, les lancements institutionnels sont en nombre très réduit et de plus ne bénéficient d'aucune clause de préférence européenne qui

¹ Rapport d'information déposé par la Commission des affaires européennes sur la politique spatiale européenne, juillet 2016

répondrait à l'exclusivité dont bénéficient les lanceurs américains. De ce fait Ariane 5 compte sur la capture (et a besoin) d'un nombre important de lancements de satellites en provenance du marché concurrentiel ouvert pour pouvoir entretenir les compétences, l'outil industriel et la fiabilité du système de lancement dont l'Europe a besoin. A ce jour Ariane dépend du marché commercial pour 90% de son chiffre d'affaire.

Une telle situation n'est certainement pas de nature à donner les mêmes chances de succès à tous les acteurs du secteur.

2. La question de la rentabilité économique de la réutilisation

Les démonstrateurs seront opérationnels au plus tôt dans 10 ans. Un raisonnement économique est donc prématuré. Il s'agit d'abord de faire des progrès technologiques.

Un point important est à rappeler : l'équation économique va dépendre de la valeur de ce qui est récupéré. Plus les coûts de lancement diminueront, plus la valeur de ce qu'on récupérera sera faible. Ce raisonnement économique est d'autant plus difficile à faire que le marché des lanceurs est un marché très évolutif (Il y a 3 ans, l'avenir était au géostationnaire. Trois ans plus tard, le marché a été divisé par 3).

La rentabilité dépendra :

- ✓ Du coût du reconditionnement (refurbishment) des pièces récupérées
Quel est-il ? Est-ce rentable par rapport au coût d'un nouveau lanceur ?

- ✓ Du délai du reconditionnement avant sa réutilisation. Pour le dernier lancement du Falcon9 le 8 octobre, le reconditionnement a été réalisé en 2 mois, selon SpaceX.
- ✓ De la fréquence de lancement et des volumes mis en orbite annuellement. Ils devront être élevés. Par conséquent le marché pour la réutilisation pourrait être celui des constellations de satellites placées en orbite basse et destinées aux télécommunications, mais ce marché est incertain.

Alors que dans les années 80 les prévisionnistes voyaient l'avenir du spatial dans la téléphonie, c'est la diffusion de la télévision qui a fait l'essentiel du marché des lancements en orbite géostationnaire. Aujourd'hui, c'est à nouveau le marché des télécommunications qui est vu comme étant prometteur, mais cette fois sous la forme de constellations en orbite basse destinées à l'échange d'informations à fort débit. Les projets sur ce thème sont nombreux : pour l'Europe avec OneWeb (environ 720 satellites pour fournir Internet au grand public), O3B et LeoSat (de 78 à 108 satellites pour permettre aux grandes entreprises d'échanger des données plus vite que par la fibre et via un réseau inter-satellites entièrement privé). Grâce à des relais optiques, l'échange de données peut se passer de relais terrestre, un atout sans équivalent pour protéger la confidentialité des données. Pour les USA, avec Starlink, la constellation de SpaceX (environ 4500 satellites).

Aujourd'hui le marché des constellations repose majoritairement sur OneWeb. Ce projet a obtenu le feu vert de la Commission fédérale des communications (FCC) américaine pour opérer en bande Ka et Ku. Mais que va-t-il devenir ? Techniquement, ça marche, cependant Softbank qui devait injecter 500 millions en mai ne l'a pas fait. Et Starlink n'a toujours pas obtenu son autorisation d'émettre. Sa valeur est donc faible.

De fait deux grosses incertitudes planent sur ce marché :

- **L'allocation des fréquences pourrait être un facteur limitant.**

- La concurrence de la distribution par des réseaux sol (la 5G ?) pourrait ne laisser qu'une place de niche à ces opérateurs, comme cela s'était passé précédemment dans le domaine des liaisons téléphoniques spatiales où les constellations, après avoir fait faillite, ne survivent que sur une portion infime des communications. Les réseaux sol ont été des compétiteurs féroces du fait de l'amélioration des réseaux et de prédominance de l'usage en zones simples à couvrir, comme les zones urbaines ou les voies de circulation principales.

3. Les membres de l'Académie des technologies consultés

Groupe de travail

Jean-Jacques DORDAIN, conseiller auprès du président du CNES

Michel COURTOIS, ancien Directeur du centre technique de l'Agence Spatiale Européenne (ESTEC)

Michel LAROCHE, ancien directeur général adjoint Recherche et Technologie, SAFRAN

Marc PIRCHER, ancien directeur du CNES, centre spatial de Toulouse

Les autres membres consultés

Bruno LE STRADIC, directeur ingénierie systèmes spatiaux Airbus Defense & Space

Comité des travaux